

Утилизация канализационных стоков и осадков

д.т.н. проф. В.Е.Лотош

Рассмотрены состав, количества, основные направления утилизации канализационных стоков и выделенных из них осадков. Отмечено значительное внимание, уделяемое утилизации этих материалов за рубежом.

Utilization of sewerage system drainage and its sludge

by d.t.s., prof. V.E.Lotosh

Substance, quality, principal directions of utilization of sewage drainages and their separated sludge are examined. Significant attention given to utilization of those materials abroad is noted.

Канализационные стоки относят к группе бытовых, образующихся в санитарных узлах, душевых и им подобных установках технологических производств, предприятий сферы услуг, коммунального хозяйства, жилищного фонда. Осадки этих стоков представляют собой выделенные из последних при их физической, химической, физико-химической, биохимической или комбинированной обработке твердофазные примеси.

Канализационные осадки и стоки являются одними из основных загрязнителей окружающей среды в обширных зонах, охватывающие прежде всего селитебные территории и социальную сферу. Одна из главных задач при обращении с ними – оградить население от их вредного воздействия за счет строительства очистных сооружений и других природоохранных мероприятий. Этому уделяется достаточное внимание в теории и практике коммунального хозяйства как нашей страны, так и за рубежом. Гораздо меньшее место в отечественных практике и научно-технической литературе занимают проблемы утилизации этих материалов, получающие позитивное развитие в более экономически благополучных странах. Их опыт, с привлечением имеющихся данных по нашей стране, составляет основное содержание предлагаемого обзора.

1. Осадки

1.1. Состав, количество, направления утилизации

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 осадки 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 [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 О. 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 О [2]. 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% [3].

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; 7,4 – 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 (с тенденцией к повышению), 15-20 – депонирование (с последующим сокращением доли вследствие запрета на хранение и захоронение отходов), 4-11 – сжигание со значительным ростом на перспективу в связи с предписанием по ликвидации ряда свалок), до 10 – рекультивация ландшафтов, 1-3 – компостирование.

В России, по различным оценкам, ежегодно образуется до 2 млрд м³ осадков с влажностью 96-97%, или порядка 80-100 млн м³ по сухому веществу. Уровень их использования оценивается в 1,0-1,5% [4].

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.

1.2. Технологическая схема выделения из стоков

В настоящее время для очистки коммунальных стоков используют весьма мощные очистные сооружения, производительность которых может составлять несколько миллионов кубометров в сутки.

Современные технические решения крупных городских очистных сооружений, например Москвы, включают, как правило, механическую, биохимическую очистку, доочистку и обезвоживание. Рассмотрим их на примере Курьяновской станции аэрации (КСА) сточных вод г. Москвы (производительность более 3 млн м³/сут) [5, 6].

В состав цеха механической очистки КСА входят механизированные решетки с прозором 4-6 мм, песколовки (вертикальные, горизонтальные, аэрируемые) и первичные радиальные отстойники диаметром до 54 м при средней глубине 5 м, с удалением осадков плоскребрами.

Биохимическую очистку ведут по схеме аэрация – вторичные отстойники.

Для аэрации применяют аэротенки четырехкоридорные глубиной 5-6 и шириной коридоров 10-12 м с разнообразными технологиями полной биохимической очистки – от отдельной регенерации активного ила до рассредоточенной подачи сточных вод и секционирования коридоров поперечными воздушными завесами.

Вторичные радиальные отстойники, как и первичные, имеют диаметр до 54 м и удаление активного ила из них плоскребрами, а также илососами.

На сооружения доочистки сточные воды поступают после вторичных отстойников. Здесь они последовательно проходят две стадии обработки: процеживание через барабанные сетки с ломаной поверхностью и размерами ячейки 1 мм², фильтрацию через слой высотой 1,5 м щебеночной загрузки (фракция 5-2 мм). Доочистка обеспечивает удаление до 50% загрязнений по взвешенным веществам и до 30% органики по БПК₅.

При очистке сточных вод КСА ежедневно образуется 13-15 тыс. м³ осадков, в том числе первичных отстойников и избыточного активного ила. Их обработка включает сбрасывание в метатенках, последующее обезвоживание и депонирование. Конструкции метатенков – от монолитных объемом 5600 м³ с мезофильным (до 35°С) до полносборных объемом 8200 м³ и с термофильным (50-55°С) режимами сбрасывания.

Подогрев осадка при термофильном режиме осуществляется подачей пара во внутренний объем метатенка. С целью рекуперации теплоты используется спиральный теплообменник, рассчитанный на пропускание всего объема избыточного активного ила. Это дает экономию 2,5-3,0 Гкал/ч тепловой энергии. Метатенки оборудованы пропеллерными мешалками (проектное решение) и, частично, более эффективной газолифтовой системой перемешивания осадка, использующей энергию выделяющегося газа (около 9 тыс. м³/сут). Последний полностью утилизируется в котельной станции.

Обезвоживание осадков производят примерно в равных долях механическими средствами и на иловых площадках. Механическое обезвоживание предусматривает предварительную промывку осадка, его гравитационное уплотнение и реагентную обработку 10%-ными растворами хлорного железа и известкового молока при их расходе соответственно 4-6 и 15-25%. Затем осадок обрабатывают на вакуум-фильтрах или фильтр-прессах.

Обезвоженный осадок станций аэрации в согласии с московской «Концепцией развития сооружений обработки и утилизации осадка на период до 2010 г.» предусматривается направлять в экологически безопасные сооружения, создаваемые на территориях бывших иловых площадок с их последующей рекультивацией. После очистки сточные воды в основном сбрасывают в р. Москва, причем их объем составляет примерно половину от дебита речной воды. Кроме того, около 100 тыс. м³ доочищенных стоков после их дезинфекции подается в городскую систему промышленного водоснабжения, которой пользуются такие крупные предприятия, как автомобильные заводы «ЗИЛ» и «Москвич».

В целом КСА занимает около 200 га при числе занятых свыше 1700 человек. За пределами городской черты имеются также иловые площадки станции общей площадью 237 га.

Аналогичные схемы очистки коммунальных стоков применяют за рубежом. В частности, на новых полностью закрытых очистных сооружениях одного из районов Франции сточные воды бытового сектора и агропищевой промышленности подвергают тонкослойному осветлению в отстойниках и обработке на погруженных биофильтрах с загрузкой из вспученной глины. Осадки обезвоживают на центрифугах. Схема обеспечивает 80%-ное извлечение азотных соединений и 92%-ное – биокисленных, удаляет 93% взвешенных коллоидных частиц.

1.3. Области применения

1.3.1. Сжигание

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

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 псевдоожиженный 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.) [7].

На ЦСА Санкт-Петербурга поступает до 1600 м³/сут сточных вод. При их механической и биохимической очистке образуется до 5000 м³/сут осадков с влажностью 95,0-96,6%. Из них одну половину составляют осадки первичных отстойников, а вторую – избыточный ил. После обезвоживания в центрифугах и предварительного нагревания до 40-45°С содержание сухого вещества в осадках достигает 35% и их направляют на сжигание в печи «КС» конструкции «Пирофлюид».

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 [8].

Дымовые газы сжигания содержат золу-унос, соединения тяжелых металлов (Hg, Cd, Pb и др.), кислотные газы (HCl, HF, SO₂). 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 (pH 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 [9].

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

Так, подлежит утилизации зола (50-70 м³/сут). В настоящее время в количестве 30 т/сут ее применяют при производстве кирпича на НПО «Керамика». После завершения рекультивации полигона планируется также направление ее на производство других строительных материалов. Этому способствует крупность (средний размер частиц 0,35 мм) и состав золы, %: 50-54 SiO₂, 8-11 Al₂O₃, 15-17 CaO, 6-7 P₂O₅.

Пар котлов-утилизаторов полностью обеспечивает производственные и бытовые помещения ЦСА отоплением и горячим водоснабжением, коммерчески используется котельной 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 Европе заводе в Дордрехсте (Нидерланды) производительностью 90 тыс. т/год по сухому веществу [10, 11].

В схемах некоторых других зарубежных заводов имеются принципиальные 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 α 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_x . Дополнительное количество воздуха для достижения общего значения $\alpha > 1$ подают во вторичную зону, дожигая в ней CO 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_x [12].

Иногда в печь «КС» дозируют оксид кальция для связывания SO_2 , с той же целью в поток отходящих газов могут впрыскивать смесь активированного угля и извести.

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 [13].

Многоподовые печи для сжигания городских осадков 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 [11].

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

сжигания с температурой 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 [14].

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, полный испарительный скруббер и тканевый фильтр.

С 80-х гг. 20 в. получило развитие использование 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 [15].

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 [16].

Другое решение заключается в использовании осадков в качестве 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 добавлением к углю 5% осадков, предварительно обезвоженных до менее чем 60%. При этом стоимость сжигания 1 т осадка составляет лишь 17 марок против 95 на специализированной установке [17].

Для повышения эффективности очистки отходящих газов совместного сжигания пылеугля и осадков практикуется впрыск буроугольного кокса в электрофильтры и использование угольных адсорберов. В данной схеме степень улавливания столь опасного загрязнителя, как ртуть, увеличивается до 75-85% [18].

1.3.2. 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 м³/год биогаза, или 0,3 млн т условного топлива, на 40-50% сократить теплоэнергетические расходы на очистные сооружения в целом.

Для сокращения затрат, повышения степени стабилизации осадка и выхода биогаза применяют два основных метода интенсификации работы метатенков: повышение концентрации загрузки и биомассы микроорганизмов.

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

Повышения концентрации биомассы микроорганизмов в метатенке можно достичь за счет ее выращивания 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 [19].

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/см², 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% [20].

Современные технологии станций аэрации предусматривают утилизацию теплоты процесса анаэробного сбраживания осадка. Так, на Курьяновской станции аэрации (Москва) в отдельном здании установлен спиральный теплообменник (свернутый пожарный рукав диаметром 10,9 м). Он состоит из двух блоков двухканаль-

ной спирали общей длиной 630 м, по которой противотоком движутся горячий (сброженный) и холодный (нагреваемый) осадки. Температура последнего на входе в теплообменник равна 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 [21].

Исследования последних лет показали, что в биогаз метатенков 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 метатенков выявлено 1-100 мкг/м³ мышьяка и сурьмы, по 10-1000 мг/м³ ртути, теллура, свинца, олова. Эти металлы в основном представлены ди-три- и тетраметилированными соединениями, типичными для процесса гниения органики. Выявленные концентрации многократно превышают ПДК рассматриваемых соединений. В частности, в России ПДК ртути, теллура, свинца и олова составляют порядка 0,0003-0,05 мг/м³.

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 [22].

Полученные результаты требуют переосмысления условий утилизации биогаза в качестве возобновляемого топлива [23].

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 загрузка 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 [24].

1.3.3. 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, как уже отмечалось (см. разд. 1.2), выполняют механическими средствами (на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах) и на иловых площадках.

Для обеззараживания применяются: термическая сушка (при 80°C); трехступенчатая тепловая обработка при 55°C; компостирование при 55°C в течение 15 суток; анаэробное сбраживание при 35°C; щелочная обработка 72 ч при pH 12 и температуре 50°C [25]. 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; прямоточное 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 [26].

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 производи-

тельность центрифуг в 1,5-2,0 раза (метод N-Viro-Soil). Аналогичный эффект достигается при смешении уже обезвоженного осадка с известью [27].

Такие же эффекты дезодорации получают, применяя смесь карбида кальция (CaC_2) и извести [28].

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. м³/сут сточных вод [29].

В сравнении с термическими способами обеззараживания 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/м² теплицы при расходе электроэнергии 20 кВт·ч/т и себестоимости 100-180 марок за 1 т [30].

Наряду с обеззараживанием термическим и на иловых площадках за рубежом используют 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 МКи). 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.

После обезвоживания и обеззараживания осадки бытовых сточных вод вывозят на сельскохозяйственные поля.

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

Так, в ФРГ при использовании осадков как удобрения на пахотных землях практикуется 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 используются 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 возрастает на ~30, а риса на 18% [31].

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 pH 5,5-8,5. Полученный продукт используют для удобрения почв [32, 33].

Преимущественное применение осадков городских сточных вод в качестве удобрения имеет 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 зависи-

мости 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. [34].

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 [29].

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% [35].

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.

Термически высушенные известьсодержащие осадки оказались эффективны для раскисления почв. Так, на участках освоения бывших торфяных карьеров при внесении ТВО последовательно увеличивающимися 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 менее кислых почвах при меньших дозах ТВО [29].

В некоторых южных районах страны сброженные 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.

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 [36].

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 и т.д.

1.3.4. 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 канализационных осадках ряда городов России и в настоящее время 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 м³, 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 [37].

Другое направление использования шламов канализации – применение их при производстве строительных материалов. Для этого пригоден, например, осадок, обезвоженный и затем сгранулированный в частицы диаметром 4-12 мм [38].

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 [39].

Предлагается также смесь шлама с известью после сушки нагревать до 400-500°C, при которой она дегазируется. Затем спек размалывается 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 [40].

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» [41].

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

размещение на ландшафте – 13;

компостирование – 304;

сжигание – 763;

депонирование – 417;

суммарные расходы на удаление и обработку осадков в 1996 г. были оценены в 1,2 млрд марок [42].

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 СВ 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 несколько сотен 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 последние 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 м³/год. Резервуары имеют глубину 6-15 м и объем от 50 тыс. до 6 млн м³. В этой стране утилизируется более 70% всего городского стока [43].

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 ковровосуконого комбината и 40% – бытовые поселка Обухово после механической очистки. Ежесуточный их приток составлял 4000-5000 м³ 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 м³/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: БПК₅ снижается со 195 до 14 мг/л, а количество кишечных палочек – с 5550 до 20 [44]. 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 м³/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 [45].

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 тилапию, 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 [46].

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. 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.

Относительно аквакультур имеются лишь отдельные 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 [46].

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 биохимической 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. м³/сут).

Конкретная схема обработки СВ в определенной степени определяется их категорией. Для категории А (полив растений, употребляемых в сыром виде, спортивных площадок, парков) предусматриваются серии стабилизационных прудов, обеспечивающие достижение бактериального норматива, или эквивалентная обработка. Для категории Б (полив зерновых, кормовых культур, пастбищ, деревьев) 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 БПК₅ 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 citrusовых, виноградников, некоторых 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 [47].

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 [46].

08.09.2002

Лотош Валерий Ефимович, д.т.н., профессор

Литература

1. **Лотош В.Е.** Технологии основных производств в природопользовании, 3 изд. – Екатеринбург: изд-во УрГУПС, 2002. – 553 с.
2. **Туровский И.С.** Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.
3. **Stentiford Ed.** Sludge composting – trends and opportunities // *Water and Waste treat.* – 1995. – 38. – № 11. – P. 44, 47.
4. **Протасов В.Ф., Молчанов А.В.** Экология, здоровье и природопользование в России. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 528 с.
5. **Пупырев Е.И.** Научно-производственная деятельность ГУП «Институт МосводоканалНИИпроект» // *ВСТ.* – 1999. – № 8. – С. 2-3.
6. **Иванин В.П., Дайнеко Ф.А.** Курьяновская станция аэрации: состояние и перспективы развития // *ВСТ.* – 1996. – № 1. – С. 6-8.
7. **Яковлев С.В.** Первый в России завод по сжиганию осадков сточных вод // *ВСТ.* – 1997. – № 12. – С. 6.
8. **Гумен С.Г., Большемеенников А.Я., Марич К.В.** Обработка осадков сточных вод на центральной станции аэрации С.-Петербурга // *ВСТ.* – 1998. – № 10. – С. 10-13.
9. **Кармазинов Ф.В., Пробирский М.Д.** Технологический комплекс по обработке и утилизации осадков сточных вод на ЦСА Санкт-Петербурга // *ВСТ.* – 2001. – № 8. – С. 2-7.
10. *Tydschr. watervoorz en afvalwater behandel* // **Marvelde I.H.B. (tc), W.G.Lans, E.Verbeek, etc.** – 1994. – 27. – № 9. – S. 242-245 (Nether.).
11. **Solmaz S.** Thermische Entsorgung von Klärsohlämmen // *Korrespond. Abwasser.* – 1998. – 45. – № 10. – S. 1886-1888, 1890-1899.
12. *Klärschlammverbrennung bei echst angelaufen* // *Chem.-Ing.-Techn.* – 1995. – 67. – № 4. – S. 364-365.
13. *When sludge means power* // *Water and Waste treat. (Gr. Brit.).* – 1996. – 39. – № 9. – P. 28.
14. **Бернадинер М.Н., Жижин В.В., Иванов В.В.** Термическое обезвреживание промышленных органических отходов // *Экология и пром-сть России.* – 2000. – Апр. – С. 17-21.

15. Low-cost power from sewage sludge formulation // *Zement-Kalk-Gips int.* – 1999. – 52. – № 11. – A10.
16. **Morier F., Bauchot.** Avert le Grand, l'osmose inverse met en synergil le traitement des lixiviats et l'usine d'incineration // *Eau, ind., nuisances.* – 1998. – № 217. – P. 41-43.
17. **Kopp M., Kahlke J., Schulte W.** Mitverbrennung von Klarschlamm in Kohleferenerungsanlagen // *Allg. Pap. – Rdsch.* – 1995. – 119. – № 14. – S. 297-299.
18. **Wirling J., Lang H.-J.** Abgasreinigung bei der Klärschlamm-Mitverbrennung in einen Industriekraftwerk // *Korrespond. Abwasser.* – 1999. – 46. – № 1. – S. 77-82.
19. Thermal test // *Water Qual. Int.* – 1996. – July-Aug. – P. 24-25.
20. Sludge hydrolysis boosts throughput in sewage treatment plant // *Chem. Eng. (USA).* – 1998. – 105. – № 10. – P. 19.
21. Рекуперация теплоты сброженного осадка станции аэрации / **В.А.Загорский, Л.М.Пахомов, Д.А.Данилович** и др. // *ВСТ.* – 1997. – № 9. – С. 11-12.
22. Сооружения по очистке городских канализационных стоков как источники загрязнения атмосферы / **А.О.Карелин, О.Н.Карелин, В.С.Лучкевич** и др. // *Гигиена и санит.* – 2000. – № 3. – С. 12-14.
23. **Feldmann J., Kleimann J.** Flüchtige Metallverbindungen im Faulus // *Korrespond. Abwasser.* – 1997. – 44. – № 1. – S. 99-104.
24. **Steiner A.** Verfahren zum abstoppen von faulprozessen in faulshlamm // *Pat. 402289.* (Austria). Priority 30.12.1994. Published 25.03.1997.
25. **Walsh M. J.** Sludge handling and disposal – an American perspective // *Water Qual. Int.* – 1995. – № 2. – P. 20-23.
26. [Способ предотвращения выделения дурнопахнущих выбросов при сушке отходов органического происхождения, в частности навоза и осадков сточных вод] // *Application 4142253 (Germany).* Priority 20.21.1991. Published 01.07.1993.
27. **Christy R.W., Christy P.G.** Process for pathogen reduction in waste // *Pat. 5229011 (USA).* Priority 03.11.1992. Published 20.07.1993.
28. **Manchak F. (Jr.), Manchak F., Manchak P.** Sludge treatment with CaO or CaC₂ and recovery of CaO therefrom // *Pat. 5242601 (USA).* Priority 06.06.1991. Published 07.09.1993.

29. **Евилевич А.З., Евилевич М.А.** Утилизация осадков сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
30. Schlamm-trocknung in Gewächshäusern // *Galvanotechnik*. – 1999. – 90. – № 4. – S. 1156-1157.
31. *Folia Univ. agr. Stetin. Agr.* – 1997. – V. 77.
32. **Ware A.J., Love S.C.P.** Process for treatment of sewage sludge // Application 2276876 (Gr. Brit.). – Priority 24.03.1993. – Published 12.10.1994.
33. **Clark P.** Can earthworms provide the answer to the sludge treatment problem? // *Water and Waste treat. (Gr. Brit.)*. – 1998. – № 2. – P. 20-23.
34. Klärschlammverbrennung bei echst angelaufen // *Chem.-Ing.-Techn.* – 1995. – 67. – № 4. – S. 364-365.
35. **Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н.** Осадки сточных вод как удобрение для сельского хозяйства // *ВСТ*. – 2001. – № 12. – С. 33-35.
36. **Ларионов Т.А.** Содержание тяжелых металлов в осадках сточных вод и зеленой массе растений // *Тр. ВНИИ вет. санитар., гигиены и экологии*. – 1996. – № 102. – С. 66-70.
37. Утилизация осадков сточных вод в качестве материала для изоляции ТБО / **К.Л.Чертег, А.К.Стрелков, Д.Е.Быков** и др. // *ВСТ*. – 2001. – № 6. – С. 36-39.
38. **Bottril P.** Minimizing the sludge disposal problem // *Water and Waste treat.* – 1997. – 40. – № 9. – P. 26.
39. **Burns H., Gremminger L.** Lime and flyash stabilization of waste water treatment sludge // Pat. 5277826 (USA). Priority 01.11.1991. Published 11.01.1994.
40. **Hinger K.-J.** [Утилизация осадка] // Application 4020552 (Germany). Priority 28.06.1990. Published 02.01.1992.
41. **Соколов Л.И., Петров А.Н.** Утилизация осадка сточных вод // *ВСТ*. 1995. – № 8. – С. 15-17.
42. Klärschlammumfrage der ATV ermöglicht. Kostentransparenz in der Abfallwirtschaft // *Kommunalwirtschaft*. – 1998. – № 1. – S. 19-20.
43. **Door J., Ben-Josef N.** Monitoring effluent quality in the hypertrophic wastewater reservoirs using remote sensing. – *Approp. waste Manag. Technol. Dev. Countries: Technol Pap. Present // 3rd Int. conf., Nagpur, Febr., 25-26, 1995, T 1.* – Bombay, 1995. – P. 199-207.

44. Водоотведение и очистка сточных вод / **С.В.Яковлев, Я.А.Карелин, Ю.М.Ласков, В.И.Калицун.** – М.: Стройиздат, 1996. – 591 с.

45. Коммунальные сточные воды и перспективы их использования в сельском хозяйстве Западной Сибири / **А.В.Шуравин, Р.П.Воробьева, А.С.Давыдов** и др. // Вода: экология и технол.: Тез. докл. 4-го Международ. конгр. – М.: 2000. – С. 595-596.

46. Охрана окружающей среды и здоровья при реиспользовании сточных вод: обзор // Гигиена и санит. – 1993. – № 8. – С. 27-30.

47. **Саянин В.П., Романенко Н.А.** Основные гигиенические требования к использованию сточных вод в сельском хозяйстве // В кн.: ВСХИЗО – агропром. комплексу. – М.: Всерос. с.-х. ин-т заоч. обуч., 1994. – С. 139-140.