

**И.С. Гуляева, М.С. Дьяков, Я.Н. Савинова,
В.А. Русакова, И.С. Глушанкова**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрена проблема утилизации осадков сточных вод, образующихся при эксплуатации сооружений биохимической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод. Анализ и обобщение результатов исследований по утилизации осадков городских сточных вод г. Перми, проведенных сотрудниками и студентами кафедры охраны окружающей среды, позволили обосновать стратегию выбора методов переработки осадков сточных вод с получением товарных продуктов.

Ключевые слова: осадки сточных вод, избыточный активный ил, биологические очистные сооружения, тяжелые металлы, патогенная микрофлора, обеззараживание, органо-минеральное удобрение, пиролиз, жидкое топливо.

Водоотведение и очистка хозяйственно-бытовых сточных вод – одна из важнейших экологических проблем урбанизированных территорий.

Схема очистки городских сточных вод традиционна и включает в себя следующие основные операции: механическую очистку сточных вод в первичных отстойниках, биологическую очистку в аэротенках, очистку от взвешенных частиц активного ила во вторичных отстойниках, доочистку воды, например, на механических и/или сорбционных фильтрах и обеззараживание.

В процессе очистки городских сточных вод образуются твердые отходы – осадки сточных вод (ОСВ), представляющие собой избыточный активный ил (ИАИ) и осадки первичных отстойников (ОПО), утилизация которых остается сложной технической и экологической проблемой. Из общей стоимости очистки стоков 40–50 % приходится на обработку осадков и подготовку их к утилизации.

Во всем мире ежегодно образуется $20 \cdot 10^9$ т ОСВ. На очистных сооружениях городов России ежегодно образуется более 100 млн м³ осадка сточных вод при влажности 98 % или 2,5–3 млн т абсолютно сухого вещества [1–4].

Сточные воды города представляют собой смесь очищенных промышленных сточных вод и хозяйственно-бытовых стоков и характеризуются высоким содержанием различных органических компонентов, солей токсичных тяжелых металлов, микробных загрязнений, в том числе патогенных микроорганизмов, бактериальных организмов (кокки, палочки, спириллы), яиц гельминтов, вирусов, которые при очистке накапливаются в осадках сточных вод.

ИАИ представляет собой сложный органо-минеральный комплекс, органическая часть которого представляет собой биомассу и адсорбированные и частично окисленные загрязняющие вещества сточных вод, а также азот- и фосфорсодержащие соединения.

Органическая часть активного ила в основном состоит из вещества белкового происхождения (до 50 %) при содержании жиров и углеводов соответственно до 30 и 10 %. В сыром осадке из первичных отстойников белков примерно в 2 раза меньше, а углеводов в 2,5–3 раза больше, чем в активном иле.

Основными компонентами минеральной части ОСВ являются оксид кремния, оксид алюминия, оксид железа и фосфор, который может находиться в образцах в виде малорастворимых фосфатов тяжелых металлов, а также кальция.

В настоящее время в России основной способ обработки осадков сточных вод заключается в их механическом обезвоживании и складировании обезвоженных осадков на иловых картах и илонакопителях, где в течение длительного времени протекает обеззараживание и биодеградация отходов. Такой метод не отвечает современным экологическим и техническим требованиям, приводит к длительному и чаще безвозвратному отчуждению значительных земельных ресурсов, сопровождается экологическими рисками загрязнения подземных вод в зоне влияния мест складирования отходов.

Высокое содержание углерода, азота, фосфора, кальция, микроэлементов позволяет рассматривать ОСВ в качестве органо-минеральных удобрений. Однако высокая бактериальная загрязненность и содержание в осадках ионов тяжелых металлов требует дополнительной обработки ОСВ перед их использованием в качестве удобрений [4].

ОСВ обладают значительной теплотворной способностью, и при термических методах переработки возможно использование энергетического потенциала отхода [3, 4].

Анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по утилизации осадков сточных вод показал, что для этих целей используется целый ряд методов:

- обеззараживание и детоксикация осадков с получением органико-минеральных удобрений и компостов [4–8];
- анаэробная деструкция и обеззараживание ОСВ с получением биогаза [3, 4];
- термические методы: сжигание в печах различной конструкции; низкотемпературный пиролиз с получением жидкого топлива [3].

В связи с многообразием существующих методов утилизации ОСВ возникает необходимость в разработке принципов и критериев выбора оптимального варианта и стратегии переработки для целенаправленного использования образующихся продуктов.

При выборе наиболее рационального метода переработки ОСВ необходимо учитывать следующие факторы:

- 1) объем образующихся отходов;
- 2) условия формирования сточных вод и их состав;
- 3) экономическую целесообразность использования метода переработки ИАИ (рентабельность);
- 4) возможность вторичного использования продуктов утилизации;
- 5) возможность утилизации тепла.

Согласно выбранным критериям наибольший интерес представляют два метода утилизации, одним из которых является использование осадков сточных вод в качестве органико-минерального удобрения, а другим – пиролиз ОСВ с получением жидкого топлива.

На кафедре охраны окружающей среды в течение ряда лет проводились исследования по переработке ОСВ [9, 10]. Анализ и обобщение результатов исследований позволит обосновать стратегию выбора метода переработки ОСВ.

Анализ результатов исследований по возможности использования ОСВ в качестве органико-минеральных удобрений и/или технических грунтов для рекультивации почв. Проведенный анализ условий формирования объема и состава осадков сточных вод (на примере эксплуатации очистных сооружений г. Перми) позволил установить,

что при биологической очистке образуется осадок первичных отстойников объемом 500–1000 м³/сут и 1000–1300 м³/сут ИАИ с влажностью 95 %, после их смешения, уплотнения и обезвоживания в присутствии флокулянта на ленточных винкельпрессах формируется 100–120 м³/сут обезвоженного осадка с влажностью 85 %.

Основные физико-химические характеристики и интегральные показатели химического состава ИАИ и ОПО, а также содержание тяжелых металлов в ОСВ, определенные по стандартным методикам, представлены в табл. 1 и 2.

Требования к осадкам очистных сооружений при использовании их в качестве органических и органо-минеральных удобрений регламентируются ГОСТ Р 17.43.07–2001 «Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений» и СанПиН 2.1.7.573–96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения».

Анализ физико-химических характеристик и химического состава ОСВ показал, что по основным показателям ОСВ отвечают требованиям, предъявляемым к органо-минеральным удобрениям (см. табл. 1).

Основным фактором, ограничивающим использование отходов в качестве органических удобрений или технических грунтов, является высокое содержание в них тяжелых металлов, а также патогенной микрофлоры.

Таблица 1

Химический состав и физико-химические характеристики осадков сточных вод очистных сооружений г. Перми

Наименование показателя	Интервал значений показателя в пересчете на сухое вещество		Требования к ОСВ, используемым в качестве органо-минерального удобрения
	ОПО	ИАИ	
Массовая доля органических веществ, %	60–64	58	20 (ГОСТ 26213)
Массовая доля золы, %	36–40	40–42	–
Массовая доля общего азота, %	5,5–5,7	5,2–5,5	0,6 (ГОСТ 26715)
Массовая доля общего фосфора (P ₂ O ₅), %	5,0–5,5	5,0–5,5	1,5 (ГОСТ 26717)
pH солевой вытяжки	6,9	5,0	5,5–8,5 (ГОСТ 26483)
XПК водной вытяжки (1:1) мгО ₂ /л	3000–3500	300–350	–
Нефтепродукты, мг/кг	110–160	100–110	–

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в ОСВ

Металл	Содержание, мг/кг сухого вещества		ПДК или ОДК (мг/кг) ТМ в почве	Содержание, мг/кг сухого вещества, не более, для осадков группы (ГОСТ Р 17.4.3.07–2001)	
	ОПО	ИАИ		I	II
<i>Содержание тяжелых металлов (валовая форма)</i>					
Кадмий	40–50	5,8–11,0	0,5[*], 1,0^{**}, 2,0^{***}	15	30
Медь	94–1000	150–234	33,0 [*] , 66 ^{**} , 132 ^{***}	750	1500
Марганец	–	600–925	1000		
Мышьяк	–	0–5,0	55,0 [*] ; 5,0 ^{**} ; 10,0 ^{***}	10	20
Никель	300–500	80–115,0	20,0[*]; 40,0^{**}, 80,0^{***}	200	400
Ртуть	–	0–1,5	2,1	7,5	15
Свинец	100–160	40–60	32,0	250	500
Хром	54–1000	150–300		500	1000
Цинк	290–1470	600–850	55,0 [*] ; 110 ^{**} ; 220 ^{***}	1750	3500
<i>Содержание металлов в подвижной форме</i>					
Цинк	391,6	516,14	23,0	–	–
Хром	9,8	10,8	6,0	–	–
Свинец	5,6	4,2	6,0	–	–
Медь	2,2	6,8	3,0	–	–

* ОДК для песчаных и супесчаных почв.

** ОДК для кислых суглинистых и глинистых почв с pH < 5,5.

*** ОДК для кислых суглинистых и глинистых почв с pH > 5,5.

В табл. 2 представлено содержание тяжелых металлов (ТМ) в ОСВ, а также нормативные требования к их содержанию в почвах и в ОСВ, используемых в качестве удобрений. По концентрации ТМ осадки при сельскохозяйственном использовании подразделяют на две группы. Осадки первой группы используют под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов и земляники. Осадки второй группы используют под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры (ГОСТ Р 17.4.3.07–2001).

Как видно из представленных данных, содержание кадмия, никеля, хрома (валовая форма), а также цинка в подвижной форме в ОПО и ИАИ может превышать нормативные показатели, и перед их использованием необходимо проведение детоксикации и обеззараживания осадков.

Следует отметить, что, несмотря на соблюдение нормативных требований к ОСВ, используемым в качестве удобрений, при внесении их в почву уровень содержания металлов в сравнении с фоновыми концентрациями, как правило, повышен.

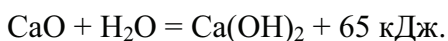
Решение проблемы детоксикации (удаление ТМ) и обеззараживания ОСВ, санации законсервированных иловых карт весьма актуально, так как это позволит вторично использовать отходы и значительно сократить изъятие новых земельных ресурсов.

Анализ научно-технической информации по методам обеззараживания и детоксикации, удалению из осадков ионов тяжелых металлов показал, что для этих целей используются:

- термообработка до температур порядка 60–70 °С (обработка в метатенках, термосушка, биоферментация);
- облучение инфракрасными лучами (камера дегельминтизации);
- пастеризация при температуре 70 °С и времени теплового воздействия не менее 20 мин;
- аэробная стабилизация с предварительным нагревом смеси сырого осадка с активным илом при температуре 60–65 °С в течение 2 ч;
- компостирование (с опилками, сухими листьями, соломой и торфом, другими водопоглощающими средствами) в течение 4–5 месяцев, из которых 1–2 должны приходиться на теплое время года;
- выдерживание на иловых площадках в условиях I и II климатических районов в течение не менее трех лет, III климатического района – не менее двух лет, IV климатического района – не менее 1 года;
- обработка химическими реагентами и препаратами [4].

Наиболее действенными и менее затратными методами обеззараживания и детоксикации являются обработка осадка химическими реагентами и различными биопрепаратами.

Для обеззараживания и обезвоживания ОСВ широко используется *негашеная известь (технический оксид кальция)*, которая наряду с повышением щелочности осадков обеспечивает в процессе взаимодействия с водой и увеличение температуры. При гашении 1 моль (56 г) оксида кальция выделяется 65 кДж тепла и связывается 18 г воды:



Известно, что при повышении pH более 10 происходит деформация и гибель яиц гельминтов, ОСВ теряют запах, в них прекращается развитие санитарно-показательных микроорганизмов (кишечной палочки и энтерококка). Повышение температуры также способствует пастеризации осадков.

Зная массу осадка ($M_{\text{ОСВ}}$) и извести ($M_{\text{и}}$), удельные теплоемкости осадка и негашеной извести ($C_{\text{ОСВ}}$ и $C_{\text{и}}$), можно рассчитать повышение температуры при использовании извести в качестве реагента:

$$\Delta T = \frac{1152 \cdot A \cdot M_{\text{CaO}}}{M_{\text{ОСВ}} \cdot C_{\text{ОСВ}} + M_{\text{и}} \cdot C_{\text{и}}},$$

где A – содержание CaO в негашеной извести.

Исследования по обезвоживанию и обеззараживанию ОПО и ИАИ проводили с использованием следующих реагентов: оксида и карбоната кальция.

При обработке осадков сточных вод реагентами через 15–20 мин происходила коагуляция и флокуляция взвешенных частиц осадка и разделение фаз. После отделения жидкой фазы анализировалась влажность полученного образца непосредственно после обработки, а также после 1 и 3 дней отстаивания. На основании проведенных экспериментов была определена оптимальная доза реагентов, обеспечивающая обезвоживание осадка и частичного снятия запаха: 15 г/кг CaO или 20 г/кг CaCO₃ для ИАИ и 5 г/л CaO или 7,5 г/л CaCO₃ для образцов ОПО.

Реагентные методы детоксикации осадков основаны на замещении тяжелых металлов на ионы щелочных и щелочно-земельных металлов или на связывании подвижных ионов тяжелых металлов в труднорастворимые комплексные соединения [5–8].

Известно, что ионы тяжелых металлов способны образовывать малорастворимые комплексные соединения: гуматы, аммиакаты, аминокислотные комплексы и др. Например, устойчивость комплексных соединений гуминовых кислот с ионами различных металлов возрастает в следующем порядке: $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Mn}^{2+} < \text{Co}^{2+} < \text{Ni}^{2+} < \text{Zn}^{2+} < \text{Fe}^{2+} < \text{Cu}^{2+} < \text{Pb}^{2+} < \text{Al}^{3+} < \text{Fe}^{3+}$.

При выборе методов детоксикации ОСВ и ИАИ необходимо учитывать содержание металлов в подвижной форме, так как именно этот показатель будет определяющим при выборе методов санации законсервированных иловых карт и детоксикации осадков. Результаты анализа показали, что, несмотря на достаточно высокое валовое содержание металлов в ИАИ и ОПО (марганец, хром, цинк, свинец), в подвижной форме их содержание значительно ниже, наибольшая концентрация характерна для цинка (см. табл. 2).

С целью обоснования оптимального метода детоксикации ОСВ были проведены исследования возможности связывания подвижных форм металлов и обеззараживания ОСВ с использованием промышленных и синтезированных в ходе экспериментов препаратов.

Промышленные препараты. АКК-БАК (*препарат 1*) (ТУ 9291-0002-94106549–06) получают методом щелочного гидролиза некондиционного животного сырья. Содержит аммиак и комплексные соединения меди (аммиачный комплекс). Препарат представляет собой темно-синюю или черную суспензию со специфическим запахом (запах аммиака) с плотностью 1100–1150 г/дм³, температура замерзания –10...–12 °С, температура кипения 110–115 °С. Реагент является композицией гидратов аммиачно-аминокислотных и гидроксоаминокислотных комплексных соединений меди (2+) ($\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2$) и натриевых солей аминокислот: аланина, валина, глицина, лейцина, изолейцина, пролина, фенилаланина, оксопролина, серина, тирозина, треонина, аргинина, гистидина, лизина, оксализина, цистеина, цистина, метионина, аспарагиновой и глютаминовой кислоты. Проявляет щелочную реакцию, рН = 10.

Гумино-минеральное удобрение (*препарат 2*) (ТУ 9896-016-11158098–2000) представляет собой концентрированный раствор органоминеральной композиции, включающей в себя гуматы калия, выделенные из биогумуса, а также биогенные элементы азот и фосфор в виде нитратов и гидрофосфатов. рН = 10...11. Препарат широко используется в качестве удобрения, для интенсификации процессов компостирования растительных остатков на садовых и садово-парковых участках.

Синтезированные препараты. *Препарат 3* – концентрат гуминовых соединений, полученный при обработке низинного торфа щелочью, рН = 10...11. *Препарат 4* – комплекс гуминовых кислот, выделенных из препарата 3. *Препарат 5* – торфяно-минеральная суспензия, полученная обработкой торфа растворами гидроксида натрия, рН = 11.

Для исследования эффективности использования биопрепаратов для детоксикации ОСВ образцы ИАИ (влажность образца 85 %) и образцы ОПО (влажность 98 %) обрабатывались препаратами в процессе перемешивания при комнатной температуре при соотношении ИАИ : препарат = 5:1 и ОПО : препарат = 6,6:1.

Была также исследована возможность применения для обеззараживания и детоксикации ОСВ обработки осадков смесью торфа и негашеной известью с различным процентным соотношением торфа

и СаО. При взаимодействии СаО с влажным ОСВ происходит подщелачивание и повышение температуры ОСВ, что сопровождается процессами обеззараживания и пастеризации осадка. Кроме того, в щелочной среде из торфа выделяются водорастворимые гуматы кальция, способные связывать подвижные формы ТМ в комплексы, т.е. происходит детоксикация ОСВ.

Исследовалось влияние длительности обработки и дозы препаратов на эффективность связывания металлов и детоксикации осадков сточных вод. Процесс контролировался по изменению органолептических свойств обработанных образцов (интенсивность запаха, цвет), физико-химических показателей (рН водной вытяжки), а также по содержанию тяжелых металлов в подвижной форме. Результаты экспериментов при оптимальной дозе препаратов при обработке ОПО представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследования по обработке осадков сточных вод биопрепаратами

Название препарата	рН	Содержание Zn, мг/кг сух. образца
<i>Избыточный активный ил</i>		
Исходный образец	5,0	516,0
Препарат 1	6,5	550,0
Препарат 2	6,3	180,0
Препарат 3	8,5	85,0
Препарат 4	5,0	120,0
Препарат 5	9,0	100,0
Композиция ОСВ СаО : торф	10,0	80,0
<i>Осадок первичных отстойников</i>		
Исходный образец	5,0	392,0
Препарат 4	5,0	90,0
Препарат 5	8,5	70,0
Композиция ОСВ СаО : торф	9,5	60,0

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие **выводы**:

- использование препарата АКК-БАК обладает высокой обеззараживающей способностью, но приводит к значительному повышению концентрации меди в обработанных образцах; что связано с высоким содержанием комплексных соединений меди ($[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$) в нем;

- гумино-минеральное удобрение проявляет достаточно высокую эффективность по связыванию тяжелых металлов, но не способствует улучшению органолептических свойств образцов;

- из синтезированных препаратов наиболее эффективны препарат 3 – гуминовый концентрат (эффективность связывания цинка составляет 80–82 %, меди – 80 %) и препарат 4 – торфоминеральная композиция (эффективность связывания цинка составляет 71 %, меди – 55 %);

- в присутствии торфоминеральной композиции значительно улучшаются органолептические свойства ИАИ и ОСВ и ускоряются процессы их обезвоживания. После обработки осадки представляет собой структурированную темно-коричневую массу без характерного запаха (эффективность связывания цинка составляет 71 %, меди – 55 %);

- при обработке образцов ОСВ композициями торф : СаО (в различных соотношениях) происходит эффективное связывание ионов тяжелых металлов в комплексные соединения и значительное снижение интенсивности запаха, что свидетельствует об ускорении процессов биодеструкции отходов.

На основании проведенных исследований показана реальная возможность детоксикации осадков сточных вод и/или санации законсервированных иловых карт с использованием синтезированных препаратов: торфоминеральной композиции или композиций торф : СаО.

Обработанные осадки могут быть использованы в качестве органо-минеральных удобрений или технических грунтов на территории предприятия при проведении строительных работ, архитектурно-планировочных мероприятиях, при рекультивации нарушенных земель.

Анализ результатов исследований по термической деструкции ОСВ. Термические методы утилизации ОСВ позволяют реализовать высокий энергетический потенциал отходов, который при сложившейся практике утилизации осадков сточных вод практически не используется.

Сравнительный анализ результатов термогравиметрических исследований деструкции образцов ИАИ на воздухе и в атмосфере гелия и диоксида углерода и образующихся продуктов позволил определить перспективность применения метода пиролиза для утилизации ОСВ.

Результаты дериватографического анализа образцов обезвоженного ИАИ (образец 1, влажность 87 %) и высушенного ИАИ при 105 °С до постоянной массы (образец 2) представлены в табл. 4.

Таблица 4

Термические характеристики образцов ИАИ

Номер образца	1-й эффект		2-й эффект		3-й эффект	
	Температура, °С	Потеря массы, %	Температура, °С	Потеря массы, %	Температура, °С	Потеря массы, %
Среда – гелий и диоксид углерода						
1	20–180	83,4	240–400	5,7	610–740	3,2
2	20–150	2,0	150–460	41,9	600–740	20,5
Среда – воздух						
1	20–170	85,0	220–400	2,9	400–515	4,4
2	20–150	1,0	150–400	31,6	410–590	26,8

Анализ термической обработки образцов 1 и 2 на воздухе показал, что горение ИАИ начинается при 400 °С и заканчивается при температуре 590 °С. Общая потеря массы образцов 1 и 2 составляет соответственно 92,3 и 75,1 % при температуре 800 °С. При полном сжигании образцов 1 и 2 ИАИ образуется соответственно 7,7 и 24,9 % золы (минеральный остаток), содержащей тяжелые металлы.

Метод позволяет в 5–10 раз уменьшить объем отходов с получением зольного продукта, который может быть использован в качестве строительного материала [10]. Однако в современных условиях такой метод вызывает много критических замечаний.

Проведенные расчеты показали, что при сжигании 1 кг сухого ИАИ тепловой эффект составляет 15 000 кДж. Для сушки, например, 100 кг ИАИ с влажностью 85 % до влажности 10 % необходимо 228 000 кДж, т.е. затраты теплоты на испарение влаги превышают количество теплоты, выделяющееся при сгорании осадков, что не позволяет проводить процесс в автотермическом режиме и рационально использовать энергетический потенциал ИАИ.

Нельзя не учитывать экологическую опасность технологии, так как сжигание ИАИ будет сопровождаться выделением токсичных пылегазовых выбросов, содержащих оксиды серы (IV и VI), хлора и хлорсодержащих соединений, диоксинов, что приводит к необходимости создания комплексной многоступенчатой системы очистки газов от пыли и газообразных примесей.

При нагреве образцов 1 и 2 в среде гелия и диоксида углерода основные процессы деструкции наблюдается в интервале температур 240–400 °С с максимумом при 305 °С.

Удаляемые в этом интервале органические соединения при охлаждении конденсируются, образуя жидкую фазу. Для образца 1 потеря массы составляет 7,0 %, для образца 2—41,9 %. При температурах 610–740 °С с максимумом при 675 °С происходит дальнейшее разложение органической части ИАИ, сопровождающееся выделением СО, СО₂, разрушением карбоксильных, водородсодержащих групп с выделением водорода и отложением пироуглерода.

По литературным данным, теплотворная способность топлива, содержащего углеводороды с температурой кипения 200–400 °С, составляет 35–40 кДж/г [6, 7].

Проведенные исследования показали, что газообразные неконденсируемые продукты пиролиза имеют следующий состав, об. %: метан – 40, этан – 20, этилен – 6, двуокись углерода – 7, азот – 4, водород – 20, окись углерода – 3, сероводород – 2,5 и представляют собой среднекалорийное топливо. Такой газ можно также использовать в самом процессе пиролиза для поддержания температуры и для сушки исходного сырья. Теплотворная способность повышается, если использовать горячий газ. Горячие неконденсируемые газы пиролиза имеют теплотворную способность 44 000 кДж/кг. Таким образом, процесс пиролиза можно осуществлять в автотермическом режиме и получать дополнительные энергетические ресурсы.

В табл. 5 представлена характеристика различных видов топлива в сравнении с образцами жидкой фазы, образующейся при пиролизе ИАИ.

Качество продукта можно повысить в результате дополнительной очистки, использования различных добавок или перегонки, чтобы топливо соответствовало требованиям, предъявляемым к котельному топливу.

В процессе пиролиза образуется твердый остаток – пирокарбон или органо-минеральная композиция. Проведенные исследования показали возможность ее использования в качестве топлива, а также доступного *сорбционного материала*, стоимость которого значительно ниже промышленных сорбентов. Наиболее целесообразно использование полученного материала в качестве сорбента при локальных аварийных разливах нефти и нефтепродуктов, а также для глубокой доочистки сточных вод, прошедших биологическую очистку, от нефтепродуктов и органических веществ.

Таблица 5

Сравнительная характеристика жидких топлив

Показатель	Пиролизное топливо	Топочное и печное топливо марки М-40 (ГОСТ 10585–99)	Дизельное топливо (ГОСТ 305–82)
Компоненты	Углеводороды с $T_{\text{кип}}$ 300–400 °С	Мазут первичной перегонки; гудрон выше 480 °С; крекинг-остаток, тяжелые газойли крекинга и коксования; асфальты, легкие газойли (250–360 °С)	Керосино-газойлиевые фракции прямой перегонки нефти
Плотность, г/л	950	965	840–860
Вязкость, Мм ² /с	3,5	8	1,8–6,0
Содержание воды, %	1	Следы	–
Теплота сгорания, МДж/кг	35–40	38,78	
Температура вспышки, °С	38	90	35–40
Температура застывания, °С	–25	+10	–10; –35
Содержание серы, %	1,5	0,5–1,1	0,20
Зольность, %	0,1	0,02	0,01

Органо-минеральная композиция может быть использованы для рекультивации и детоксикации отработанных и законсервированных иловых карт и илонакопителей. Внесение их на площадки складирования илов будет способствовать процессам структуризации и гумификации формирующихся грунтов [10].

Таким образом, применение метода пиролиза ОСВ позволяет наиболее полно использовать ресурсный и энергетический потенциал отходов и получить товарные продукты: пиролизное топливо и органо-минеральную композицию, используемую в качестве дешевого сорбционного материала.

Технология переработки ИАИ должна включать в себя стадию обезвоживания образцов в центрифугах горизонтального или вертикального типа с ножевым съемом осадка и пиролиз в печах барабанного типа при температуре 450–500 °С в течение 30 мин.

Проведенный анализ результатов исследования позволил обосновать стратегию выбора методов переработки ОСВ с получением товарных продуктов с учетом наиболее значимых факторов и технико-экономического обоснования:

1. Обеззараживание и детоксикацию ОСВ с получением органоминеральных удобрений целесообразно применять при утилизации отходов, образующихся при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод малых населенных пунктов, сельскохозяйственных районов. В этом случае вклад промышленных сточных вод в общий состав стоков будет незначительным и ОСВ будут характеризоваться низким содержанием тяжелых металлов.

2. Для крупных промышленных центров целесообразно использовать комбинированные методы утилизации ОСВ: часть отходов подвергать пиролизу, другую часть использовать в качестве органоминеральных удобрений или технических грунтов. При этом образующееся жидкое топливо можно использовать как для предварительной сушки ОСВ, так и для пастеризации и обеззараживания другой части ОСВ. Соотношение частей будет определяться рентабельностью процессов утилизации и возможностью реализации образующихся продуктов.

Список литературы

1. Лотош В.Е. Переработка отходов природопользования / Ур ГУПС. – Екатеринбург, 2002. – 463 с.

2. Термическое обезвреживание промышленных органических отходов / М.Н. Бернадина, В.В. Жижин, В.В.Иванов // Экология и промышленность России. – 2000. – № 4. – С. 17–21.

3. Евилевич А.З. Утилизация осадков сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1988. – 240 с.

4. Туровский И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 375 с.

5. Пат. 2109696 РФ. Способ утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений / Элькинд К.М., Торунова М.Н., Тишков К.Н. – Оpubл. 25.08.1998.

6. Покровская Е.В., Сергеева Т.Н. Утилизация осадков сточных вод // Экология и промышленность России. – 2005. – Июнь. – С. 23–25.

7. Суханова Л.И. Утилизация осадков природных и сточных вод: обзор. инф. / ВНИИПИ. – М., 1990. – 30 с.

8. Пат. 2163573 РФ. Установка для ликвидации и утилизации ила из отстойников городов и промышленных предприятий / Вершинина Н.П., Вершинин И.Н., Руденко И.В. [и др.]. – Оpubл. 27.02.2001.

9. Термическая утилизация избыточного активного ила муниципальных биологических очистных сооружений на примере г. Перми / М.С.Дьяков, Я.И. Вайсман, И.С. Глушанкова, Е.В. Калинина // Экватэк–2008. Вода: Экология и технология: сб. докл. междунар. конгр. – М., 2008.

10. Комплексная переработка осадков сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий с получением товарных продуктов / М.С. Дьяков, И.С. Глушанкова, И.С. Гуляева // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 12. – С. 29–33.

Получено 28.02.2012