

## Способы обработки осадков бытовых и производственных сточных вод

© В. Г. Цыбиков, Н. Д. Пельменёва

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**Аннотация.** В статье рассмотрены условия применения, достоинства и недостатки основных способов обработки осадков, образующихся на станциях очистки бытовых и производственных сточных вод. Чаще всего для обработки осадков применяются следующие способы: уплотнение, стабилизация, обезвоживание, термическая обработка и утилизация. Предпочтительным является способ, при котором достигается лучшая стабилизация и обезвоживание осадка, что облегчает его утилизацию. Выбор того или иного метода воздействия на образующийся в процессе очистки осадок зависит от многих факторов, в том числе – состава сточных вод и требуемой степени обработки осадка. Так, в сточной воде могут содержаться твердые примеси, а также примеси в виде коллоидов, молекул и ионов, образующих в процессе очистки твердую фазу. В настоящее время осадки являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Поиск эффективных методов их обработки и утилизации направлен на обеспечение экологической безопасности и охрану окружающей среды.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, виды осадков, обработка осадков, основные стадии обработки осадков

## Methods for treating sludge from wastewater treatment plants

© Vanchen G. Tsybikov, Natalia D. Pelmeneva

*Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** The article discusses the main methods of treating sludge generated at domestic and industrial wastewater treatment plants, the conditions for their use, advantages and disadvantages. The most commonly used sludge treatment methods are compaction, stabilization, dewatering, heat treatment and disposal. The preferred method is one that achieves better stabilization and dewatering of the sludge, making it easier to dispose of. The choice of one or another method of influencing the sludge formed during the purification process depends on many factors, including the composition of wastewater, the required degree of sludge treatment. In addition, the choice of sludge treatment method depends on the content of solid impurities in the wastewater, as well as impurities that are in the water in the form of colloids, molecules and ions that form a solid phase during the purification process. Currently, precipitation is one of the main sources of environmental pollution. The search for effective methods of their processing and disposal is aimed at ensuring environmental safety and environmental protection.

**Keywords:** sewage sludge, types of sludge, sludge treatment, main stages of sludge treatment

Сточные воды, возникающие при производственной и бытовой деятельности человека, после очистки отводятся в поверхностные водоемы. При очистке сточных вод на очистных конструкциях возникают разного рода осадки, которые имеют минеральные и органические составляющие. Осадки бывают первичные и вторичные.

Первичные осадки – это находящиеся в твердой фазе грубодисперсные примеси, которые выделяются из воды такими механическими методами очистки, как фильтрация, процеживание, осаждение и т. д.

Вторичные – это примеси коллоидов, молекул, которые изначально пребывают в

водной массе, но образуют твердую фазу во время биологической, физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков [1].

На сегодняшний день существует множество способов переработки, позволяющие устранить осадки или использовать их в хозяйственной деятельности. Предпочтение отдается способу, лучше всего стабилизирующему и обезвоживающему осадок, что облегчает его ликвидацию.

Сгущение происходит за счет устранения свободной влаги и является обязательным этапом всех схем обработки осадков. В среднем устраняется 60 % влаги, что позво-

ляет уменьшить вес осадка в два с половиной раза. Хуже (сложнее) подвергается уплотнению активный ил, влажность которого составляет 99,1–99,4 %.

Применяются следующие способы уплотнения:

- Гравитационный метод предполагает осаждение частиц дисперсной фазы в отстойниках. Для ускорения процесса применяют совместное сгущение разных видов осадков (коагулирование). К недостаткам этого способа относят значительную плотность взвешенных веществ в отделяемой воде и достаточно высокий показатель влагосодержания сгущенных осадков.

- Флотационный метод обеспечивает всплытие частиц осадков на поверхность за счет соединения их с пузырьками воздуха. Для реализации необходимы флотаторы или электрофлотаторы. Преимуществом способа считается уменьшение времени флотации и высокий показатель уплотнения.

- Центробежный способ позволяет отделять осадок за счет воздействия центробежных сил. Для работы используются гидроциклоны и центрифуги.

Также существует метод уплотнения избыточного активного ила посредством добавления минерального реагента и дальнейшего отстаивания. Для увеличения плотности ила и предоставления возможности его ликвидации, как минерального реагента, применяют калиево-кальциевый цеолит [2].

Стабилизация осадка производится для разложения органического вещества на двуокись углерода, метан ( $\text{CH}_4$ ) и оксид водорода. Стабилизация осуществляется под воздействием микроорганизмов и может происходить как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Стабилизация бывает временной или необратимой, что зависит от способа и уровня обработки осадков. При минерализации органического вещества разложение последнего происходит при частичном распаде разлагающейся его части. Если стабилизация производится без минерализации органического вещества, то процесс является обратимым при вторичном увлажнении и образовании условий для функционирования кислотных микроорганизмов.

Вторичное возникновение микроорганизмов происходит из-за долгого хранения предварительно нагретых или обработанных химическими средствами осадков.

По причине изменения физико-химических свойств осадков стабилизация имеет такие достоинства как [3]:

- повышение водоотдающей возможности осадков;
- значительное уменьшение объема;
- получение таких второстепенных продуктов как метан;

- обезвреживание (частичное или полное), сбраживание, термическая обработка.

Одним из самых перспективных методов переработки органических отходов из осадков сточных вод считается анаэробное сбраживание. Этот способ лучше всего подходит для переработки отходов сточных вод объектов пищевой промышленности, так как наиболее эффективно уничтожает патогенные бактерии, обеспечивая защиту окружающей среды.

Процесс сбраживания состоит из двух стадий. На первой происходит распад сложных органических полимеров (белки, жиры и т. д.) до более простых соединений (спиртов, водорода и т. д.) под воздействием различных анаэробных бактерий. На второй стадии метанобразующие бактерии превращают органические кислоты в метан ( $\text{CH}_4$ ), диоксид углерода и оксид водорода.

В ходе анаэробной обработки осадков появляется биогаз. Остаток, образующийся при переработке отходов анаэробным способом, включает довольно много питательных веществ, а потому может использоваться для удобрений.

Процесс окисления органических субстратов в аэробных условиях называется аэробной стабилизацией осадков СВ. В отличие от анаэробного сбраживания этот процесс проходит в одну ступень. Аэробную стабилизацию проходит избыточный активный ил или же соединение этого ила с осадком первичных отстойников.

Для того чтобы ускорить процесс и повысить водоотдающие качества стабилизированного осадка какое-то количество избыточного активного ила до перемешивания обра-

батывают ультразвуком<sup>1</sup>. К достоинствам аэробной стабилизации осадков сточных вод следует отнести добычу биологически стабильных продуктов, высокий уровень влагоотдачи, легкость эксплуатации, доступные цены строительных сооружений. Недостатком являются значительные энергетические затраты на аэрацию. Осадки, полученные аэробной стабилизацией, зачастую требуют обеззараживания.

К современному средству обработки сточных вод можно отнести использование деятельности бактерий рода *Bacillus*, имеющих эндогенный вид дыхания и большую дегидрогеназную активность. В аэробных условиях органическое вещество осадков для этих бактерий является питательным субстратом. Процесс проводится в то время, пока есть питательный субстрат, усваивающийся питательной средой<sup>2</sup>. При потере субстрата процесс происходит за счет внутриклеточного вещества бактерий, то есть собственно запаса ресурсов питания. Данный этап эндогенного дыхания считается финальным в функционировании микроорганизмов и отмечается значительным уменьшением количества живых бактериальных клеток из-за действия ферментов дегидрогеназы, производимых живыми клетками. Интенсивность и скорость процесса биологического окисления зависит от активности дегидрогеназы. При этом наивысшая активность дегидрогеназы приходится на максимальное количество живых клеток.

В ходе экспериментов выявлены достоинства селекционных бактерий, не формирующих осадка в процессе очистки сточных вод, содержащих нефть. Селекционные микроорганизмы-автотрофы развиваются и демонстрируют максимум активности при больших количествах биомассы. Для более тщательной очистки от биомассы в системе NAST применяются наполнители, в состав

которых входят: галька, песок, щебень и специально приготовленные модули из полихлорвинила различных габаритов и форм. Чтобы обеспечить высокое качество очистки воды, сделать ее безвредной для гидробионтов и минимизировать отходы, при обработке сточных вод содержащих нефть, на фильтры наносят селекционные бактерии.

Проще всего процесс обезвоживания проходит с осадками минерального происхождения, значительно сложнее – с органическими осадками и избыточным активным илом. Обезвоживание происходит с помощью иловых площадок и механическим способом.

Иловыми площадками являются территории, окруженные земляными валами или стенами из бетона. Эти площадки разделяются на два вида: с естественным обезвоживанием и сушкой, и с ускоренным обезвоживанием и сушкой.

На площадках первой категории происходят природные процессы испарения и декантации. При хорошей фильтрации почвы и нахождении грунтовых вод на большой глубине иловые площадки устраивают на естественных грунтах. Площадки второго типа создаются со специальным основанием, дренажом и подогревом. Выбор вида иловых площадок зависит от наличия свободных участков, особенностей климата, присутствия дополнительных энергетических ресурсов. Для увеличения продуктивности иловых площадок осадок изначально подвергают аэробной стабилизации аммиачной селитрой. Иловая вода с площадок снова отправляется на сооружения очистки [4, 5].

Для обезвоживания механическим способом применяют вакуум-фильтры, виброфильтры, фильтр-прессы и центрифуги. Добавление коагулянтов может существенно улучшить производительность данных установок. Результатом коагуляции является соединение в хлопья тонкодисперсных и коллоидных частиц. Результативность процесса зависит в первую очередь от дозы коагулянта, метода его внесения и способа перемешивания. Фильтровальная ткань и слой осадка, образующийся на ней, выполняют функцию фильтрующей части, которая задерживает мелкие частицы суспензии. Увеличение толщины слоя повышает качество фильтра-

<sup>1</sup>[Электронный ресурс]. URL: <https://alternativa-sar.ru/tehnologu/organizatsiya-i-tehnologii-pishchevykh-proizvodstv/zueva-zartsyna-ekozashchitnye-tehnologii/2647-glava-3-sposoby-utilizatsii-osadkov-stochnykh-vod> (13.04.2022).

<sup>2</sup> [Электронный ресурс]. URL: <https://chistigorod.ru/pere-rabotka-i-utilizatsiya/izvlechenie-osadkami-eto.html> (13.04.2022).

ции, но снижает фильтрационную скорость.

В числе фильтрующего оборудования наиболее популярны барабанные вакуум-фильтры со сходящим фильтрующим полотном или без сходящего фильтрующего полотна.

Вакуум-фильтр со сходящим полотном представляет собой горизонтально установленный цилиндрический полый барабан, часть которого погружена в емкость с фильтруемой суспензией. Барабан, который внутри разделен на части, вращается на валу, где один конец связан с электрическим приводом, а у другого находится распределительная головка. Под воздействием вакуума фильтрат проходит через фильтровальную ткань секции барабана и выводится наружу.

К минусам обезвоживания на вакуум-фильтрах относят высокий показатель влажности осадка и существенные затраты на реагенты (известь, хлорид железа).

Известной установкой для обезвоживания осадков является фильтр-пресс. Более популярны в применении рамные и камерные фильтр-прессы, а также ленточные фильтр-прессы. С помощью фильтр-пресса получают осадок с наименьшей влажностью, но продуктивность их меньше, чем у вакуум-фильтров при одинаковых условиях кондиционирования.

Главным достоинством виброфильтров является способность обезвоживать некоторые категории осадков без кондиционирования. Раскачивание фильтрующей перегородки ускоряет процесс устранения жидкости из суспензии. Недостатками виброфильтров являются относительно высокая влажность обезвоженных осадков и существенные потери твердой фазы с фильтратом. На данный момент виброфильтры используют в химической, пищевой и обогатительной промышленности. Опыт использования виброфильтров для обработки осадков сточных вод незначителен [6].

**Центрифугирование** – высокопродуктивный способ сгущения осадков сточных вод и избыточного активного ила. Метод прост, экономичен, а конечный уплотненный продукт имеет невысокий уровень влажности. Негативным моментом является значительный унос твердой фазы с осветленной жидкостью, в результате чего требуется допол-

нительная стадия очистки фугата (сепарирование).

Результативными для обезвоживания осадков и избыточного ила являются горизонтальные центрифуги непрерывного действия и осадительные центрифуги с возможностью шнековой выгрузки осадка. Преимуществом является высокая продуктивность при небольшом удельном расходе энергии, недостатком – невысокий показатель уплотнения осадка, быстрый износ шнека и ротора.

Для увеличения производительности центрифуг применяют различные реагенты химического происхождения, в том числе синтетические флокулянты. Обработка флокулянтами катионного типа способствует повышению результативности задержания сухого вещества до 99 % [7, 8].

Для предварительно обезвоженного и уплотненного осадка применяются **способы термической обработки**, наиболее эффективным из которых считается термическая сушка. С ее помощью снижается масса осадков сточных вод и происходит ее обеззараживание. Для термической сушки используют барабанные распылительные сушилки, а также сушилки с кипящим слоем. В роли сушильного агента применяют топочные газы, перегретый пар или горячий воздух.

**Барабанные сушилки** вращаются со скоростью 1,5–8 оборотов в минуту, в самом барабане монтируются насадки, позволяющие равномерно распределить осадок. Высушенный продукт убирают транспортером, а выработанные газы после очистки в циклоне или скруббере выводятся в атмосферу. Влажность осадков после сушки уменьшается в два с половиной раза. Главные недостатки таких сушилок – громоздкость, большая металлоемкость и значительные капитальные и эксплуатационные затраты.

При сушке осадков с высоким показателем влажности используют распылительные сушилки. Сначала подсушенный осадок доставляют в верхний отдел сушилки, куда из топки попадают нагретые до 350° С газы. Далее проводится высокоскоростная сушка осадка, пока влажность не достигает значений от 8 до 10 процентов.

**Утилизация.** Жидкие отходы принадлежат к четвертому классу опасности и могут

применяться в качестве удобрений. Исключить попадание в окружающую среду вредных веществ возможно с помощью такого метода обработки органических компонентов, как пиролиз. Метод заключается в разложении веществ под воздействием высоких температур на горючий газ (55 %), полукок (35 %), органические элементы жидкой консистенции (15 %) [9, 10].

Сжигание осадков производят, когда их уничтожение в первоначальном виде невозможно или экономически нецелесообразно. Во время сжигания объем осадков снижается в 80–100 раз. Процесс проходит в несколько этапов. До сжигания осадки подвергаются обезвоживанию или термической сушке, затем происходит отгонка летучих веществ, сжигание органической части и прокалива-

ние. Сжигание осадка должно проводиться в устройствах, обеспечивающих полное выгорание органической составляющей осадка и утилизацию тепла выработанных газов.

### Выводы

Очистка сточных вод, обработка и утилизация осадка – это технологии, направленные на решение исключительно важной в настоящее время задачи охраны водных ресурсов от истощения и загрязнения. Одним из главных направлений деятельности по охране водных ресурсов является внедрение современных технологических процессов производства, перевод на замкнутые циклы водоснабжения, в которых очищенные сточные воды не выбрасываются, а неоднократно применяются в технологических процессах.

### Список источников

1. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод М.: Изд-во АСВ, 2008.
2. Воронов Ю. В. Водоотведение. М.: Изд-во АСВ, 2014.
3. Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод. М.: Стройиздат, 2017. 224 с.
4. Яковлев С. В. Канализация. М.: Стройиздат, 1975.
5. Пааль Л. Л. Справочник по очистке природных и сточных вод. М.: Высшая школа, 1994.
6. Луканин А. В. Инженерная экология: процессы и аппараты очистки сточных вод и переработки осадков. М.: ИНФРА-М, 2018. 959 с.
7. Благоразумова А. М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод. Санкт-Петербург: Лань, 2014. 208 с.
8. Хисамеева Л. Р., Селюгин А. С., Абитов Р. Н., Бусарев А. В., Урмитова Н. С. Обработка осадков городских сточных вод. Казань: Изд-во Казанского государственного архитектур.-строит. ун-та, 2016. 105 с.
9. Безбородова О. Е. Комплексная утилизация сточных вод предприятий. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. 124 с.
10. Евилович А. З. Утилизация осадков сточных вод. М.: Стройиздат, 1989.

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Ванчен Гонгорович Цыбиков,**  
студент группы ВВМ-20-1,  
Институт архитектуры, строительства и дизайна,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
van\_2020\_v@mail.ru

**Наталья Дмитриевна Пельменёва,**  
доцент,  
декан факультета среднего  
профессионального образования,  
Институт архитектуры, строительства и дизайна,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
pel@istu.edu

**Vanchen G. Tsybikov,**  
Student,  
Architecture, Construction and Design Institute,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
van\_2020\_v@mail.ru

**Natalia D. Pelmeneva,**  
Associate Professor,  
Dean of the Secondary Vocational Education Faculty,  
Architecture, Construction and Design Institute,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
pel@istu.edu