

УДК 628.31

Выбор технологии обработки осадка городских сточных вод

О. Г. Капинос, Н. В. Твардовская

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Капинос О. Г., Твардовская Н. В. Выбор технологии обработки осадка городских сточных вод // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 1. С. 163–171. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-163-171

Аннотация

Цель: выявить основные направления технологии обработки осадка городских сточных вод, позволяющие получать товарный продукт и экономическую выгоду. Представить методы обработки осадка, которые наряду с получением товарного продукта обеспечивают охрану окружающей среды от загрязняющих веществ. Обосновать выбор технологических схем обработки осадка в соответствии с существующим законодательством и с учетом влияния образующихся при этом иловых вод на эффективность работы станций очистки городских канализационных стоков. **Методы:** проведены всесторонний анализ и систематизация существующих нормативных документов в области обработки, утилизации и ликвидации осадков, образующихся в процессе очистки городских сточных вод. Выполнены сравнение и анализ воздействия различных технологий обработки осадка на сооружения механической и биологической очистки городской канализационной станции. **Результаты:** рассмотрены современные критерии оценки эффективности технологий обработки и утилизации осадков городских сточных вод. Представлен необходимый минимум стадий обработки осадка, позволяющий предотвращать негативное воздействие на окружающую среду как при обработке, так и при утилизации осадка. Показаны основные современные сооружения и устройства обработки осадка, которые как сразу при внедрении, так и в долгосрочной перспективе способствуют повышению экологической эффективности городской канализационной станции. Выявлены устройства и сооружения, модернизация и/или реконструкция которых позволяет производить в конце технологической цепочки обработки осадка товарный продукт, востребованный на рынке. **Практическая значимость:** результаты демонстрируют преобладающие современные тенденции в подходе к обработке осадка и переход от обязательности простого обезвоживания осадка к возможности и необходимости получения прибыли при его утилизации. Предлагаемые пути повышения эффективности утилизации осадка от городских канализационных станций с применением наилучших доступных технологий позволяют минимизировать негативное влияние на окружающую среду. Представленные технологические схемы обработки осадков, образующихся на городских очистных сооружениях, позволяют достигать как экологической безопасности, соответствующей современным требованиям, так и экономической эффективности.

Ключевые слова: осадок, городские сточные воды, обезвоживание, утилизация, ликвидация, экологическая безопасность, экономическая эффективность

Введение

Ежегодно в процессе очистки сточных вод на городских очистных станциях в России образуется около 7 млн т осадка. На территории канализационной очистной станции в обяза-

тельном порядке должно быть произведено обезвоживание осадка [1].

Однако в течение длительного времени с момента введения в эксплуатацию канализационных станций обезвоживание осадка

производилось на иловых площадках. Несмотря на то что уже более 20 лет существуют устройства механического обезвоживания (фильтр-прессы и центрифуги) [1–3], позволяющие производить этот процесс быстрее, эффективнее, безопаснее в санитарно-гигиеническом и экологическом плане, иловые площадки, заполненные осадком, занимают огромную территорию и являются источником возможного загрязнения атмосферы, почвы и грунтовых вод [4]. На рис. 1 представлено состояние городских канализационных очистных сооружений, вызванное многолетней эксплуатацией иловых площадок [5].

В активном иле, отделяемом от биологически очищенных сточных вод, содержится такая концентрация азота, фосфора и других органических веществ, что по своим агрономическим качествам он сходен с ценными органическими удобрениями. До начала 80-х годов XX века в Российской Федерации существовала практика применения стабилизированных обезвоженных осадков канализационных станций в качестве удобрений для сельского хозяйства.

По мере накопления опыта применения осадков в качестве удобрений появилось понимание, что при сборе городской канализационной сетью как атмосферных сточных вод, так и промышленных стоков концентрация токсичных тяжелых металлов в получаемом осадке превышает предельно допустимые концентрации в случае внесения осадков в качестве удобрения.

Решением в подобной ситуации могло быть:

1. Применение оборотных и замкнутых систем на промышленных предприятиях с последующей очисткой производственного стока на местных очистных сооружениях, перед тем как он будет сброшен в городскую сеть или поверхностные водные источники.

2. Реконструкция самих канализационных сетей с устройством отдельной системы для сбора атмосферных стоков и их очисткой на локальных очистных сооружениях и сбросом в поверхностные водоемы [6].

3. Применение более дорогостоящей физико-химической очистки всего расхода сточных вод, поступающего на городскую станцию, с целью извлечения тяжелых металлов,

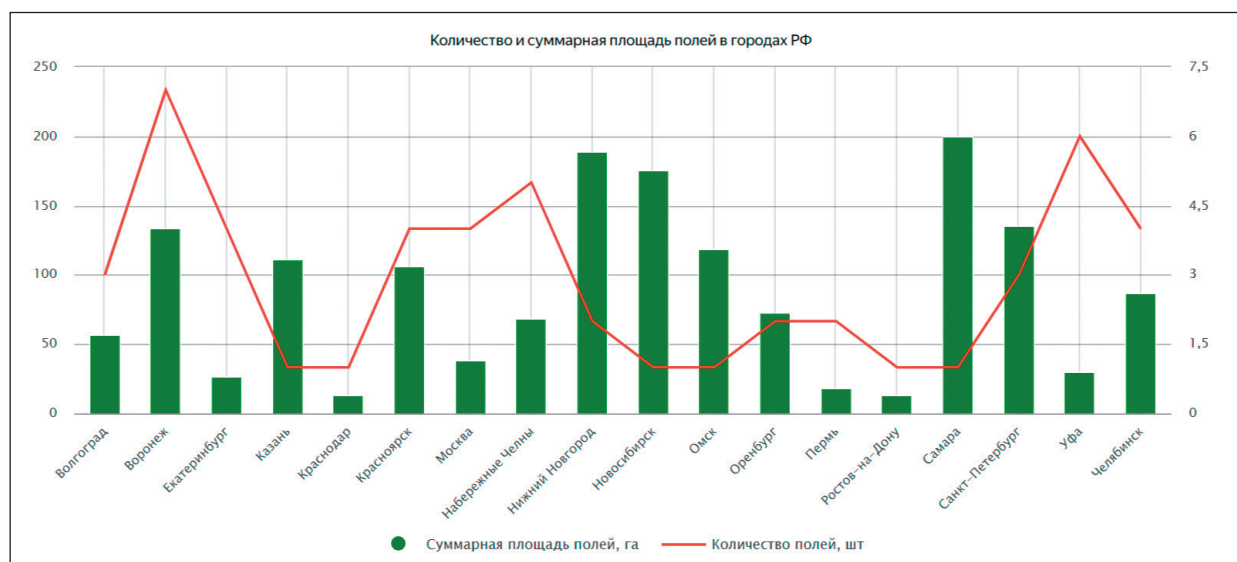


Рис. 1. Количество и суммарная площадь иловых площадок в городах Российской Федерации на 2023 год [5]

количество которых превышает нормы, допустимые при последующем использовании образующихся осадков в качестве удобрения в сельском хозяйстве.

В связи с отсутствием на тот момент доступной и эффективной технологии утилизации осадка более простым и удобным способом казалось полное прекращение использования его как удобрения, что привело к превалированию в течение несколько десятилетий только метода обезвоживания и, как следствие, к полной заполняемости карт иловых площадок в короткие сроки.

Современное законодательство и технологии по обработке осадков городских сточных вод в Российской Федерации

В современных условиях требуется не только превращение жидких быстроагнивающих осадков сточных вод в безопасные, легкотранспортирующиеся обезвоженные массы [1], но и получение товарного продукта.

Общие требования к физическим и химическим параметрам осадков, включая предельно допустимые концентрации токсичных элементов, для последующего использования в качестве органических или органоминеральных удобрений, для рекультивации земель и при размещении на полигонах приведены в ГОСТ Р 59748-2021 «Технические принципы обработки осадков сточных вод» [3]. В этом документе перечислены возможные методы предварительной обработки осадка для использования конечного продукта в различных целях, а также даны основные рекомендации по оптимизации технологий обработки осадка для предотвращения или снижения негативного воздействия на экологическую ситуацию.

Перед использованием любой товарный продукт, произведенный на основе осадков сточных вод, должен быть подвергнут обязательной экологической сертификации. Характеристики

гранулометрического состава, химического состава, влажность должны соответствовать:

- при использовании в качестве органических удобрений [7, 8];
- при использовании в качестве почвогрунтов, рекультивантов, инертного материала для биологической и технической рекультивации нарушенных земель [9, 10];
- при использовании в качестве перестилляющих и изолирующих слоев на полигонах захоронения отходов [11].

Экологическая сертификация почвогрунтов является добровольной процедурой. Однако почвогрунты вырабатываются в процессе компостирования, продуктом которого формально является агрохимикат, и для него сертификация является обязательной.

Перед выдачей свидетельства о государственной регистрации агрохимиката сроком на 10 лет проводятся испытания, которые обычно длятся более 1,5 года. Уполномоченная и аккредитованная организация обязана проверить соответствие продукта по токсиколого-гигиеническим, биологическим и экологическим показателям и пройти экспертизу в Роспотребнадзоре, Росприроднадзоре и Минсельхозе России. Сведения вносятся в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, что дает разрешение на производство, применение, реализацию, транспортировку, хранение, уничтожение, рекламу, ввоз в Российскую Федерацию и вывоз из Российской Федерации агрохимиката.

С 1 января 2025 года регламентировано обязательное использование отходов (вторичного сырья) при производстве почвогрунта, а минимальная доля должна составлять не менее 10%.

Выработка на территории станции в процессе анаэробного сбраживания осадка биогаза, состоящего на 60–67% из метана, 30–33% углекислоты, 1–2% водорода, около 0,5% азота, позволяет вырабатывать электроэнергию,

которая удовлетворяет до 30% суточной потребности станции очистки стоков [12]. Расчет основных и вспомогательных сооружений, планировочные решения описаны в [1], а основные технологические моменты предварительной обработки осадка и требования, предъявляемые к его характеристикам перед подачей в метантенки, — в [3].

Основным отличием анаэробного (метанового) сбраживания от других методов являются не только стабилизация и обеззараживание осадка, но и, главное, возможность получения энергоресурсов, которые позволяют обеспечивать аварийное энергообеспечение основных технологических процессов на канализационной очистной станции в нештатной ситуации. На сегодняшний день ни одна другая технология обработки осадка не позволяет автономно поддерживать работоспособность станции очистки городского стока. Обязательно предусматриваются мероприятия по защите от за-

грязнения грунтовых и поверхностных вод, атмосферного воздуха и почв с соблюдением нормативных значений [4]. Для примера в табл. 1 представлено сравнение возможных вариантов технологий обработки осадка, образующегося на Центральной станции аэрации города Санкт-Петербурга [13]. Здесь приведены наиболее востребованные технологии обработки осадка, описаны необходимые стадии производственного процесса, учтена возможность получения товарного продукта.

Рекомендации об устройствах и современных конструкциях печей для сжигания осадка представлены в [1], а выбор предварительной технологии обработки нужно осуществлять с учетом необходимых стадий подготовки осадка, обеспечивающих эффективное сжигание с минимальным энергопотреблением и предотвращение загрязнения окружающей среды [3].

При подсчете себестоимости обработки осадка при его сжигании учитывалась и стои-

ТАБЛИЦА 1. Сравнение технологий по утилизации осадка сточных вод (применительно к Центральной станции аэрации города Санкт-Петербурга)

Параметры	Сжигание	Анаэробное сбраживание	Компостирование осадков
Стадии производственного процесса	Обезвоживание до влажности 70–85% Сушка до влажности 30–35% Сжигание при температуре 700–1000 °С	Первичное уплотнение со снижением влажности менее 95% Анаэробное сбраживание Вторичное обезвоживание до влажности 70–85% Деаммонизация фугата Сушка	Обезвоживание до влажности 70–85%. Компостирование с принудительной аэрацией и с системами предотвращения выделения или очистки выбросов от запахов
Потребность очистной станции в электроэнергии от внешних источников	93%	70%	100%
Обеспечение резервного электроснабжения	Покрывает на 7% потребности в электроэнергии (главная насосная станция очистных сооружений — ГНС)	Покрывает на 30% потребности в электроэнергии (ГНС и воздухоудовки)	Не обеспечивает
Товарный продукт	Зола	Биогаз	Техногрунт
Себестоимость обработки осадка, приведенная к 1 т сточных вод, тыс. руб. (цены 2019 года)	8,8	10,6	При наличии рынка сбыта себестоимость обработки ниже цены продажи техногрунта

мость системы газоочистки. Многоступенчатая схема очистки дымовых газов включает в себя:

- освобождение от пыли в электрофильтрах, где задерживается 92–99% частиц тяжелых металлов;
- охлаждение с 300 до 80 °С в кислой водной среде с одновременным улавливанием кислотных примесей и возгонов тяжелых металлов;
- улавливание сернистого ангидрида в промывной колонне с щелочным раствором.

В применяемой схеме газоочистки вода используется по замкнутому циклу с минимальным процентом подпиточной воды, а следовательно, и небольшое количество воды после предварительной нейтрализации подается в начальную точку очистных сооружений.

Принятая схема газоочистки соответствует современным российским требованиям к выбросам загрязняющих веществ в окружающую среду.

Кроме того что получаемая при сжигании зола имеет меньший объем и влажность, следовательно, значительно уменьшаются затраты на перевозку и захоронение, она является ценным ресурсом. Наиболее очевидным является применение золы при изготовлении строительных материалов. Однако необходимость получения в таком случае гигиенического сертификата и наличие достаточно дешевой сырьевой базы в России приводят к тому, что пока такой процесс остается нерентабельным. На сегодняшний день в Санкт-Петербурге образующая зола вывозится на полигоны и захоранивается в соответствии с санитарными нормами.

Фосфор, который является ценным биогенным элементом, при сжигании не улетучивается, а концентрируется в золе, и существуют технологии по извлечению и повторному использованию фосфора как в сельском хозяйстве, так и в промышленных процессах. В России на сегодняшний день нет недостатка в легкодоступных

залежах фосфора, поэтому нет и спроса на извлечение фосфора из золы. Но в связи с ускорением деградации ресурсов фосфорита во всем мире необходимо развивать технологии повторного использования фосфора.

Результаты и обсуждения

В настоящее время основным методом обработки осадка на территории станции очистки сточных вод является механическое обезвоживание. На станциях суточной производительностью по обрабатываемой сточной воде более 4 тыс. м³/сут. иловые площадки допускаются только в качестве резервных сооружений, а в случае производительности станции более 10 тыс. м³/сут. необходимо производить ее реконструкцию и переоснащение для эксплуатации даже без резервных иловых площадок [1].

После обезвоживания на большинстве очистных сооружений населенных пунктов России осадок только вывозится и захоранивается на полигонах, что непосредственно приводит к увеличению нагрузки по загрязнению окружающей среды в целом всего поселения [14, 15].

Опыт эксплуатации очистных сооружений города Санкт-Петербурга на протяжении уже нескольких десятилетий показывает преимущества технологии сжигания осадка. Сжигание осадка не позволяет получать значительный энергетический эффект по сравнению с технологией метанового сбраживания или востребованный на рынке техногрунт, как при компостировании осадка (см. табл. 1). Данная технология надежна, устойчива и позволяет значительно минимизировать негативное воздействие на окружающую среду как на самой станции, так и в целом в населенном пункте, в том числе за счет отсутствия выброса в атмосферу вредных веществ и распространения запаха.

На канализационных очистных сооружениях города Москвы исторически сложилась

технология метанового сбраживания осадка, которая позволяет станции быть энергонезависимой для обеспечения основных потребностей процесса очистки сточных вод и обработки осадка, особенно при возникновении нештатных ситуаций. Наряду с этим при эксплуатации самой станции очистки возникают сложности, связанные с необходимостью обработки возвратных потоков воды (фугата), выделяемой при обезвоживании сброженного осадка, иначе поступающий фугат существенно негативно влияет на эффективность биологической очистки от биогенных элементов [16]. Сброженный осадок имеет недостаточную для последующего эффективного сжигания или компостирования зольность, поэтому обычно после необходимого обезвоживания он вывозится на полигоны захоронения.

Одновременно в Подмосковье в 2019 году была запущена современная система переработки отходов с закрытием всех старых мусорных полигонов. На новых полигонах организована ставшая уже традиционной схема: сортировка твердых коммунальных отходов с извлечением вторсырья и активной органики для компостирования; участок компостирования органической фракции (производства технического грунта); вновь построенные карты (то есть полигоны) для размещения «хвостов». Сама технология компостирования включена в реестр наилучших доступных технологий [2] и позволяет получать почвогрунты с различными характеристиками в зависимости от изначального состава отходов и особенностей технологического процесса (длительность обработки, интенсивность обдувки воздухом, температура и другие). Несмотря на то что обычно данные отходы относятся к IV–V классу опасности, в Москве и Подмосковье за последние 5 лет сформировалась потребность в таких техногрунтах для технической и биологической рекультивации.

Заключение

Безопасная, эффективная, надежная технологическая схема обработки осадков является основой работы канализационных очистных сооружений в целом.

Решение проблемы обработки и утилизации осадка городских сточных вод состоит в нахождении оптимальной в существующих конкретных условиях технологии, позволяющей решить следующие задачи:

- не вносить существенных изменений в состав и качество сточных вод за счет поступающей на очистку инфильтрационной воды, выделяемой из обезвоженного осадка;
- сам процесс обработки не должен ухудшать санитарно-гигиенического и экологического состояния площадки канализационной станции;
- процессы очистки сточной воды и обработки осадка очень дорогостоящие, поэтому вместо захоронения обезвоженного осадка необходимо изыскивать возможности и изначально планировать получение в процессе утилизации осадка экономической выгоды в виде фосфора, извлекаемого из золы; удобрений, почвогрунтов, техногрунтов и биогаза в качестве источника получения энергии.

Список источников

1. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554820821> (дата обращения: 27.10.2025).
2. ИТС 10-2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564068889> (дата обращения: 27.10.2025).
3. ГОСТ Р 59748-2021. Технические принципы обработки осадков сточных вод // Электронный

фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181170> (дата обращения: 27.10.2025).

4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?ysclid=lyh385ice0647155951> (дата обращения: 27.10.2025).

5. Геопространственная аналитика // Электронный фонд Госкорпорации «Роскосмос» и АО «Терра Тех» geonovosti.terratech.ru. URL: <https://geonovosti.terratech.ru/social/rekultivatsiya-ilovykh-poley-v-rossii/> (дата обращения: 27.10.2025).

6. Твардовская Н. В., Черников Н. А. Отведение и очистка поверхностного стока с территории транспортных объектов // V Бетанкуровский международный инженерный форум: сборник трудов: в 2 т. СПб., 2023. С. 176–179.

7. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017708> (дата обращения: 27.10.2025).

8. ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092626> (дата обращения: 27.10.2025).

9. ГОСТ Р 54534-2011. Ресурсосбережение. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092647> (дата обращения: 27.10.2025).

10. ГОСТ Р 59057-2020. Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL:

<https://docs.cntd.ru/document/566277874> (дата обращения: 27.10.2025).

11. ГОСТ Р 54535-2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092648> (дата обращения: 27.10.2025).

12. Технология обработки и утилизации осадков природных и сточных вод: учебное пособие / В. Г. Иванов [и др.]. СПб., 2016. 81 с.

13. Рублевская О. Н., Пробриский М. Д. Реконструкция завода сжигания осадков на Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 1. С. 23–29.

14. Капинос О. Г., Твардовская Н. В. Критерии оценки эффективности технологий очистки городских сточных вод в соответствии с современным законодательством // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2024. Т. 21, вып. 4. С. 891–901.

15. Парамонова Л. Н. Пути повышения эффективности очистки сточных вод // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2024. Т. 21, вып. 2. С. 324–331.

16. Соловьева Е. А. Технология очистки сточных вод и обработки осадков при глубоком удалении азота и фосфора из сточных вод // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. Т. 13, вып. 1 (46). С. 93–99.

Дата поступления: 17.11.2025

Решение о публикации: 06.02.2026

Контактная информация:

КАПИНОС Ольга Геннадьевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»; olk1975@mail.ru
ТВАРДОВСКАЯ Надежда Владимировна — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»; tvardovskaya@pgups.ru

Methods for urban wastewater sludge treatment

O. G. Kapinos, N. V. Tvardovskaya

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Kapinos O.G., Tvardovskaya N.V. Methods for urban wastewaters sludge treatment // Proceedings of Petersburg State Transport University. 2026. Vol. 23, iss. 1. Pp. 163–171. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-163-171. (In Russian)*

Abstract

Objective: to identify the main technological approaches for treating urban wastewater sludge that will enable production of marketable products and generation of economic benefits. To present sludge treatment methods that, in addition to producing marketable outputs, will prevent environmental contamination. To justify the selection of technological schemes for sludge treatment in accordance with current legislation, taking into account the impact of liquid effluents released during treatment on the operational efficiency of municipal sewage treatment plants. **Methods:** a comprehensive analysis and systematization of existing regulatory documents concerning the treatment, disposal and elimination of sediments generated during urban wastewater treatment were undertaken. A comparative assessment was conducted of the effects that various sludge treatment technologies exert on the mechanical and biological treatment facilities of municipal sewage plants. **Results:** contemporary criteria for evaluating the effectiveness of technologies for treating and disposing of urban wastewater sludge were considered. A minimal required sequence of sludge treatment stages has been proposed to prevent adverse environmental impacts during both sludge treatment and disposal. The principal modern structures and devices for sediment processing, have been identified, which, both immediately upon implementation and over the long term, will contribute to improving the environmental performance of municipal sewage plants. Devices and structures suitable for modernization and/or reconstruction have been identified. Their upgrade will permit the production of market-demanded products at the final stages of the sludge-processing chain. **Practical significance:** the findings reflect current trends in sludge management, evidencing a shift from the obligatory basic dewatering toward opportunities and imperatives for generating revenue from sludge disposal. The proposed measures to improve sludge disposal efficiency at municipal sewage treatment facilities, based on best available technologies, will minimize adverse environmental impacts. The proposed technological schemes for processing sediments from urban treatment facilities will ensure compliance with contemporary environmental safety requirements while maintaining economic efficiency.

Keywords: sediment, municipal wastewater, dewatering, disposal, elimination, environmental safety, economic efficiency

References

1. SP 32.13330.2018. Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya // Elektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554820821> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)
2. ITS 10-2019. Ochistka stochnykh vod s ispol'zovaniem tsentralizovannykh sistem vodootvedeniya poselenij, gorodskikh okrugov // Elektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564068889> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)
3. GOST R 59748-2021. Tekhnicheskie printsipy obrabotki osadkov stochnykh vod // Elektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181170> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)
4. SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy

obitaniya // Elektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?ysclid=lyh385ice0647155951> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)

5. Geoprostranstvennaya analitika // Elektronnyj fond Goskorporatsii “Roskosmos” i AO “Terra Tekh” geonovosti.terratech.ru. URL: <https://geonovosti.terratech.ru/social/rekultivatsiya-iloovykh-poley-v-rossii/> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)

6. Tvardovskaya N.V., Chernikov N.A. Otvedenie i ochistka poverkhnostnogo stoka s territorii transportnykh ob’ektov // V Betankurovskij mezhdunarodnyj inzhenernyj forum: sbornik trudov: v 2 t. SPb., 2023. S. 176–179. (In Russian)

7. GOST R 17.4.3.07-2001. Okhrana prirody. Pochvy. Trebovaniya k svojstvam osadkov stochnykh vod pri ispol’zovanii ikh v kachestve udobrenij // Elektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017708> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)

8. GOST R 54651-2011. Udobreniya organicheskie na osnove osadkov stochnykh vod // Elektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092626> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)

9. GOST R 54534-2011. Resursoberezhenie. Trebovaniya pri ispol’zovanii dlya rekul’tivatsii narushennykh zemel’ // Elektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092647> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)

10. GOSTR 59057-2020. Okhrana okruzhayushchej sredy. Zemli. Obshchie trebovaniya po rekul’tivatsii narushennykh zemel’ // Elektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566277874> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)

11. GOST R 54535-2011. Resursoberezhenie. Osadki stochnykh vod. Trebovaniya pri razmeshchenii

i ispol’zovanii na poligonakh // Elektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092648> (data obrashcheniya: 27.10.2025). (In Russian)

12. Tekhnologiya obrabotki i utilizatsii osadkov prirodnykh i stochnykh vod: uchebnoe posobie / V.G. Ivanov [i dr.]. SPb., 2016. 81 s. (In Russian)

13. Rublevskaya O.N., Probirskij M.D. Rekonstruktsiya zavoda szhiganiya osadkov na Tsentral’noj stantsii aeratsii Sankt-Peterburga // Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2017. No. 1. S. 23–29. (In Russian)

14. Kapinos, O. G. Tvardovskaya N. V. Kriterii otsenki effektivnosti tekhnologij ochistki gorodskikh stochnykh vod v sootvetstvii s sovremennym zakonodatel’stvom // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2024. T. 21, vyp. 4. S. 891–901. (In Russian)

15. Paramonova L. N. Puti povysheniya effektivnosti ochistki stochnykh vod // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2024. T. 21, vyp. 2. S. 324–331. (In Russian)

16. Solov’eva E.A. Tekhnologiya ochistki stochnykh vod i obrabotki osadkov pri glubokom udalenii azota i fosfora iz stochnykh vod // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2016. T. 13, vyp. 1 (46). S. 93–99. (In Russian)

Received: 17.11.2025

Accepted: 06.02.2026

Author’s information:

Olga G. KAPINOS — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of “Water supply, sewerage and hydraulics”; olk1975@mail.ru

Nadezhda V. TVARDOVSKAYA — PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of “Water supply, sewerage and hydraulics”; tvardovskaya@pgups.ru