

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-593-606

EDN: TJXVOT

УДК 628.2

Научная статья / Research article

Минимизация осадков, образующихся при эксплуатации очистных сооружений

В.Н. Волкова¹  , М.Н. Шевцов²¹Дальневосточный федеральный университет (ДФУ),
Владивосток, Российская Федерация²Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ),
Хабаровск, Российская Федерация vladavibi@bk.ru

Аннотация. Деятельность канализационных очистных сооружений для очистки бытовых сточных вод не ограничивается только очисткой сточных вод. Основной проблемой в этой деятельности является обработка и утилизация образующихся осадков на очистных сооружениях, где основная задача состоит в уменьшении объема осадка и последующем преобразовании его в полезный продукт, не вызывающий загрязнения окружающей среды. В настоящее время представители полигонов отказывают в принятии данного вида осадков, объясняя это тем, что данный вид осадков не относится к категории твердых коммунальных отходов. Вопрос применения осадков от очистных сооружений как сырья для изготовления остается открытым, но, по нашему мнению, данный вид осадка может быть подвергнут рециклингу в технологии очистки сточных вод. Практическая ценность заключается в проведении промышленных испытаний преобразователя осадка сточных вод в жидкие стоки, в том числе всех отходов, образующихся в ходе эксплуатации канализационных очистных сооружений с последующей доочисткой жидких стоков на очистных сооружениях. Данные испытания позволят сократить объем осадка до 90 %, что позволит минимизировать интенсивное накопление осадков от канализационных очистных сооружений и улучшить состояние окружающей среды.

Ключевые слова: сточные воды, водные объекты, жилищно-коммунальное хозяйство, переработка осадков, технологические требования

Благодарности и финансирование. Авторы благодарны сотрудникам КГУП «Приморский водоканал» за предоставленное научное оборудование и образцы для исследования.

Вклад авторов: все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

© Волкова В.Н., Шевцов М.Н., 2023

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

История статьи: поступила в редакцию 14.04.2023; доработана после рецензирования 14.09.2023; принята к публикации 14.10.2023.

Для цитирования: Волкова В.Н., Шевцов М.Н. Минимизация осадков, образующихся при эксплуатации очистных сооружений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 593–606. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-593-606>

Minimization of residues generated during the operation of treatment facilities

Vladislava N. Volkova¹  , Michael N. Shevtsov²

¹Far Eastern Federal University (FEFU), Vladivostok, Russian Federation

²Pacific State University (TOGU), Khabarovsk, Russian Federation

vladavibi@bk.ru

Abstract. The activity of sewage treatment plants for the treatment of domestic wastewater is not limited only to wastewater treatment. The main problem in this activity is the treatment and disposal of the resulting sediments at sewage treatment plants, where the main task is to reduce the volume of sediment and then transform it into a useful product that does not cause environmental pollution. Currently, representatives of landfills refuse to accept this type of precipitation, explaining that this type of precipitation does not belong to the category of solid municipal waste. The issue of using sediments from sewage treatment plants as raw materials for manufacturing remains open, but in our opinion this type of sediment can be recycled in wastewater treatment technology. The practical value lies in conducting industrial tests of the converter of sewage sludge into liquid effluents, including all waste generated during the operation of sewage treatment plants with subsequent post-treatment of liquid effluents at wastewater treatment plants. These tests will reduce the amount of sediment by up to 90%, which will minimize the intensive accumulation of precipitation from sewage treatment plants and improve the state of the environment.

Keywords: wastewater, water bodies, housing and communal services, precipitation processing, technological requirements

Acknowledgements and Funding. The authors are grateful to the employees of the Primorsky Vodokanal State Unitary Enterprise for the scientific equipment and samples provided for research.

Authors' contributions: all authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 14.04.2023; revised 14.09.2023; accepted 14.10.2023.

For citation: Volkova VN, Shevtsov MN. Minimization of residues generated during the operation of treatment facilities. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):593–606. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-593-606>

Введение

Методы переработки осадков от очистных сооружений недостаточно изучены, их ущерб, нанесенный окружающей среде, не является минимальным, а его снижение, в свою очередь, является высокочувствительным

и экономически невыгодным процессом [1]. Минимизация осадков от канализационных очистных сооружений актуальная проблема [2], связанная с предотвращением антропогенного загрязнения окружающей среды [3]. Ученными изучаются разные методы утилизации осадков от очистных сооружений [4]. В зависимости от технологии очистки сточных вод на сооружениях образуются следующие виды сырья [5]:

- грубые (отбросы), задерживаемые решетками;
- тяжелые (песок), улавливаемые песколовками;
- плавающие (жировые вещества), накапливаемые в песколовках и отстойниках;
- взвеси, осаждаемые в резервуарах;
- избыточный ил;
- осадки, обезвоженные на механических аппаратах, подсушенные на иловых картах или термически высушенные.

В основном для утилизации осадков сточных вод используют избыточный ил и осадки от обезвоживания на механических аппаратах, остальные виды осадков в предлагаемых методах утилизации не применяются [6]. Наиболее остро вопрос состоит в складировании осадков в возрастающем количестве на иловых площадках (песок, избыточный ил и осадки после обезвоживания), что приводит к распространению неблагоприятного газовойоздушного фона, загрязнения почв и подземных вод токсичными компонентами, входящими в состав осадков [7].

Существующие направления полезной утилизации осадков не используются широко не только в России [8], но и за рубежом [9; 10], что приводит к обострению негативного влияния на окружающую среду.

Предложенные методы утилизации осадков требуют длительного времени для превращения их в полезный продукт. Так, для пиролиза необходимо осадок высушивать и производить брикеты [11; 12]. Для газификации требуется продолжительный период времени для производства биогаза [13]. Многие методы по вопросам использования отходов сточных вод в качестве удобрений нельзя использовать в наших грунтах. Влияние на почву малоизучено, а сельскохозяйственные предприятия отказываются принимать такие удобрения в связи с негативным опытом – гибель сельскохозяйственных угодий [14; 15]. Для соответствия современным требованиям к грунтам и их компонентам, осадки очистных сооружений, кроме обеспечения нормативов по содержанию в них различных веществ [16], должны быть безопасны по санитарным показателям.

В частности, ученые из Китая выяснили, что осадок от очистных сооружений – это опасный побочный продукт биологической очистки сточных вод, и он является главным источником загрязнения водной среды, который вызывает проблемы со здоровьем и даже со смертельным исходом у людей [17]. Исторически сложилось, что более 80 % шлама не подвергалось эффективной и безопасной обработке и утилизации, и это представляет серьезную угрозу

для окружающей среды, особенно из-за повсеместного использования комбинированных систем очистки городских, промышленных и дождевых сточных вод. Таким образом, крайне важно создать отдельные дренажные системы для повышения эффективности и результативности обработки и утилизации осадка.

Цель работы – минимизация количества осадков очистных сооружений путем преобразования осадков в воду с последующей биологической очисткой. В связи с целью поставлены следующие задачи:

- исследовать состав осадков;
- разработать новый подход в системе обращения с осадками на канализационных очистных сооружениях.

Жизнедеятельность современного человека неминуемо ведет к образованию огромного количества отходов. Практически каждый житель производит более 300 кг мусора в год, лишь 15 % которого подвергается переработке. Весь прочий мусор попадает либо на санкционированные полигоны, среди которых только один еще не исчерпал свой ресурс, а остальные переполнены, но продолжают принимать отходы в обход узаконенных процедур, либо на одну из множества несанкционированных свалок, где речь о сортировке и переработке, естественно, вообще не идет. На сегодняшний день проблема переработки отходов остается актуальной экологической задачей [18]. Основные направления исследований в переработке отходов состоят из поиска путей получения вторичного сырья, где в основном предлагается длительная переработка отходов, требующая строительства новых заводов и фабрик по переработке сырья [19]. При этом осадки от очистных сооружений не являются отходами, так как эти осадки в технологии очистки сточных вод являются незавершенным технологическим процессом [20], но из-за крупных объемов при размещении создают глобальную экологическую проблему. Конкуренция в преобразовании осадков сточных вод в водный ресурс нет. Известен способ переработки осадков сточных вод с последующим слеживанием осадков на иловых картах [21]. Недостатком данного способа является загрузка осадка на иловые карты, для последующего применения осадка требуется несколько лет слеживания данных отходов, при неблагоприятных погодных условиях появляется неприятный запах, что недопустимо в населенных пунктах.

Известна конструкция круглогодичного обезвоживания осадков муниципальных сточных вод на иловых площадках [22]. Уже известно, что обезвоженный осадок флокулянтами не подходит для удобрения сельскохозяйственных культур, хотя иловые карты были придуманы именно для последующего применения удобрения, после нескольких лет слеживания данных отходов.

Известно изобретение [23], где при утилизации активного ила осуществляют химическую обработку с выдерживанием реакции от двух часов. Недостатками данного изобретения является долговременная утилизация активного ила и отсутствие обеззараживающего эффекта. Основной проблемой при

очистке сточных вод является образование отходов, которые отправляются на свалки [24]. Переработка осадков признана во всем мире серьезной проблемой на пути к реализации стратегии устойчивого развития и зеленого роста экономик всех стран [25; 26]. Организация Объединенных Наций определяет зеленый рост как политику, которая делает упор на экологически устойчивое экономическое развитие, сокращающее выбросы углекислого газа. Новая стратегия Европейской комиссии по устойчивому экономическому росту и созданию рабочих мест «Европа 2020» также включает концепцию зеленого роста и инноваций с особым акцентом на разработку и обеспечение соблюдения законодательства в области обращения с отходами. Особое внимание уделяется изучению осадков как вторичных ресурсов [27]. Способы обращения с осадками с очистных сооружений связаны с затратами и ограничениями из-за жестких требований российских властей [20]. Переработка отходов дает возможность снизить затраты или, в некоторых случаях, получить доход и экологические выгоды за счет минимизации осадков сточных вод на очистных сооружениях [29].

Материалы и методы

В данной работе были изучены осадки очистных сооружений «Центральный», расположенных в г. Владивостоке Приморского края, после механического обезвоживания. Методологической основой исследования послужили прикладные и фундаментальные методы промышленной экологии. Исследование основано на теории массопереноса, гидравлики, физической химии и биотехнологии.

Для научных исследований выбраны следующие параметры осадков: агрегатное состояние, массовая доля влаги, массовая доля сухого вещества, массовая доля золы (минеральных веществ), органических веществ, массовая доля общего азота, массовая доля общего фосфора, кремния в пересчете на оксид, титана в пересчете на оксид, серы в пересчете на сульфат-ион, мышьяка, удельная активность техногенных радионуклидов, эффективная удельная активность природных радионуклидов, ХПК и БПК₅, исследование тяжелых металлов, группа бактерий *E. coli*, патогенные микроорганизмы, яйца гельминтов и цисты простейших, наличие жизнеспособных личинок и куколок синантропных мух.

Влияние растворенного осадка сточных вод на активный ил было изучено с помощью сканирующего электронного микроскопа ЛОМО Микмед 5 методом гидробиологического анализа.

Результаты и обсуждение

Преобразователь отходов (рис. 1) работает следующим образом. На рис. 1 показаны реакгентная камера 1, патрубок 2 подачи осадка, патрубок 3 отвода нерастворимой фракции осадка, емкости 4 и 5 с кислотным и щелочным реагентами соответственно и патрубки их подвода 6 и 7, патрубок 8

отвода жидкой фракции осадка, корпус 9 реакгентной камеры 1, датчики уровня 10, температуры 11 и pH 12 соответственно, газоочищающее устройство 13, блок управления 14, насосный агрегат 15, затвор 16.

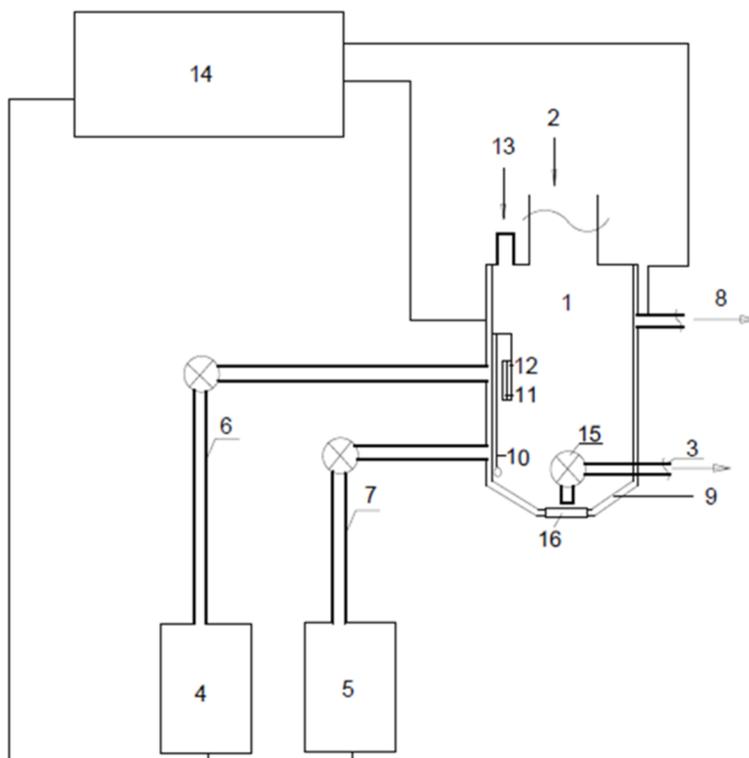


Рис. 1. Преобразователь отходов:

1 – реакгентная камера; 2 – патрубок поступления осадка; 3 – патрубок отвода нерастворимой фракции осадка; 4, 5 – емкости с кислотным и щелочным реагентами; 6, 7 – патрубки отвода реагентов; 8 – патрубок отвода жидкой фракции осадка; 9 – корпус реакгентной камеры; 10 – датчик уровня жидкости; 11 – датчик температуры; 12 – датчик pH; 13 – газоочищающее устройство; 14 – блок управления; 15 – насосный агрегат; 16 – аварийный затвор

Источник: составлено авторами /

Figure 1. Waste converter:

1 – reagent chamber; 2 – sludge intake pipe; 3 – discharge pipe for insoluble fraction of sediment; 4, 5 – containers with acid and alkaline reagents; 6, 7 – reagent discharge pipes; 8 – discharge pipe for liquid fraction of sediment; 9 – reagent chamber housing; 10 – liquid level sensor; 11 – temperature sensor; 12 – pH sensor; 13 – gas cleaning device; 14 – control unit; 15 – pumping unit; 16 – emergency shutter

Source: compiled by the authors.

Установка для переработки осадка, получаемого при эксплуатации очистных сооружений, содержит вертикально ориентированную реакгентную камеру 1:

- с корпусом 9 цилиндрической формы с двойными коаксиальными стенками, в зазоре между которыми циркулирует теплоноситель;
- в которой расположены датчики уровня 10, температуры 11 и pH 12 соответственно;
- в верхней части которой размещены патрубок 2 подачи осадка и газоочищающее устройство 13;

– в нижней части которой расположен патрубок 3 отвода нерастворимой фракции осадка;

– которая снабжена патрубком 8 отвода жидкой фракции осадка;

– которая сообщена с емкостями с кислотным 4 и щелочным 5 реагентами через соответствующие патрубки подвода 6 и 7.

Блок управления 14 руководит реагентным хозяйством (определение концентраций и контроль уровня водных растворов реагентов в соответствующих емкостях 4 и 5, регулирование подачи указанных растворов в реагентную камеру 1) и работой реагентной камеры 1 (контроль уровня жидкости с помощью датчика уровня 10, температурного режима с помощью датчика температуры 11, pH с помощью датчика pH 12, удаление нерастворимой фракции осадка, слив жидкой фракции осадка и работа затвора).

Осадок влажностью, например 98 %, вводят в реагентную камеру 1 через патрубок 2.

Далее из емкости 4 по патрубку 6 в реагентную камеру 1 подают кислотный реагент, например 25%-й водный раствор серной кислоты, при массовом соотношении *осадок : кислотный реагент* как 1:1, в результате чего начинается процесс растворения осадка и его преобразование в жидкую и газообразную форму, последняя удаляется из реагентной камеры 1 через газоочищающее устройство 13.

Затем из емкости 5 по патрубку 7 в реагентную камеру 1 подают щелочной реагент, например 5%-й водный раствор гидроксида натрия, до тех пор, пока pH суспензии, измеряемый датчиком 12, не станет равным 5,5–6,5 и ее температура, измеряемая датчиком 11, не достигнет 30 °С.

В процессе нейтрализации кислоты щелочью выделяется большое количество тепла, в результате за счет повышения температуры водяной смеси происходит надежное обеззараживание и растворение 95 % осадка.

Реагентную камеру 1 охлаждают посредством теплоносителя, который циркулирует в зазоре между двойными коаксиальными стенками корпуса 9, а количество химических реагентов и растворенного осадка контролируют с помощью датчика уровня 10. Разделяют жидкую и нерастворимую фракции осадка. Жидкую фракцию в виде осветленной воды через патрубок 8 отвода можно повторно направить в очистные сооружения – это позволяет исключить затраты на водоотделение и обеззараживание, на нейтрализацию тяжелых металлов, транспортирование или энергозатраты в случаях использования отходов очистных сооружений в качестве удобрения или при сжигании отхода, а также дает возможность сократить объемы отходов от очистных сооружений. Нерастворимая фракция осадка после слива жидкой фракции по сигналу датчика уровня 10 систематизированно выводится из реагентной камеры 1 путем ее опорожнения с помощью насосного агрегата 15. При аварийных ситуациях выгрузку осадка и опорожнение реагентной камеры 1 осуществляют через затвор 16 днища реагентной камеры 1.

Установка производительностью 10 м³/час диаметром 1 м и высотой 3 м, в которую осадок, получаемый при эксплуатации очистных сооружений, вводят по напорному трубопроводу Ду 65, причем при обработке 1 м³ осадка опорожнение реакгентной камеры осуществляется на 0,5 м.

Провели тест в периодическом режиме для осадка, состав которого приведен в табл. 1.

Таблица 1. Исходный состав осадка от очистных сооружений /
Table 1. The initial composition of sludge from sewage treatment plants

№	Наименование показателя / The name of the indicator	Единица измерения / Unit	Значение / Meaning
1	Агрегатное состояние / Aggregate state	–	твердый / solid
2	Массовая доля влаги / Mass fraction of moisture	%	67
3	Массовая доля сухого вещества / Mass fraction of dry matter		33
4	Массовая доля золы (минеральные вещества) / Mass fraction of ash (minerals)	% сух. на в-во / % на факт. вл. / % dry. per substance / % per fact. humidity	52 / 17,6
5	Органические вещества / Organic substances		48 / 15,84
6	Массовая доля общего азота / Mass fraction of total nitrogen		3,2 / 1,06
7	Массовая доля общего фосфора / Mass fraction of total phosphorus		9,4 / 3,1
8	Кремний в пересчете на оксид / Silicon in terms of oxide	мг/кг сух. на в-во / мг/кг на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / mg/kg per fact. humidity	118336 / 83600
9	Титан в пересчете на оксид / Titanium in terms of oxide		2603 / 1718
10	Сера в пересчете на сульфат-ион / Sulfur in terms of sulfate ion	мг/кг сух. на в-во / мг/кг на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / mg/kg per fact. humidity	184 / 182
11	Мышьяк / Arsenic		0,25 / 0,000008
12	Удельная активность техногенных радионуклидов / Specific activity of technogenic radionuclides	отн. Единицы / rel. units	<1
13	Эффективная удельная активность природных радионуклидов / Effective specific activity of natural radionuclides	Бк/кг / Bq/kg	17,8+ / –12,3
14	ХПК водной вытяжки / COD of water extraction	мг/дм ³ / mg/dm ³	2930
15	БПК ₅ водной вытяжки / BOD ₅ water extraction	мг О ₂ /дм ³ / mg O ₂ /dm ³	1760

В мерный стакан объемом 100 мл вносили осадок весом 100 г (рис. 2).

Постепенно в мерный стакан вливали 100 г 25%-го водного раствора серной кислоты, после перемешивания в полученную суспензию вливали 5 мл 5%-го водного раствора гидроксида натрия, в течение 1 мин рН суспензии стал равным 6, а ее температура достигла 30 °С, далее разделили жидкую и нерастворимую фракции (рис. 2).

Из 100 г осадка осталось 2 мл нерастворимой фракции (рис. 3). Сравнительный анализ состава осадка до и после его переработки приведен в табл. 2.

На основе данных табл. 2 можно сделать вывод, что заявляемая установка обеспечивает надежное обеззараживание и высокую степень растворения осадка.

Проведено исследование по влиянию растворенного осадка на активный ил в течение одного месяца (рис. 4).



Рис. 2. Осадок от канализационных очистных сооружений

Источник: составлено авторами /

Figure 2. Sediment from sewage treatment

Source: compiled by the authors.

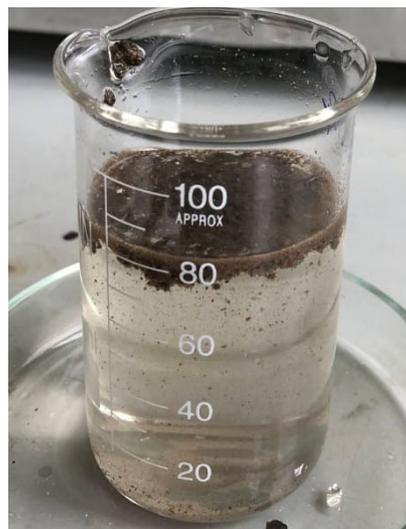


Рис. 3. Преобразование осадка в водный раствор

Источник: составлено авторами /

Figure 3. Transformation of sediment into an aqueous solution

Source: compiled by the authors.

Таблица 2. Сравнительный анализ состава осадка до и после его переработки / Table 2. Comparative analysis of sediment composition before and after its processing

№	Наименование показателя / The name of the indicator	Единица измерения / Unit	Значение / Meaning	
			до переработки / before	после переработки / after
1	Водородный показатель солевой вытяжки (рН) / Hydrogen index of salt extraction	ед.рН / рН	5,6	5,4
2	Алюминий в пересчете на оксид / Aluminum in terms of oxide		23559 / 15317	<0,5
3	Железо в пересчете на оксид / Iron in terms of oxide	мг/кг сух. на в-во / мг/кг на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / mg/kg per fact. humidity	44669 / 21079	<0,1
4	Марганец в пересчете на оксид / Manganese in terms of oxide		1849 / 788	<0,05
5	Кальций в пересчете на оксид / Calcium in terms of oxide		12977 / 5991	0,23
6	Магний в пересчете на оксид / Magnesium in terms of oxide		2851 / 1560	0,07
7	Натрий в пересчете на оксид / Sodium in terms of oxide	мг/кг сух. на в-во / мг/кг на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / mg/kg per fact. humidity	5387 / 2396	1,9
8	Калий в пересчете на оксид / Potassium in terms of oxide		12009 / 4775	0,23
9	Ртуть / Mercury		0,68 / 0,00002	<0,1
10	Хром / Chrome		4,4 / 0,0001	1,1
11	Свинец / Plumbum	мг/кг сух. на в-во / % на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / % per fact. humidity	14,4 / 0,0005	<0,1
12	Кадмий / Cadmium		0,98 / 0,00003	0,015
13	Никель / Nickel		6,2 / 0,0002	<0,1
14	Медь / Cuprum		67,8 / 0,0022	0,189
15	Цинк / Zinc		217 / 0,0072	0,194

Окончание табл. 2

№	Наименование показателя / The name of the indicator	Единица измерения / Unit	Значение / Meaning	
			до переработки / before	после переработки / after
16	Бактерии группы кишечной палочки, индекс / E. coli group bacteria, index	клеток/г/ cells/g	<1	<1
17	Патогенные микроорганизмы / Pathogenic microorganisms		Не обнаружены / not detected	Не обнаружены / not detected
18	Жизнеспособные яйца гельминтов и цисты простейших / Viable helminth eggs and protozoan cysts	экз. /100 г / copies / 100 g	Не обнаружены / not detected	Не обнаружены / not detected
19	Наличие жизнеспособных личинок и куколок синантропных мух / The presence of viable larvae and pupae of synanthropic flies	экз. с площади 20*20 см / copies from an area of 20*20 cm	Не обнаружены / not detected	Не обнаружены / not detected



Рис. 4. Исследование активного ила методом сканирующего электронного микрокопирования (Коловратка) / **Figure 4.** Investigation of activated sludge by scanning electron microscopy (Rotifer)

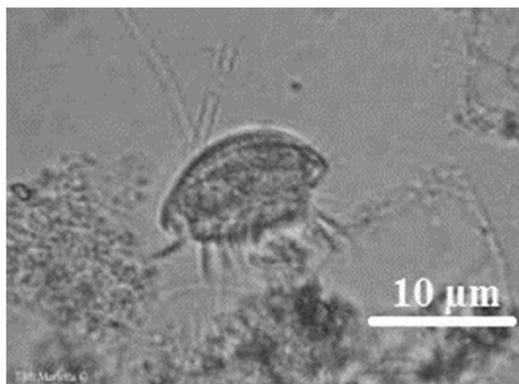


Рис. 5. Исследование активного ила методом сканирующего электронного микрокопирования (Аспидиска) / **Figure 5.** Investigation of activated sludge by scanning electron microscopy (Aspidiska)

По результатам исследований выявлено, что в течение месяца количественный состав гидробионтов не менялся, в составе активного ила присутствовали коловратки (рис. 4), аспидиски (рис. 5), колониальные вортицеллы, небольшое количество раковинных амёб. Эти цифры подтверждают низкое воздействие переработанных отходов на биоценоз активного ила.

В заключение необходимо отметить, что по результатам анализа установлено, что ситуация с осадками сточных вод начнет изменяться в первые месяцы работы таких установок.

Выводы

1. В технологию канализационных очистных сооружений с биологической очисткой целесообразно включать преобразователи, обеспечивающие снижение количества осадков от очистных сооружений до технологически возможного минимума.

2. Теоретически и экспериментально подтверждена высокая эффективность технологии преобразования осадков в жидкую среду при использовании преобразователя, преимущества которого заключаются в техническом

решении, которое состоит в разработке эффективной и простой технологии переработки осадка, получаемого при эксплуатации очистных сооружений, что позволяет рекомендовать преобразователь для широкого применения как при разработке и строительстве новых очистных сооружений, так и при реконструкции существующих.

3. Экспериментально определено, что преобразованные осадки в водный раствор при поступлении на очистные сооружения не создают нагрузку на активный ил, тем самым гарантируя непрерывную работоспособность очистных сооружений.

Список литературы

- [1] Дьяков М.С., Вайсман Я.И., Глушанкова И.С. Экологически безопасный способ утилизации твердых отходов биохимических очистных сооружений с получением продуктов, обладающих товарными свойствами // *Экология и промышленность России*. 2013. № 11. С. 53–57.
- [2] Степанов М.А. Создание объектов утилизации отходов очистных сооружений // *Твердые бытовые отходы*. 2022. № 5(191). С. 48–51.
- [3] Ибадуллаева Э.С. Утилизация осадка сточных вод на очистных сооружениях г. Севастополя // *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность*. 2018. С. 481–484.
- [4] Гоголева Н.А., Гусева М.В., Юрчук Ю.С. Анализ методов утилизации отходов очистных сооружений // *Безопасность городской среды: материалы VII Международной научно-практической конференции*. Омский государственный технический университет, 2020. С. 31–35.
- [5] Смирнов Ю.Д., Сучкова М.В. Опыт использования отходов очистных сооружений коммунального хозяйства // *Инновационные технологии и вопросы обеспечения безопасности реальной экономики*. 2019. С. 251–261.
- [6] Кожевников В.П., Зонов В.Д., Кожевникова А.В. Обзор технологий переработки отходов сельского хозяйства и очистных сооружений // *Дневник науки*. 2018. № 5 (17). 6 с.
- [7] Благоразумова А.М. *Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод*. СПб.: Лань, 2014. 208 с.
- [8] Волосникова Г.А., Чернобровкина О.Е. Поиск путей оптимизации технологического процесса обработки осадков очистных сооружений канализации МУП г. Хабаровска «Водоканал» // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 5. С. 187–194.
- [9] *Małgorzata Kacprzak*. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development // *Environmental Research*. 2017. Vol. 156. P. 39–46.
- [10] *Fytali D., Zabaniotou A*. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008. Vol. 12. Issue 1. P. 116–140.
- [11] *Samolada M., Zabaniotou A*. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece // *Waste Manag.* Vol. 34. Issue 2. 2014. P. 411–420.
- [12] *Векшин А.А., Рассохина Е.В.* Сжигание осадка как безотходный способ утилизации осадка сточных вод // *Приволжский научный журнал*. 2023. № 2 (66). С. 100–107.
- [13] *Chao L., Liangshan H., Ming X*. Revealing the microbial mechanism of FeO and MnO₂ mediated microbial fuel cell-anaerobic digestion coupling system and its energy flow distribution // *Jingliang Liu Chemosphere*. 2022. Vol. 308. P. 136597.
- [14] *Балашов А.М., Федоровская Л.А.* Обезвреживание осадка сточных вод и осадка водоподготовки – существенное снижение экологической нагрузки на биогеоценозы // *Ростовский научный журнал*. 2017. № 8. С. 92–98.

- [15] Степанова Л.П., Коренькова Е.А., Степанова Е.И. Биоэкологические свойства почвогрунтов на основе отходов производства как фактор мониторинга и управления продукционным процессом растений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30, № 2. С. 143–152. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-143-152>
- [16] Янин Е.П. Осадки сточных вод городов России как источник эмиссии ртути в окружающую среду // Экологические системы и приборы. 2009. № 7. С. 14–15.
- [17] LeiYu F., Jingyang L., Yinguang C. Dilemma of Sewage Sludge Treatment and Disposal in China // Environ. Sci. Technol. 2015. 49 (8). P. 4781–4782.
- [18] Егорова Н.А., Шошин А.В. Биологические отходы рыбоводства и перспективы их переработки с помощью дождевого червя *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 292–299. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-292-299>
- [19] Шкаредо В.А., Самбурский Г.А., Максимова А.С. Особенности обращения с осадком сточных вод как с побочным продуктом // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: сборник материалов I Международной научной конференции. Макеевка: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 2023. С. 139–142.
- [20] Шахова И.М. Способы обращения с осадками сточных вод канализационных очистных сооружений // Научные проблемы водного транспорта. 2023. № 74. С. 229–233. <http://doi.org/10.37890/jwt.vi74.342>
- [21] Демин Д.В., Севостьянов С.М., Татаркин И.В. Способ переработки осадка сточных вод, Патент РФ № 2457909, Бюл. № 4, дата публикации 10.02.2012.
- [22] Иванов Н.А., Иванов А.Н. Способ круглогодичного обезвоживания осадка городских сточных вод на очистных сооружениях, Патент РФ № 2393122, Булл. № 18, дата публикации 27.06.2010.
- [23] Яценко В.Н., Бабкин В.Ф., Евсеев Е.П., Захаров П.Д. Способ утилизации отработанного активного ила очистных сооружений, патент РФ № 2680509, дата публикации 21.02.2019.
- [24] Tempest B.Q., Pando M.A. Characterization and demonstration of Re-use applications of sewage sludge ash, International Journal of GEOMATE. Vol. 4. Issue 8. 2013. P. 552–559.
- [25] Vongchan P., Chompunth Ch., Phoochinda W. Green business model of biomass very small power producers in Thailand // International Journal of GEOMATE. Vol. 19, Issue 72. 2020. P. 102–108.
- [26] Курочкина В.А., Волкова В.Н. Обращение с твердыми коммунальными отходами как формирование экологического риска в Приморском крае // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 3. <http://doi.org/10.15862/04NZVN323>
- [27] Shibata K., Yoshida H., Inoue T. Study on ad-sorption performance of food wastes for various heavy metals // International Journal of GEOMATE. Vol. 16, Issue 55. 2019. P. 46–52.
- [28] Apriani M., Masduqi A., Hadi W. Investigation on calcium and magnesium in traditional salt plots: promoting utilization waste by-product // International Journal of GEOMATE. Vol. 15. Issue 49. 2018. P. 130–136.
- [29] Волкова В.Н., Пикула К.С., Головин В.Л. Биотестирование сточных вод г. Владивостока на морской микроводоросли *Heterosigma Akashiwo* // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 8. С. 54–58. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-54-58>

References

- [1] Dyakov MS, Vaisman YaI, Glushankova IS. An environmentally safe method of disposal of solid waste from biochemical treatment facilities with the production of products with marketable properties. *Ecology and industry of Russia*. 2013;11:53–57. (In Russ.)
- [2] Stepanov MA. Creation of waste disposal facilities of treatment facilities. *Solid household waste*. 2022;5(191):48–51. (In Russ.)
- [3] Ibadullayeva ES. Utilization of sewage sludge at the treatment facilities of Sevastopol. *Environmental, industrial and energy security*. 2018;481–484. (In Russ.)
- [4] Gogoleva NA, Guseva MV, Yurchuk YuS. Analysis of waste disposal methods of treatment facilities. *Urban environment safety: materials of the VII International Scientific and Practical Conference, Omsk State Technical University*. 2020. p. 31–35. (In Russ.)
- [5] Smirnov YuD, Suchkova MV. Experience of using waste from municipal wastewater treatment plants. *Innovative technologies and issues of ensuring the security of the real economy*. 2019. p. 251–261. (In Russ.)
- [6] Kozhevnikov VP, Zonov VD, Kozhevnikova AV. Review of technologies for processing agricultural waste and treatment facilities. *Diary of Science*. 2018;5(17):6. (In Russ.)
- [7] Razdorazumova AM. *Treatment and dewatering of urban sewage sludge*. St. Petersburg: Publishing house “Lan”; 2014. 208 p. (In Russ.)
- [8] Volosnikova GA, Chernobrovkina OE. Search for ways to optimize the technological process of precipitation treatment of sewage treatment plants of the Municipal Unitary Enterprise of Khabarovsk “Vodokanal”. *Innovations and investments*. 2022;(5):187–194. (In Russ.)
- [9] Małgorzata Kacprzak Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental Research*. 2017;156:39–46. (In Russ.)
- [10] Fytilli D, Zabaniotou A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008;12(1):116–140.
- [11] Samolada M, Zabaniotou A. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Manag*. 2014;34(2):411–420.
- [12] Vekshin AA, Rassokhina EV. Burning of sludge as a waste-free method of disposal of sewage sludge. *Volga Scientific Journal*. 2023;2(66):100–107. (In Russ.)
- [13] Chao L, Liangshan H, Ming X. Revealing the microbial mechanism of FeO and MnO₂ mediated microbial fuel cell-anaerobic digestion coupling system and its energy flow distribution. *Jingliang Liu Chemosphere*. 2022;(308):136597.
- [14] Balashov AM, Fedorovskaya LA. Neutralization of sewage sludge and water treatment sludge – a significant reduction in the environmental load on biogeocenoses. *Rostov Scientific Journal*. 2017;(8):92–98. (In Russ.)
- [15] Stepanova LP, Korenkova EA, Stepanova EI. Bioecological properties of soils based on production waste as a factor of monitoring and management of the production process of plants. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):143–152. (In Russ.)
- [16] Yanin EP. Sewage sludge of Russian cities as a source of mercury emission into the environment. *Ecological systems and devices*. 2009;(7):14–15. (In Russ.)
- [17] Leiyu F, Jingyang L, Yinguang C. Dilemma of Drainage Sludge Treatment and Disposal in China. *Environ. Sci. Technol*. 2015;49(8):4781–4782.
- [18] Egorova NA., Shoshin AV. Biological waste from fish farming and prospects for their processing with the help of the earthworm *Eisenia foetida* (Savigny, 1826). *Ecological systems and devices*. 2022;30(3):292–299. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-292-299> (In Russ.)
- [19] Shkaredo VA., Sambursky GA., Maksimova AS. Features of treatment of sewage sludge as a by-product. *Problems of technosphere and environmental safety in industry, construction and urban economy: collection of materials of the I International Scientific*

- Conference, Makeyevka: Donbass National Academy of Construction and Architecture.* 2023. p. 139–142. (In Russ.)
- [20] Shakhova IM. Methods of handling sewage sludge from sewage treatment plants. *Scientific problems of water transport.* 2023;74:229–233. <http://doi.org/10.37890/jwt.vi74.342> (In Russ.)
- [21] Demin DV, Sevostyanov SM, Tatarkin IV. Method of processing sewage sludge, *RF Patent* 2457909, Bul. 4, publication date 10.02.2012. (In Russ.)
- [22] Ivanov NA, Ivanov AN. Method of year-round dewatering of urban sewage sludge at sewage treatment plants, *RF Patent* 2393122, Bul. 18, date of publication 27.06.2010. (In Russ.)
- [23] Yatsenko VN, Babkin VF, Evseev EP, Zakharov PD. Method of disposal of spent activated sludge of treatment facilities, *RF patent* 2680509, date of publication 21.02.2019. (In Russ.)
- [24] Tempest BQ, Pando MA. Characterization and demonstration of Re-use applications of sewage sludge ash. *International Journal of GEOMATE.* 2013;4(8):552–559.
- [25] Vongchan PCh, Phoochinda W. Green business model of biomass very small power producers in Thailand. *International Journal of GEOMATE.* 2020;19(72):102–108.
- [26] Kurochkina VA, Volkova VN. Solid municipal waste management as an environmental risk formation in Primorsky Krai. *Bulletin of Eurasian Science.* 2023;15(3). <http://doi.org/10.15862/04NZVN323> (In Russ.)
- [27] Shibata K, Yoshida H, Inoue T. Study on ad-sorption performance of food wastes for various heavy metals. *International Journal of GEOMATE.* 2019;16(55):46–52.
- [28] Apriani M, Masduqi A, Hadi W. Investigation on calcium and magnesium in traditional salt plots: promoting utilization waste by-product. *International Journal of GEOMATE.* 2018;15(49):130–136.
- [29] Volkova VN, Pikula KS, Golovin VL. Biotesting of Vladivostok wastewater on marine microalgae *Heterosigma Akashiwo*. *Ecology and industry of Russia.* 2022;26(8):54–58. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-54-58> (In Russ.)

Сведения об авторах:

Волкова Владислава Николаевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (школа), Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс 10. ORCID: 0000-0001-9078-9858, eLIBRARY SPIN-код: 4987-5211. E-mail: vladavibi@bk.ru

Шевцов Михаил Николаевич, доктор технических наук, доцент, профессор, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 690922, г. Хабаровск, Тихоокеанская улица, 136. E-mail: 000458@pnu.edu.ru

Bio notes:

Vladislava N. Volkova, PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute (School), 10 village Ajax, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9078-9858, eLIBRARY SPIN-code: 4987-5211. E-mail: vladavibi@bk.ru

Michael N. Shevtsov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Pacific State University, 136 Pacific Street, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. E-mail: 000458@pnu.edu.ru