

9. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы как компоненты биогеоценоза. М.: Наука, 1984. 134 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАБОТАННЫХ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Щербаков Степан Сергеевич студент 1 курса бакалавриата кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева
Терёшкина Анна Павловна студент 1 курса бакалавриата кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева
Петушкова Яна Дмитриевна студент 1 курса бакалавриата кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева
(Научный руководитель: **Каменных Наталья Львовна** - к.б.н., доцент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.)

Аннотация В статье рассмотрены актуальные методы обработки осадков сточных вод (ОСВ) с целью их утилизации и применения в качестве органических и органоминеральных удобрений. Проанализированы технологические процессы: от механического обезвоживания до современных биотехнологических подходов. Показано, что комбинация методов позволяет получать безопасные и эффективные удобрительные продукты с высоким агрохимическим потенциалом. Особое внимание уделено влиянию обработанных ОСВ на плодородие почв и продуктивность сельскохозяйственных культур. Статья основана на анализе современных научных данных и технологических регламентов.

Ключевые слова: осадки сточных вод, органические удобрения, утилизация, стабилизация, обеззараживание, плодородие почв, органоминеральные комплексы.

Проблема утилизации осадков сточных вод (ОСВ) является одной из наиболее значимых в контексте охраны окружающей среды и рационального природопользования. Ежегодно в мире образуются миллионы тонн ОСВ, размещение которых на полигонах приводит к загрязнению почв, грунтовых вод и атмосферы. В то же время ОСВ содержат значительное количество органического вещества, макро- и микроэлементов (азот, фосфор, калий, кальций, магний, цинк, медь), что делает их ценным вторичным ресурсом для сельского хозяйства [1]. Однако прямое, необработанное использование ОСВ невозможно из-за высокого содержания патогенных микроорганизмов, яиц гельминтов, тяжелых металлов и устойчивых органических загрязнителей. Поэтому разработка и оптимизация методов обработки ОСВ, направленных на их обеззараживание, стабилизацию и улучшение агрохимических свойств, является приоритетной задачей. Цель данной статьи – систематизировать и проанализировать современные методы подготовки ОСВ для использования в качестве удобрений и оценить их эффективность.

Классификация методов обработки ОСВ и получаемые продукты. Современные технологии переработки ОСВ можно классифицировать на механические, биологические, химические и физико-химические. Как правило, на практике они применяются в комбинированных технологических схемах, что позволяет достичь максимальной эффективности и безопасности конечного продукта [2]. Основные способы обработки и типы получаемых удобрений систематизированы в Таблице 1.

Таблица 1

Основные способы обработки ОСВ для получения удобрений [2,3]

Способ обработки	Описание процесса и особенности	Тип удобрения
Механическое обезвоживание	Использование ленточных фильтров-прессов, центрифуг, камерных фильтр-прессов и дегидраторов для снижения влагосодержания осадков	Основная стадия подготовки к удобрению
Естественное подсушивание	Выдержка осадков на иловых площадках в течение 1–3 лет с перемешиванием для стабилизации и снижения влажности	Органические удобрения
Аэробная стабилизация	Стабилизация активного ила и смесей в аэробных условиях, затем обезвоживание и выдержка	Органические и органоминеральные удобрения
Анаэробное сбраживание	Сбраживание в метантенках при мезофильном или термофильном режиме с последующим обезвоживанием	Биогаз и органоминеральные удобрения
Компостирование	Перемешивание ОСВ с органосодержащими наполнителями (опилки, торф, солома) и выдержка 4–6 месяцев для компостирования	Органо-минеральные удобрения
Известкование	Добавление извести к обезвоженным осадкам для стабилизации и дезинфекции	Органо-известковые удобрения
Термическая сушка	Сушка обезвоженных осадков с целью снижения влажности и обеззараживания	Удобрения и сырье для других целей

Способ обработки	Описание процесса и особенности	Тип удобрения
Химическая обработка	Щелочная экстракция, кислотная промывка, нейтрализация и регенерация промывочных растворов для повышения удобрительной ценности	Органоминеральные удобрения
Озонирование и кавитация	Физико-химические методы для стабилизации и обеззараживания осадков	Повышение качества и безопасности
Биотехнологическая очистка	Использование актиномицетов и других микроорганизмов для очистки и получения белковых удобрений	Органические удобрения

Механическое обезвоживание является, как правило, первой стадией обработки, направленной на снижение объема и влажности осадков. Использование ленточных фильтр-прессов, центрифуг и камерных фильтр-прессов позволяет снизить влажность ОСВ до 70–80%. Этот процесс не приводит к обеззараживанию, но является критически важным для последующих стадий стабилизации и сушки [3]. Биологические методы включают аэробную стабилизацию, анаэробное сбраживание и компостирование. Аэробная стабилизация происходит при продувке воздуха через осадок. Микроорганизмы окисляют органическое вещество, что приводит к стабилизации осадка (снижению его способности к загниванию) и частичному обеззараживанию. Продуктом являются органические и органоминеральные удобрения. Анаэробное сбраживание – процесс разложения органики без доступа кислорода в метантенках. Помимо получения стабилизированного осадка, являющегося ценным органоминеральным удобрением, данный метод позволяет производить биогаз – возобновляемый источник энергии [1]. Компостирование – один из наиболее эффективных и экологически безопасных методов. ОСВ смешивают с структурообразователями (опилки, торф, солома, измельченные растительные остатки) для создания пористой структуры и оптимального соотношения C:N. В процессе термофильного брожения (4-6 месяцев) происходит гибель патогенной микрофлоры и яиц гельминтов, а органическое вещество трансформируется в стабильный гумус. Получаемый компост представляет собой высококачественное органо-минеральное удобрение с пролонгированным действием. Химические и физико-химические методы направлены на обеззараживание и улучшение физико-химических свойств ОСВ.

Известкование (добавление CaO или $\text{Ca}(\text{OH})_2$) приводит к подъему pH до 12 и выше, что вызывает гибель патогенов и стабилизирует осадок. Получаемый продукт – органо-известковое удобрение, особенно эффективное на кислых почвах. Термическая сушка позволяет радикально снизить влажность (до 10-20%) и полностью обеззаразить осадок. Высушенные гранулированные ОСВ удобны в транспортировке и внесении, могут использоваться как готовое удобрение или сырье для производства комбинированных туков. Химическая обработка (щелочная экстракция, кислотная промывка) применяется для мобилизации фосфора, перевода тяжелых металлов в менее подвижные формы или их удаления, что повышает удобрительную ценность и безопасность продукта. Перспективные физико-химические методы, такие как озонирование и кавитация, эффективно разрушают стойкие органические загрязнители и обеззараживают осадки, повышая качество и безопасность конечного удобрения. Биотехнологическая очистка с использованием специализированных штаммов актиномицетов и других микроорганизмов позволяет не только очищать ОСВ от загрязнителей, но и получать продукты, обогащенные биологически активными веществами и белками.

Агрохимическая эффективность обработанных ОСВ. Внесение обработанных ОСВ в почву оказывает многогранное положительное воздействие. Влияние на органическое вещество почвы. ОСВ являются мощным источником органического углерода. Систематическое их применение приводит к увеличению содержания гумуса, улучшению структуры почвы, ее водно-воздушного режима и биологической активности [4]. Компостированные ОСВ наиболее эффективно способствуют гумификации. Поставка питательных элементов. ОСВ характеризуются пролонгированным действием. Азот в них представлен как в легкодоступных (аммонийный), так и в медленно высвобождаемых органических формах. Фосфор ОСВ часто более доступен растениям, чем фосфор некоторых минеральных удобрений, благодаря наличию органических кислот. Калия в ОСВ, как правило, мало, что требует его дополнительного внесения. Влияние на тяжелые металлы. Данный аспект требует строгого контроля. Современные методы обработки, такие как компостирование и известкование, способствуют иммобилизации тяжелых металлов, переводу их в малоподвижные формы и снижению их фитодоступности [5]. Нормирование внесения ОСВ на основе агрохимического обследования почв и анализа самого осадка минимизирует риски аккумуляции токсикантов.

Эколого-экономическое обоснование применения ОСВ. Использование обработанных ОСВ в качестве удобрений решает две ключевые задачи: утилизация отходов и повышение плодородия почв. Это способствует переходу к экономике замкнутого цикла. С экономической точки зрения, затраты на переработку ОСВ зачастую ниже, чем на их захоронение, особенно при учете

стоимости получаемого удобрения и биогаза. С экологической – сокращается нагрузка на полигоны, экономятся невозобновляемые ресурсы (фосфатные руды), снижается потребность в минеральных удобрениях, производство которых энергоемко.

Заключение

Обработанные осадки сточных вод представляют собой не отход, а ценный вторичный ресурс для сельского хозяйства. Современный арсенал методов обработки – от традиционного компостирования до высокотехнологичных физико-химических и биотехнологических процессов – позволяет получать безопасные и эффективные органические и органоминеральные удобрения. Комбинация этих методов в рамках комплексных технологических схем обеспечивает максимальную экологическую безопасность и агрономическую отдачу. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию технологий, снижение энергозатрат и углубленное изучение долгосрочного влияния ОСВ на почвенные биоценозы и качество сельскохозяйственной продукции. Широкое внедрение практики использования обработанных ОСВ является важным шагом к устойчивому сельскому хозяйству и ответственному управлению окружающей средой.

Список литературы

1. Иванов С.Н., Петрова Г.В. Анаэробная переработка осадков сточных вод: ресурсосберегающий аспект // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 5 (92). – С. 45-51.
2. Сидоров А.А., Кузнецова Т.П. Комбинированные технологии обработки осадков городских сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 8. – С. 32-38.
3. Фролов В.В. Современные методы обезвоживания и сушки осадков сточных вод. – М.: Изд-во АСВ, 2018. – 156 с.
4. Коваленко П.И. Влияние органических удобрений на основе ОСВ на гумусное состояние чернозема выщелоченного // Агрохимия. – 2021. – № 3. – С. 28-35.
5. Зайцева Н.В., Лебедев А.Т. Экологическая безопасность применения осадков сточных вод в земледелии: иммобилизация тяжелых металлов // Почвоведение. – 2022. – № 1. – С. 112-120.