

УДК 504.054

А. А. Тихонова, И. В. Владимцева, Н. В. Харланов, М. В. Соколов

Волгоградский государственный технический университет

**УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЩЕНИЕМ С ИЛОВЫМИ ОСАДКАМИ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА:
ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Описаны наиболее распространенные методы переработки иловых осадков, преимущества и недостатки каждой из рассмотренных технологий. Предлагаются инженерные и технологические решения на основе использования метода кавитации низкой интенсивности, которые позволяют уменьшить негативное воздействие твердых отходов на окружающую среду. Особое внимание уделено проблемам экологической безопасности способов управления иловыми осадками и возможностям использования новых альтернативных методов.

Ключевые слова: экологическая безопасность, негативное воздействие на окружающую среду, сооружения биологической очистки сточных вод, управление отходами, кавитация низкой интенсивности.

Введение

По распоряжению Правительства РФ в январе 2018 г. утверждена «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления до 2030 года». В этом документе устанавливаются основные направления развития указанной отрасли¹. Для внедрения передовых технологий и новейшего оборудования необходимо создание промышленной инфраструктуры как основополагающего фундамента развития элементов системы организации и управления. Данный механизм позволит достичь наиболее рационального с экологической, экономической и технической точек зрения использования вторичных ресурсов в хозяйственном обороте. Следует отметить, что весьма важной составляющей данного процесса являются различные программы технического обновления и совершенствования устаревшей материальной базы на предприятиях, осуществляющих деятельность в сфере коммунальных услуг, строительных работ и др., которые могут являться как источниками, так и рециклерами различных видов опасных отходов, взаимодействующих между собой [1—3].

Широко известным производителем опасных отходов являются очистные сооружения городских хозяйственно-бытовых сточных вод, которые находятся как в малых, так и крупных населенных пунктах. Для достижения наибольшей результативности распоряжения этими отходами весьма значимыми направлениями являются рационализация и технологическое обновление систем и объектов, связанных с очисткой сточных вод и образованием опасных отходов [4—6].

¹ Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 25.01.2018 N 84-п. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556353696?ysclid=lxbev0dzoa645039904>.

Процесс очистки бытовых и промышленных сточных вод связан с формированием грандиозных объемов отходов. Согласно данным статистики, образуется более 6 млн т отходов ежегодно. Следует отметить, что переработка образующихся отходов может решить большую часть проблем, связанных с их утилизацией и размещением, т. к. происходит трансформация отходов во вторичный ресурс, востребованный в разнообразных сферах экономики [3, 6].

Наиболее распространенные группы отходов, возникающие при очистке хозяйственно-фекальных сточных вод на предприятиях городского хозяйства, являющиеся источником вторичных ресурсов для различных целей использования в отраслях экономики приведены в таблице².

Приведенные данные говорят о разнообразии видов иловых и иных осадков биологических и механических сооружений водоочистки, которые, являясь отходами, создают экологическую проблему. Обезвреживание и переработка новых и накопленных отходов требует создания технологий и способов достаточно эффективных, чтобы получить безопасное и ценное вторичное сырье.

Из открытых источников известно, что в России при очистке хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод образуется порядка 5,633 млн т в год отходов, из них утилизировано 2,19 млн т (направления утилизации не уточняются), 0,977 млн т обезврежено (технологии и способы не указаны, статистика по форме 2-ТП (отходы) [2].

Следует отметить, что по имеющимся статистическим данным анализ ситуации использования отходов водоочистки после утилизации и обезвреживания весьма проблематичен. Нет массива данных по вовлечению в хозяйственный оборот, по экономическому эффекту от использования обезвреженных и утилизированных отходов. В перечень наиболее известных и широко применяемых на сегодняшний день технологий обработки осадков сточных вод входят [7—9]:

- фильтрация — использование вибровакуум-фильтров и фильтр-прессов;
- сушка — применение физических воздействий (вакуума, центробежных сил, высоких температур);
- уплотнение (флотационное, гравитационное);
- размещение на иловых и песковых картах;
- стабилизация (анаэробная, аэробная).

Следует отметить, что наиболее распространенные методы переработки осадков, такие как метановое сбраживание, складирование на иловых картах, являются низкопродуктивными и экологически рискованными, требуют для осуществления процесса огромных земельных площадей, расположенных обычно на территории или в окрестностях населенных пунктов, где земля особенно ценна. Так же для обезвреживания отходов в метантенках требуется длительное время, высокие строительные и эксплуатационные затраты [10, 11].

² Банк данных об отходах, объектах их переработки и размещения.
URL: <https://db.wastebase.ru/wastebase.aspx>.

*Наиболее распространенные группы и виды отходов,
 возникающие при очистке сточных вод на предприятиях городского хозяйства*

Код по ФККО	Наименование отходов
7 22 200 01 39 4	Ил избыточный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод
7 22 200 02 39 5	Ил стабилизированный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод
7 22 201 11 39 4	Ил избыточный биологических очистных сооружений в смеси с осадком механической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод
7 22 221 11 39 4	Осадок биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, обезвоженный методом естественной сушки, малоопасный
7 22 221 12 39 5	Осадок биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод обезвоженный
7 22 231 11 33 5	Осадок биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод обезвоженный с применением флокулянтов, практически неопасный
7 22 399 11 39 4	Отходы (осадки) после механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод
7 22 431 12 39 5	Смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод аэробно стабилизированная, обезвоженная, практически неопасная
7 22 431 22 40 5	Смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, выдержанная на площадках стабилизации
7 22 441 11 49 5	Смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, подвергнутая термосушке
7 22 442 13 39 4	Смесь осадков флотационной и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, обезвоженная с применением фильтр-пресса
7 22 125 11 39 4	Осадки при механической очистке хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, обезвоженные малоопасные
7 22 125 21 39 4	Осадки механической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод анаэробно сброженные и обеззараженные хлорной известью, малоопасные
7 22 151 11 33 4	Смесь осадков при физико-химической очистке хозяйственно-бытовых сточных вод
7 22 155 11 39 4	Осадок электрохемосорбционной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод
7 22 161 11 33 4	Осадок обработки хозяйственно-бытовых сточных вод известковым молоком, содержащий тяжелые металлы менее 5 %

Широко известны и распространены ряд технологий высокотемпературной деструкции с целью обезвреживания отходов, полученных от очистных сооружений: пиролиз, газификация, плазменное горение, термическое обезвреживание (сжигание). Однако эти методы требуют дорогостоящего технологического оборудования, значительных затрат на проектные работы, решения вопроса утилизации золы, получаемой в виде побочного продукта, которая зачастую является токсичной и составляет до четверти сжигаемых отходов [12—14].

Активно применяемым и широко известным способом обращения с иловыми осадками городских очистных сооружений служит механическое обезвоживание ленточными фильтр-прессами, шнековыми аппаратами, иными устройствами с высокой степенью механического обезвоживания осадка, после которого требуется размещение на специальные площадки для хранения. В результате загрязняются природные среды: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы, растительность. Из хозяйственного оборота выходят значительные площади, что также имеет негативный экономический результат [14—16].

ГОСТ Р 54534—2011 «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод» устанавливает требования к осадкам сточных вод и определяет методы их обработки и утилизации³. В соответствии с этим стандартом, основными макрокомпонентами осадков сточных вод являются металлы, которые могут присутствовать в осадках сточных вод в виде солей или комплексных соединений оксидов железа, алюминия, кальция. Калий, азот, фосфор и кремний могут присутствовать в осадках в виде азотистых и фосфористых соединений. Присутствуют также микро- и макроэлементы, которые являются основными компонентами природных ископаемых: песка, глины и минеральных пород; различные органические вещества. Эти компоненты осадков сточных вод важны для определения их характеристик и разработки методов обработки и утилизации в соответствии с требованиями стандарта. Использование обработанных иловых осадков обладает значительным потенциалом, что позволяет предлагать их дальнейшее использование в качестве компонентов удобрений [15].

Материалы и методы

При осуществлении научного исследования авторы прибегли к использованию разнообразных методологических подходов, включая теоретико-методологический анализ литературных источников, эколого-экономический анализ, а также эмпирические методы исследования. Кроме того, проводились описательные и сравнительно-сопоставительные анализы, направленные на изучение процессов, происходящих в технологических установках, выявление закономерностей и взаимосвязей для более глубокого понимания данных процессов.

Результаты исследования

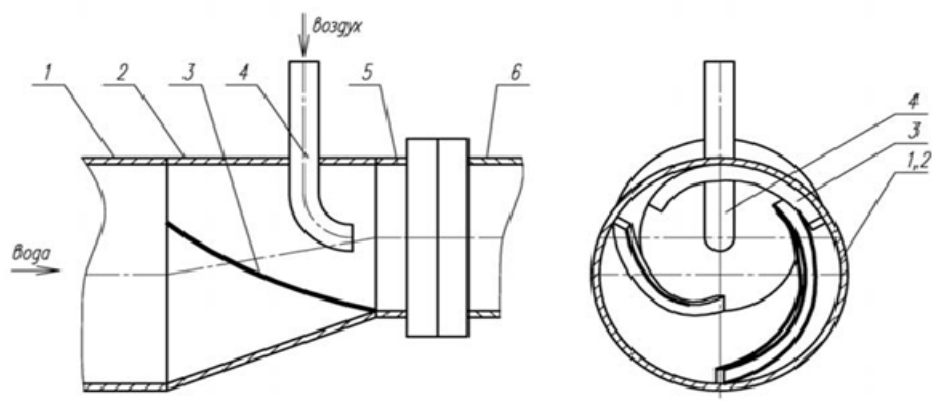
Весьма перспективным методом решения ряда задач, связанных с утилизацией иловых осадков станций биологической очистки, может стать использование метода кавитации низкой интенсивности.

Кавитация — физический процесс, при инициации которого образуются и схлопываются кавитационные каверны, в результате чего происходит разрушение живых и неживых объектов. Значительное снижение уровня кавитации открывает перспективы использования данного процесса в качестве эффективного средства для избирательного подавления патогенной микрофлоры, а также в качестве средства профилактики деструкции твердых материалов, в т. ч. лопастей гидравлических машин [16]. В процессе воздействия кавитации низкой интенсивности процесс перемещения среды характеризуется комбиниро-

³ ГОСТ Р 54534—2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092647?ysclid=lxbf0f0btm833725817>.

ванным поступательным и вращательным движением с высокой скоростью, обусловленным использованием направляющих потоков в виде спиралей Архимеда. Эти потоки обеспечивают необходимое направление движения среды, а также создают дискретный пленочный режим для эффективного разделения жидкостей. В результате этого процесса находящиеся в центрах кавитации крупные включения, например, яйца и личинки гельминтов, подвергаются мгновенному разрушению [17, 18].

Главным устройством для осуществления предлагаемого метода служит кавитационный пастеризатор, генерирующий кавитацию низкой интенсивности. Данное устройство проводит внутри своей операционной зоны интенсивные физико-химические процессы, способствуя ускорению окислительных, восстановительных и замещающих реакций в десятки раз по сравнению со стандартными комплексами и оборудованием водоочистки. На рисунке приведено устройство для обработки илового осадка с применением генерирования кавитации низкой интенсивности.



Устройство для обработки илового осадка: 1 — подающий патрубок; 2 — эксцентрический участок; 3 — спираль Архимеда; 4 — трубка Пито; 5 — разгонный патрубок; 6 — насос

В ходе обработки осадков достигается разрыв клеточных мембран микроскопических паразитов, окисление поллютантов, осуществляется минерализация загрязняющих веществ с образованием малотоксичных и нетоксичных соединений, что позволяет использовать обработанные иловые осадки в рекультивации и даже в сельском хозяйстве.

Применение данной технологии в реакторах в вертикальном исполнении, например, в колонных биореакторах, значительно снижает площади земельных участков под сооружения биоочистки, существенно уменьшает строительные расходы на их возведение. Установка обработки иловых осадков данного типа подходит для производительности $100 \text{ м}^3/\text{сут}$, является энергосберегающей ($0,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ на 1 м^3 стоков), требует для своего размещения $35 \dots 55 \text{ м}^2$, т. е. на порядок меньшую площадь, чем классический комплекс сооружений [17].

Предлагаемая технология позволит осуществить обеззараживание и очистку сточных вод с соответствием требованиям ГН 2.1.5.1315—03 «Предель-

но допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», ГОСТ Р 17.4.3.07—2001, СанПиН 2.1.5.980—00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»⁴. При этом происходит эффективное уничтожение патогенной микрофлоры и обеззараживание активного ила (подтверждено сертификатом соответствия № 0053274 от 12.05.2015, выданным на основании протокола испытаний Испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Московской области» № 1743 от 03.03.2015 г.).

Полученный в результате кавитационной обработки осадок имеет класс опасности 5 и является экологически безопасным продуктом, пригодным для восстановления сельскохозяйственных истощенных земель [19].

Наиболее важными свойствами предлагаемой технологии, характеризующими ее достоинства и преимущества, являются экологическая безопасность, экономическая эффективность и малая ресурсоемкость. Предотвращение экологического вреда вследствие полного сокращения опасных отходов водоочистки (иловых осадков) — экологичная и ресурсосберегающая технология на объектах городского хозяйства.

Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что обеспечение экологической безопасности окружающей среды является важным условием развития общества, поэтому необходимо максимально снижать негативное воздействие от различных видов хозяйственно-экономической деятельности человека, включая объекты городского хозяйства, такие как очистные сооружения биологической очистки сточных вод.

Особое внимание экологов заслуживает проблема утилизации иловых осадков, содержащих патогенные бактерии, яйца и личинки гельминтов, а также опасные химические загрязнители, в частности, тяжелые металлы [20]. Предложенные в данной работе инженерные и технологические решения на основе использования метода кавитации низкой интенсивности в технологии обезвреживания иловых осадков позволяют уменьшить негативное воздействие твердых отходов сооружений биологической очистки сточных вод на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цховребов Э. С. Стратегическое прогнозирование: развитие промышленности по переработке отходов // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 7. С. 64—73.
2. Цховребов Э. С. Эколого-экономические аспекты планирования размещения и проектирования промышленных объектов по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 11(122). С. 1326—1340.

⁴ Н 2.1.5.1315—03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. URL: <https://www.law.ru/npd/doc/docid/901862249/modid/99>.

ГОСТ Р 17.4.3.07—2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017708?ysclid=lxbgclrl5o613762937>.

СанПиН 2.1.5.980—00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006938?ysclid=lxbgdfddts919884063>.

3. Жуков В. В. Формирование отходоперерабатывающей индустрии как отдельной отрасли в экономике России — неотложная необходимость // Экологический вестник России. 2011. № 4. С. 22—23.
4. Алексеев Е. В. О защите водных ресурсов на урбанизируемых территориях. Роль автономных очистных сооружений // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 3. С. 54—59.
5. Пустырев Е. И. Системный анализ сооружений очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 3. С. 18—23.
6. Salman M. Y., Hasar H. Review on environmental aspects in smart city concept: Water, waste, air pollution and transportation smart applications using // IoT techniques. Sustainable Cities and Society. 2023. Vol. 94. Iss. 4. Pp. 104567.
7. Губанов Л. Н., Бояркин Д. В. Особенности обезвреживания осадков сточных вод малых населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. С. 508—511.
8. Курмангалиева А. Р., Набиев Р. А. Модернизация технологии переработки осадка на канализационных очистных сооружениях г. Астрахани // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 113—122.
9. De Haan J., Lundstrom S., Sturm J.-E. Market-Oriented Institutions and Policies and Economic Growth: A Critical Survey // Journal of Economic Surveys. 2006. Vol. 20. Iss. 2. Pp. 157—191.
10. Vallero D. A., Brasier C. Sustainable Design: The Science of Sustainability and Green Engineering. John Wiley & Sons, Inc, 2008. 333 p.
11. Waste management and recycling in Finland / K. Berninger, L. Heikkilä, Z. Kolev, M. Orjala, T. Teräsväininen // Conference Presentation. 2010. 173 p.
12. Murray R. Zero waste // Greenpeace Environmental Trust. 2002. 211 p.
13. Elgizawy S. M., El-Haggag S. M., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. Pp. 1306—1313.
14. Техничко-экономические вопросы создания экотехнопарков в сфере деятельности по обработке и утилизации отходов очистки сточных вод / Э. С. Цховребов, А. С. Шевченко, В. В. Жуков, Е. Г. Величко, С. В. Переведенцев, С. И. Шканов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 8. С. 1057—1073.
15. Zaman A. U. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines // Journal of Cleaner Production. 2015. Vol. 91. Pp. 12—25.
16. Пирсол И. Кавитация. М.: Мир, 1975. 95 с.
17. Тихонова А. А., Чернова Ю. А., Владимцева И. В. Применение кавитации низкой интенсивности для подавления патогенной микрофлоры в башенных сооружениях биологической очистки // Естественные и технические науки. 2016. № 5. С. 19—22.
18. Тихонова А. А., Владимцева И. В. Использование осадков сточных вод для рекультивации земель после их обработки ферментно-кавитационным методом // Комплексные проблемы техногенной безопасности: матер. междунар. науч.-практ. конф. Ч. II. 2015. С. 235—240.
19. Тихонова А. А., Владимцева И. В. Ресурсосберегающая технология биологической очистки сточных вод с переработкой илового осадка ферментно-кавитационным методом // Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы междунар. науч.-практ. конф. 2017. Ч. II. С. 162 — 165.
20. Nezdoyminov V., Mogukalo A., Zagoruiko T. Possibility of using exctssive active sludge as organomineralfertilizer // Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. 2021. Vol. 3. Iss. 149. Pp. 56—60.

© Тихонова А. А., Владимцева И. В., Харланов Н. В., Соколов М. В., 2024

Поступила в редакцию
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Тихонова А. А., Владимцева И. В., Харланов Н. В., Соколов М. В. Управление обращением с иловыми осадками для обеспечения экологической безопасности городского хозяйства: основные проблемы и пути решения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 165—172. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_165.

Об авторах:

Тихонова Асия Андреевна — ассистент каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; asiatikhonova@gmail.com

Владимцева Ирина Владимировна — д-р биол. наук, проф., проф. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

Харланов Никита Владимирович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

Соколов Максим Викторович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

Asia A. Tikhonova, Irina V. Vladimtseva, Nikita V. Kharlanov, Maksim V. Sokolov

Volgograd State Technical University

MANAGEMENT OF SLUDGE MANAGEMENT TO ENSURE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE URBAN ECONOMY: THE MAIN PROBLEMS AND SOLUTIONS

The most common methods of sludge processing, advantages and disadvantages of each of the considered technologies are described. Engineering and technological solutions based on the use of the low-intensity cavitation method are proposed, which make it possible to reduce the negative impact of solid waste on the environment. Special attention is paid to the problems of environmental safety of sludge management methods and the possibilities of using new alternative methods.

Key words: environmental safety, negative impact on the environment, biological wastewater treatment facilities, waste management, low-intensity cavitation.

For citation:

Tikhonova A. A., Vladimtseva I. V., Kharlanov N. V., Sokolov M. V. [Management of sludge management to ensure the environmental safety of the urban economy: the main problems and solutions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 165—172. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_165.

About authors:

Asia A. Tikhonova — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; asiatikhonova@gmail.com

Irina V. Vladimtseva — Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Nikita V. Kharlanov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Maksim V. Sokolov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation