

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА

**В.А. ЕМЕЛЬЯНОВА**

*ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0507-0206>*

*канд. техн. наук, доц. А.А. ЕРМАК*

*ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4398-1796>*

**А.В. КОРНЯКОВА**

*ORCID <https://orcid.org/0009-0007-5301-1458>*

*(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

*Представлен обзор литературы по проблеме переработки избыточного активного ила очистных сооружений, выявлены перспективные способы его утилизации. Рассмотрен состав объекта исследования, в качестве которого был использован избыточный активный ил очистных сооружений ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод “Альбертин”». Изучено влияние термообработки избыточного активного ила при 105 °С, 250 °С и 350 °С на его свойства. Получены кривые дифференциального термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии избыточного активного ила. Определена зависимость изменения потери массы образца активного ила при нагревании до 900 °С в воздушной среде от температуры сушки. Также получены ИК-спектры активного ила, просушенного при 105 °С и 350 °С. Исследовано влияние температуры сушки активного ила на изменение характеристик поверхности и распределение пор.*

**Ключевые слова:** *активный ил, утилизация активного ила, термогравиметрический анализ, порометрия.*

**Введение.** Во всем цивилизованном мире проблема переработки различных отходов народного хозяйства стоит чрезвычайно остро. К одним из наиболее трудно утилизируемых отходов относятся остатки сточных вод [1]. Образующийся активный ил накапливается на иловых картах, что приводит к потере ценных земель, выделению ядовитых веществ, аккумуляции соединений тяжелых металлов, а также росту и развитию многих патогенных микроорганизмов. В связи с этим возникает необходимость уменьшения объемов хранения активного ила путем его утилизации [2].

Ил представляет собой многовидовой микробиоценоз в виде хлопьев, покрытых плотной гидратной оболочкой, которая препятствует уплотнению, и содержит до 40% минеральных частиц [3]. В состав ила входят микроорганизмы различных групп, такие как актиномицеты, бактерии, грибы, вирусы, простейшие, членистоногие и многие другие [4]. Суммарная поверхность хлопьев активного ила достигает 100 м<sup>2</sup> на 1 г сухого вещества, что объясняет его очень высокую сорбционную способность [3].

Поиск экологически безопасных способов утилизации избыточного активного ила на сегодня является актуальной темой.

**Основная часть.** *Обзор существующих методик переработки избыточного активного ила очистных сооружений.* На основе анализа научно-технической информации и зарубежного опыта можно выделить следующие способы переработки и утилизации активного ила:

- депонирование на иловых картах;
- биологическая переработка;
- термические методы;
- другие методы.

В Республике Беларусь основным способом утилизации обезвоженного избыточного активного ила остается его складирование на иловых картах и в илонакопителях, где в течение длительного времени протекает биодegradация отходов. Однако данные методы неэффективны и экологически небезопасны<sup>1</sup> [5].

Биологическая переработка ила включает в себя процессы для получения биогаза и органического минерального удобрения. Биохимический метод анаэробного сбраживания позволяет использовать энергетический потенциал отходов. С экономической точки зрения получение биогаза из активного ила выгодно в связи с тем, что себестоимость производства биогаза дешевле, чем природного газа, срок окупаемости экономически минимален, индекс прибыльности – не менее единицы, а внутренняя ставка рентабельности – больше процентной ставки по кредитам [6]. Между тем сложность применяемого оборудования (специальные реакторы) и управления процессом, необходимость очистки биогаза от токсичных примесей сдерживают применение метода в промышленной практике [3].

Ввиду питательной ценности активного ила, его положительного влияния на свойства почв, урожайность и качественный состав культивируемых культур многие исследователи рассматривают возможность примене-

<sup>1</sup> Способ утилизации отработанного активного ила очистных сооружений: пат. RU2 680 509 С2 / П.Д. Захаров – Опубл. 21.02.2019.

ния ила в выращивании сельскохозяйственных культур. В осадках сточных вод содержание органических веществ, которые могут служить основой для формирования гумуса, достигает 60%. Осадки сточных вод включают необходимые для развития растений микроэлементы. Однако наличие патогенной микрофлоры и высокие концентрации тяжелых металлов осложняют использование осадков сточных вод в качестве удобрения [7]. Данная тема затрагивается в исследованиях Н.П. Хрипача, С.Н. Жегулина и Е.Г. Камнева<sup>2</sup>.

Широкое распространение получили термические методы переработки избыточного активного ила. К таким методам относятся сжигание и пиролиз. Сжигание применимо в тех случаях, когда невозможна или экономически нецелесообразна утилизация осадка. Это позволяет снизить расход химических реагентов [8]. Компактность оборудования и технологической схемы также можно отнести к достоинствам метода. При этом метод представляет экологическую опасность, т.к. сжигание сопровождается выделением большого количества токсичных пылегазовых выбросов [7]. Одним из современных методов утилизации избыточного активного ила является сжигание его в цементных печах. Данный способ привлекателен и перспективен не только из-за экономической эффективности процесса, но и благодаря его экологичности [8].

Пиролиз представляет процесс переработки углеродсодержащих веществ путем высокотемпературного нагрева без доступа кислорода. В отличие от сжигания в процессе пиролиза наблюдается меньшая загрязненность атмосферы. Но способ не нашел широкого практического внедрения, что связано с недостаточной теоретической и технологической его проработкой, а также токсичностью образующихся продуктов [9]. К недостаткам пиролиза можно отнести то, что происходит потеря органического вещества, а также выпадение из сферы биологического круговорота некоторых биофильных макро- и микроэлементов [5]. Известны способы переработки осадков биологических очистных сооружений посредством пиролиза в присутствии реагентов с получением сорбентов. Недостаток способа – образование в процессе пиролиза токсичных газов, что приводит к необходимости применения сложных, трудо- и ресурсозатратных технологий очистки газовых выбросов (серо- и хлорсодержащие и хлорорганические соединения) и размещения твердых продуктов переработки, которые при термической утилизации концентрируют в себе тяжелые металлы<sup>3</sup>.

Б.С. Ксенофонтовым, Е.Е. Гончаренко, Ю.А. Борисовым было предложено использование ила в качестве биофлокулянта [10]. Это решает задачу не только его утилизации, но и интенсификации процесса очистки сточных вод. Следует отметить, что финансовые затраты в этом случае связаны только с транспортировкой ила [10].

Биомасса избыточного активного ила при определенных условиях может быть использована в качестве белково-витаминной добавки при строгом выполнении санитарного контроля<sup>4</sup>. Ее использование в рационе сельскохозяйственных животных балансирует корм по витаминам и белку.

Еще в 1939 г. была выдвинута идея об использовании бактериального белка в качестве сырья для изготовления пластмассовых изделий. Активный ил характеризуется большим содержанием общего азота, входящего в состав белка, и ничтожным содержанием клетчатки. Из активного ила извлекалось 10–20% бактериального белка, содержащего около 13% общего азота и большое количество фосфора. Таким образом, бактериальные белки из активного ила могут в значительной мере заменить белки растительного и животного происхождения [11].

Технология инактивации (автолиза) микробной биомассы очистных сооружений позволяет получить при ее применении качественные пластификаторы для дорожных бетонов и асфальтов. Это дает возможность снизить затраты на дорожное строительство, при этом отмечается повышение качества строительных материалов. В работе К.С. Черновой, М.М. Бауриной и Н.Б. Градовой [12] анализируется процесс автолиза активного ила метантенков очистных сооружений при различных параметрах процесса.

В публикации [13] Е.С. Белик приводит результаты экспериментальных исследований по получению биосорбента на основе микроорганизмов-нефтедеструкторов и карбонизата – отхода низкотемпературного пиролиза избыточного активного ила биологических очистных сооружений нефтехимического предприятия. Использование карбонизата позволит сократить объемы складированных в окружающей среде отходов и наиболее полно использовать их ресурсный потенциал.

В статье А.Е. Шурдовой [14] рассматривается избыточный активный ил как сырье для получения магнитных углеродных сорбентов. Магнитные сорбенты не только способствуют ликвидации аварийных разливов нефти на водных поверхностях, но и в качестве сырья для переработки. Применение парокислородной газификации позволяет достичь полного превращения углеродной составляющей в газообразные источники чистой энергии.

В работе Е.В. Москвичевой, А.А. Войтюка, Э.П. Доскиной, Д.О. Игнаткиной, Ю.Ю. Юрьева и Д.В. Щитова [15] впервые предложено использование образующегося избыточного активного ила в качестве вторичного сырья для получения адсорбционного материала, извлекающего ионы цинка, меди и никеля из стоков до биологической очистки, что позволяет далее активному илу полноценно взаимодействовать с остальными ионами, не теряя своих функций.

<sup>2</sup> Способ переработки избыточного активного ила: пат. RU2 782 605 C1 / Н.П. Хрипач, С.Н. Жегулин, Е.Г. Камнев. – Оpubл. 31.10.2022.

<sup>3</sup> Кузнецова Л.Н. Пиролиз осадков сточных вод ЦБП с получением органоминеральных адсорбентов для очистки промышленных стоков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. – Архангельск, 2000. – 20 с.

<sup>4</sup> Рудакова А.О. Применение активного ила в качестве исходного технологического сырья для производства органического удобрения (на примере ПАО «КуйбышевАзот» г. Тольятти): дис. ... магистра пед. наук: 20.04.01. – Тольятти, 2019. – 101 л.

Еще один способ утилизации избыточного активного ила представлен в исследованиях Б.С. Ксенофонта, А.С. Козодаева и Р.А. Таранова [16; 17]. Они рассматривают вопросы выделения редкоземельных металлов из золошлаков путем проведения ряда технологических операций. Для процесса концентрирования редкоземельных металлов (скандий, иттрий, лантан) в растворе в качестве реагента-собиравателя использовался избыточный активный ил. Ими было установлено, что активный ил обладает высокой сорбционной способностью к скандию. Также вопросом выделения тяжелых металлов занимались В.П. Панов, И.В. Зыкова Е.А. Алексеева<sup>5</sup>. Ими разработан способ упрощения технологии выделения тяжелых металлов из ила с последующим использованием органического вещества ила в сельском хозяйстве. Похожий способ выделения тяжелых металлов представлен В.Н. Марцуль, А.Б. Мошевым, А.Е. Авсеевым, Т.А. Жарской<sup>6</sup>. В их работе описана методика удаления тяжелых металлов перед депонированием избыточного активного ила. Эффективность удаления металлов из избыточного активного ила составляет не менее 50% для меди, цинка, свинца и кадмия.

Основные области применения активного ила приведена на рисунке 1.

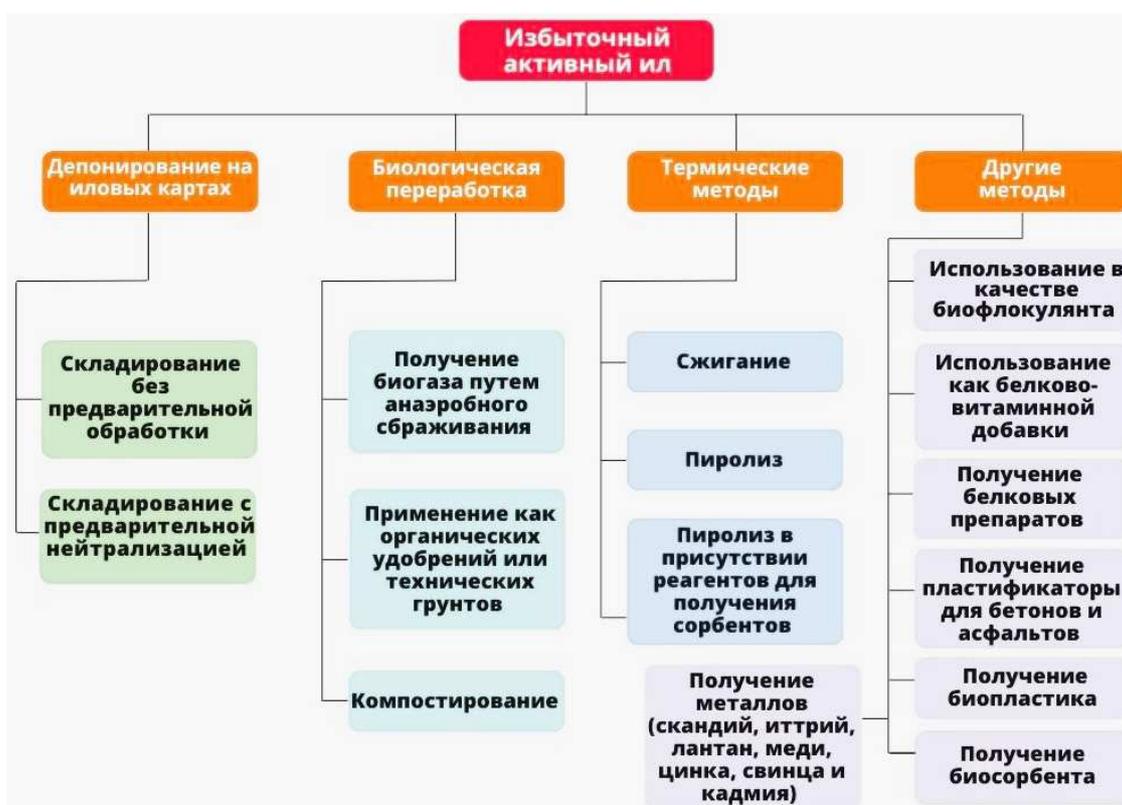


Рисунок 1. – Способы утилизации избыточного активного ила очистных сооружений

В ходе обзора научной литературы и патентного анализа способов переработки избыточного активного ила была выявлена перспективность его переработки путем термодеструкции с целью дальнейшего использования в качестве компонента твердых топлив или сорбентов.

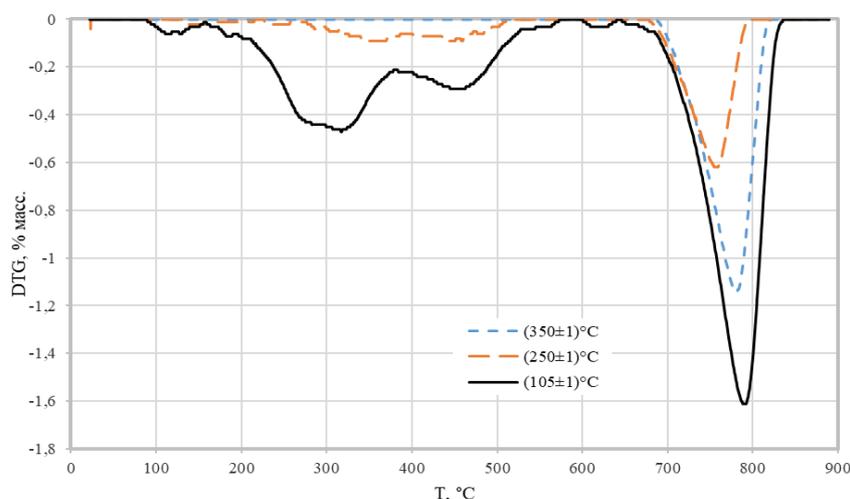
*Исследовательская часть.* В качестве объекта исследований использовался избыточный активный ил с очистных сооружений ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод “Альбертин”». Он образуется в процессе биологической очистки производственных сточных вод в аэротенках. Объем образования ила составляет 1200 т/год.

Избыточный активный ил состоит из 92,23% влаги и 7,77% сухого вещества, который в свою очередь включает 59,33% органического вещества, 5,23% азота, 2,37% фосфора и 0,14% калия. Во влажном избыточном активном иле содержатся такие металлы, как свинец (2,35 мг/кг), кадмий (0,09 мг/кг), марганец (27,24 мг/кг), хром (1,50 мг/кг), никель (1,01 мг/кг) и цинк (12,15 мг/кг). Кислотность активного ила составляет 7,77.

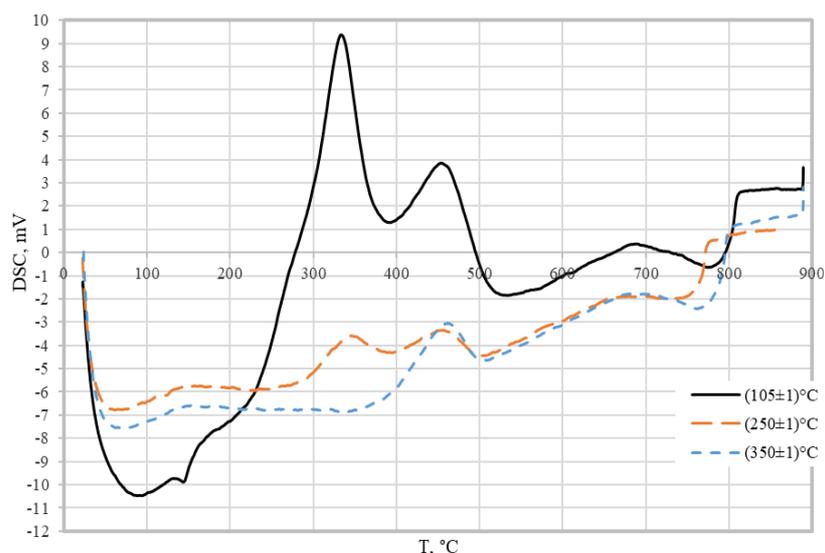
<sup>5</sup> Способ переработки избыточного активного ила, содержащего тяжелые металлы: пат. RU2 133 231 C1 / В.П. Панов, И.В. Зыкова, Е.А. Алексеева. – Оpubл. 20.07.1999.

<sup>6</sup> Способ удаления тяжелых металлов из избыточного активного ила: пат. BY5554 C1 / В.Н. Марцуль, А.Б. Мошев, А.Е. Авсеев, Т.А. Жарская. – Оpubл. 30.09.2003.

Термогравиметрический анализ образцов избыточного активного ила после термообработки в течение 2 ч при температуре 105 °С, 250 °С и 350 °С проводился при помощи термогравиметрического анализатора LR-TGA101. Результаты анализа представлены на рисунках 2–5.



**Рисунок 2.** – Кривые дифференциального термогравиметрического анализа активного ила, просушенного при температурах (105±1) °С, (250±1) °С и (350±1) °С



**Рисунок 3.** – Результаты дифференциальной сканирующей калориметрии активного ила, просушенного при температурах (105±1) °С, (250±1) °С и (350±1) °С

В области от 200 °С до 800 °С у просушенного активного ила при 105 °С и 250 °С наблюдается три пика потери массы, у просушенного активного ила при 350°С наблюдается только два.

Рассмотрим образец просушенного активного ила при 105 °С. Первый пик с наибольшей удельной энтальпией (экзотермический эффект) равен 332,6 °С, энтальпия 55,2 Дж/г. Для второго пика экзотермический эффект равен 455,6 °С, энтальпия 26,1 Дж/г. Третий пик (эндотермический эффект) для активного ила 777,9°С, энтальпия 17,6 Дж/г.

Для образца, состоящего из просушенного активного ила при 250 °С, можно выделить следующее. Первый пик с удельной энтальпией (экзотермический эффект) равен 345,1 °С, энтальпия 22,7 Дж/г. Для второго пика экзотермический эффект равен 457,7 °С, энтальпия 21,1 Дж/г. Третий пик (эндотермический эффект) с наибольшей удельной энтальпией для активного ила 737,8 °С, энтальпия 37,0 Дж/г.

Для просушенного активного ила при 350 °С первый пик с удельной энтальпией (экзотермический эффект) равен 460,5°С, энтальпия 25,5 Дж/г. Второй пик (экзотермический эффект) с наибольшей удельной энтальпией для активного ила равен 764,1 °С, энтальпия 36,8 Дж/г.

Как видно из рисунка 4, зависимость потери массы от температуры сушки активного ила имеет линейную зависимость. Потеря массы для просушенного активного ила при 105 °С, 250 °С и 350 °С составила соответственно 51,85% масс., 40,66% масс., 31,41% масс.

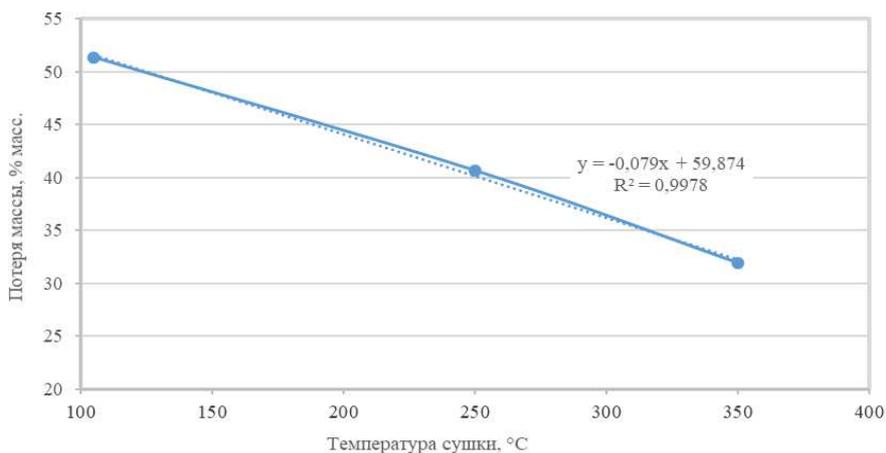


Рисунок 4. – Зависимость изменения потери массы образца активного ила при нагревании до 900 °С в воздушной среде от температуры сушки

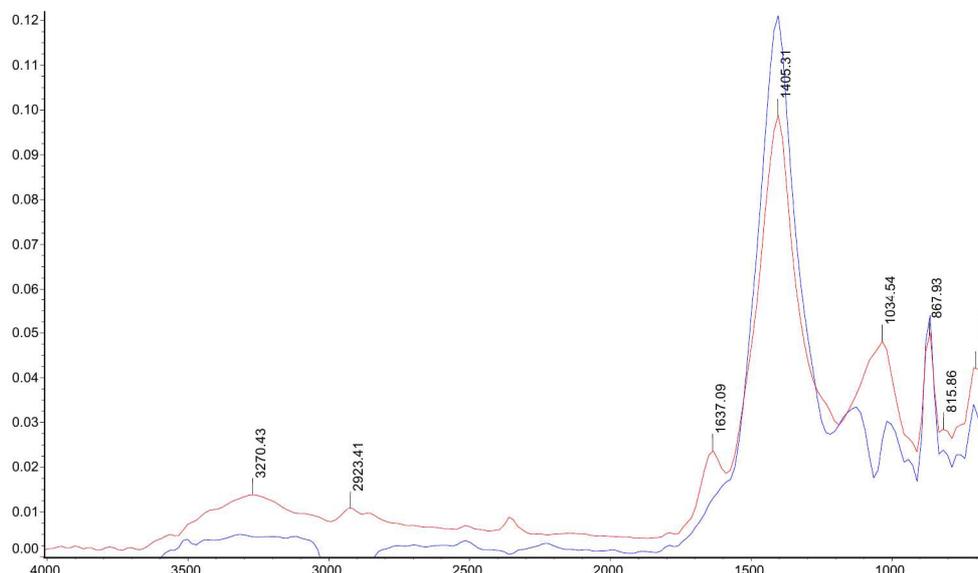


Рисунок 5. – ИК- спектры активного ила, просушенного при (105±1) °С и (350±1) °С

Таблица. – Характеристики поверхности и пор образцов (адсорбтив СО<sub>2</sub> при температуре 298 К),  $p_0 = 101,3$  кПа

Показатель	Активный ил после термообработки в течение 2 ч при температуре, °С	
	105	350
Удельная площадь поверхности по методу ВЕТ, м <sup>2</sup> /г	2,6562	4,8063
Суммарный объем пор по методу ВЕТ, мм <sup>3</sup> /г	3,477	5,292
Константа С	10,314	12,55
Средний диаметр пор по методу ВЕТ, нм	5,2362	4,4043
Удельная площадь поверхности по методу Ленгмюра, м <sup>2</sup> /г	14,418	16,147
Константа адсорбционного равновесия – отношение констант скорости адсорбции/ десорбции	0,009818	0,02017
Потенциальная энергия адсорбции по методу DA (метод Дубинина–Астахова), Дж/моль	3,4607	4,2606

Если сравнивать ИК-спектры активного просушенного активного ила при 105 °С и 350 °С, представленные на рисунке 5, то следует отметить следующее. В образце, просушенном при 350 °С, почти не содержится азотосодержащих соединений органического происхождения (аминокислот) по сравнению с образцом, просушенным при 105 °С. Также наблюдается уменьшение количества непредельных соединений, гетероатомных соединений (амидов, спиртов). В активном иле, просушенном при 350 °С, также происходит уменьшение углеводородных групп, таких как -CH<sub>3</sub>, -CH<sub>2</sub>-.

Основной пик представлен карбонатами и примесями, причем содержание данных компонентов выше в образце, состоящем из просушенного активного ила при 350 °С.

Изучение характеристик поверхности и распределения пор в образцах активного ила после термообработки в течение 2 ч при температурах 105 °С и 350 °С проводилось при помощи анализатора площади поверхности и распределения пор BELSOPR MAX. Перед проведением испытаний образцы подвергались сушке и дегазации под вакуумом при температуре 160 °С в течение 1 ч. Далее были получены изотермы адсорбции и десорбции исследуемых образцов при температуре 298 К. В качестве адсорбтива использовался углекислый газ (см. таблицу).

Как видно из данных таблицы, активный ил, просушенный при 105 °С, – полярное непористое вещество. При повышении температуры сушки до 350 °С в воздушной среде это уже низкопористое вещество, полярность которого снижается с повышением температуры термообработки.

**Заключение.** Перспективными способами утилизации избыточного активного ила является его переработка путем термодеструкции с целью дальнейшего использования в качестве компонента твердых топлив или сорбентов. Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, свидетельствуют о том, что при увеличении температуры сушки активного ила происходит термическое разложение (пиролиз) органического вещества. Низкий экзотермический эффект просушенных образцов связан с фазовым переходом минеральных компонентов, а также реакцией окисления и разложения солей, например, карбонатов или фосфатов. Также просушивание активного ила при более высоких температурах способствует повышению удельной поверхности и суммарного объема пор.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Состав микробного сообщества активного ила в процессах совместной биологической и реагентной очистки сточных вод / Л.М. Сибиева, И.А. Дегтярева, А.С. Сироткин и др. // Изв. вузов. Приклад. химия и биотехнология. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 302–312. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-302-3
2. Акимова И.А., Ткач П.Д., Сыч О.О., Утилизация биомассы активного ила: учеб. – М.: Высш. шк., 2015. – Т. 16. – 156 с.
3. Ручай Н.С., Маркевич Р.М. Экологическая биотехнология: учеб. пособие. – Минск: БГТУ, 2006. – 311 с.
4. Неволлина И.В., Брагин В.А. Утилизация осадков сточных вод коксохимического производства после биологической очистки // Система управления экологической безопасностью: сб. тр. XVII междунар. науч.-практ. конф. / Екатеринбург (19–20 мая 2023 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2023. – С. 255–260.
5. Путырская Е.А., Бельская Г.В. Анализ методов утилизации активного ила при очистке сточных вод // Сб. материалов 72-й студенч. науч.-техн. конф. / Минск (20–28 апр. 2016 г.). / Белорус. нац. техн. ун-т, фак. горн. дела и инженер. экологии. – Минск: БНТУ, 2016. – С. 69–72.
6. Калинина Е.В., Добрынина О.М. Экспериментальные исследования по получению биогаза из избыточного активного ила г. Перми // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2012. – Т. 4. – С. 323–329.
7. Горелова О.М., Титова К.Ю. Исследования по утилизации избыточного активного ила // Ползун. вестн. – 2015. – № 4. – Т. 1. – С. 114–116.
8. Способ обезвреживания и утилизации отработанного активного ила / Е.Ю. Брызгина, Р.Р. Насыров, З.А. Латыпова и др. // Нефтегазовое дело. – 2014. – № 3. – С. 124–132.
9. Экологически безопасный способ утилизации осадков сточных вод биохимических очистных сооружений с получением углеродсодержащих сорбционных материалов / Я.И. Вайсман, И.С. Глушанкова, М.С. Дьяков и др. // Вода: химия и экология. – 2011. – № 3. – С. 14–24.
10. Ксенофонов Б.С., Гончаренко Е.Е., Борисов Ю.А. Использование избыточного активного ила как биофлокулянта для биохимической очистки воды // Евраз. союз ученых. Пром. биотехнологии. – 2019. – № 10. – С. 23–27.
11. Евилевич А.З. Удаление, обработка и использование осадков сточных вод. – Л.; М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1954. – 227 с.
12. Чернова К.С., Баурина М.М., Градова Н.Б. Изучение влияния автолизатов активного ила метантенков на прочностные характеристики строительных материалов // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. – 2019. – Т. XXXIII. – № 5. – С. 47–48.
13. Белик Е.С. Получение нефтяного биосорбента на основе карбонизата – отхода пиролиза избыточного активного ила // Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2017. – № 14. – С. 120–124.
14. Шурдова А.Е. Магнитный углеродный сорбент для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на водоемах // Время науки – The times of science. – 2023. – № 4. – С. 31–36.
15. Совершенствование технологии очистки городских сточных вод с использованием сорбента на основе избыточного активного ила / Е.В. Москвичева, А.А. Войтюк, Э.П. Доскина и др. // Инженер. вестн. Дона. – 2015. – № 2. – Ч. 2. – С. 1–14.
16. Разработка комплексной технологии выщелачивания редкоземельных металлов из золотшлаков и проблема концентрирования растворов этих металлов / Б.С. Ксенофонов, А.С. Козодаев, Р.А. Таранов и др. // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 3. – С. 44–49.
17. Ксенофонов Б.С., Козодаев А.С., Таранов Р.А. Проблемы выделения редкоземельных металлов из угольной золы в виде растворов и их концентрирование // Экология и пром-сть России. – 2016. – Т. 20. – № 4. – С. 12–15. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-4-12-15

#### REFERENCES

1. Sibieva, L.M., Degtyareva, I.A., Sirotkin, A.S. & Babynin, E.V. (2019). Sostav mikrobnogo soobshchestva aktivnogo iла v protsessakh sovmestnoi biologicheskoi i reagentnoi ochistki stochnykh vod [Composition of Activated Sludge Microbial

- Community Used in the Combined Biological and Chemical Wastewater Treatment]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]*, 9(2). 302–312. (In Russ., in Engl.) DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-302-3
2. Akimova, I.A., Tkach, P.D. & Sych, O.O. (2015). *Utilizatsiya biomassy aktivnogo ila*, (16). Moscow: Vysshaya shkola. (In Russ.)
  3. Ruchai, N.S. & Markevich, R.M. (2006). *Ekologicheskaya biotekhnologiya*. Minsk: BGTU. (In Russ.)
  4. Nevolina, I.V. & Bragin, V.A. (2023). Utilizatsiya osadkov stochnykh vod koksokhimiicheskogo proizvodstva posle biologicheskoi ochistki. In *Sistema upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu: sbornik trudov XVII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 19–20 maya 2023 g. (255–260). Ekaterinburg: UrFU. (In Russ.)
  5. Putyrskaya, E.A. & Bel'skaya, G.V. (2016). Analiz metodov utilizatsii aktivnogo ila pri ochistke stochnykh vod. In *Sbornik materialov 72-i studencheskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii*, 20–28 apr. 2016 g. (69–72). Minsk: BNTU. (In Russ.)
  6. Kalinina, E.V. & Dobrynina, O.M. (2012). Eksperimental'nye issledovaniya po polucheniyu biogaza iz izbytochnogo aktivnogo ila g. Permi. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse*, (4), 323–329. (In Russ.)
  7. Gorelova, O.M. & Titova, K.Yu. (2015). Issledovaniya po utilizatsii izbytochnogo aktivnogo ila. *Polzunovskii vestnik*, 4(1), 114–116. (In Russ.)
  8. Bryazgina, E.U., Nasyrov, R.R., Latypova, Z.A. & Khazimova, L.R. (2014). Method of neutralization and utilization of spent activated sludge. *Oil and gas business*, (3), 124–132. (In Russ.)
  9. Vaisman, Ya.I., Glushankova, I.S., Dyakov, M.S. & Khodyashev, M.B. (2011). Ekologicheski bezopasnyi sposob utilizatsii osadkov stochnykh vod biokhimiicheskikh ochistnykh sooruzhenii s polucheniem ugle-rodosoderzhashchikh sorbtsionnykh materialov. *Voda: khimiya i ekologiya*, (3), 14–24. (In Russ.)
  10. Ksenofontov, B.S., Goncharenko, E.E. & Borisov, Yu.A. (2019). The use of excess activated sludge as a bioflocculant for biochemical water purification. *Eurasian Union of Scientists. Industrial biotechnologies*, (10), 23–27. (In Russ.)
  11. Evilevich, A.Z. (1954). *Udalenie, obrabotka i ispol'zovanie osadkov stochnykh vod*. Leningrad; Moscow: Gosudarstvennoe Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arkhitekture. (In Russ.)
  12. Chernova, K.S., Baurina, M.M. & Gradova, N.B. (2019). Izuchenie vliyaniya avtolizatov aktivnogo ila metantenkov na prochnostnye kharakteristiki stroitel'nykh materialov [The Influence of Activated Sludge Autolizates on the Strength Characteristics of Construction Materials]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii. sb. nauch. tr. [Advances in Chemistry and Chemical Technology: A Collection of Scientific Papers]*, XXXIII(5), 47–48. (In Russ., abstr. in Engl.)
  13. Belik, E.S. (2017). Poluchenie neftyanogo biosorbenta na osnove karbonizata – otkhoda piroliza izbytochnogo aktivnogo ila. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (14), 120–124. (In Russ.)
  14. Shurdova, A.E. (2023). Magnitnyi uglerodnyi sorbent dlya likvidatsii avariinykh razlivov nefiti i nefteproduktov na vodomakh [Magnetic Carbon Sorbent for Eliminating Emergency Spills of Oil and Oil Products on Water Bodies]. *Vremya nauki – The times of science*, (4), 31–36. (In Russ., abstr. in Engl.)
  15. Moskvicheva, E.V., Voityuk, A.A., Doskina, E.P., Ignatkina, D.O., Yur'ev, Yu.Yu. & Shchitov, D.V. (2015). Sovershenstvovanie tekhnologii ochistki gorodskikh stochnykh vod s ispol'zovaniem sorbenta na osnove izbytochnogo aktivnogo ila. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2(2), 1–14. (In Russ.)
  16. Ksenofontov, B.S., Kozodaev, A.S., Taranov, R.A., Vinogradov, M.S., Voropaeva, A.A. & Senik, E.V. (2016). Razrabotka kompleksnoi tekhnologii vyshchelachivaniya redkozemel'nykh metallov iz zoloshlakov i problema kontsentrirovaniya rastvorov etikh metallov. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, (3), 44–49. (In Russ.)
  17. Ksenofontov, B.S., Kozodaev, A.S. & Taranov, R.A. (2016). Problemy vydeleniya redkozemel'nykh metallov iz ugol'noi zoly v vide rastvorov i ikh kontsentrirovaniye [The Problems of Rare Earth Metals Extraction from Coal Ash in the Form of Solvents and its Concentrating]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*, 20(4), 12–15. (In Russ., in Engl.) DOI: 10.18412/1816-0395-2016-4-12-15

Поступила 05.07.2024

## THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE PROPERTIES OF EXCESS ACTIVATED SLUDGE

**V. YEMELYANOVA, A. YERMAK, A. KARNIAKOVA**  
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

*A literary analysis of the ways of processing excess activated sludge from sewage treatment plants has been carried out, promising ways of its disposal have been identified. The composition of the research object was considered, as which the excess activated sludge of the treatment facilities of JSC Slonimsky Cardboard and Paper Plant “Alber-tin” was used. The effect of heat treatment of excess activated sludge at 105 °C, 250 °C and 350 °C on its properties has been studied. The curves of differential thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry of excess activated sludge are obtained. The dependence of the change in the mass loss of the activated sludge sample when heated to 900 °C in an air environment on the drying temperature is determined. IR spectra of activated sludge dried at 105 °C and 350 °C were also obtained. The influence of the drying temperature of activated sludge on the change in surface characteristics and pore distribution has been studied.*

**Keywords:** *activated sludge, disposal of activated sludge, thermogravimetric analysis, porometry.*