



УДК 628.38

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.57>

Проблемы накопления осадков сточных вод на территории канализационных очистных сооружений

А. Ю. Потапова, О. А. Бархатова*

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Рассмотрены экологические проблемы, связанные с воздействием осадков сточных вод на компоненты окружающей среды, и проблемы утилизации смеси осадков на территории канализационных очистных сооружений. Отмечена необходимость внедрения современных технологий и оборудования для эффективной очистки сточных вод с целью уменьшения количества образования осадков, а также методов его обработки для снижения негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей. Целью исследования является анализ процессов обращения отхода «смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод» на канализационных очистных сооружениях с целью минимизации негативного воздействия на окружающую среду на примере г. Иркутска. На основе собранных материалов и данных предпринята попытка определить эффективность существующих методов обработки и утилизации с образующимся количеством осадков сточных вод на канализационных очистных сооружениях. Обнаружено, что основными способами утилизации в России являются: захоронение, пиролиз, сжигание, использование в строительстве и применение в качестве удобрения. Предложены возможные подходы к улучшению утилизации осадков сточных вод на канализационных очистных сооружениях Иркутска, в качестве оптимального выделен метод остеклования.

Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, осадки сточных вод, иловые карты, пиролиз, остеклование.

Для цитирования: Потапова А. Ю., Бархатова О. А. Проблемы накопления осадков сточных вод на территории канализационных очистных сооружений // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2024. Т. 48. С. 57–73. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.57>

Original article

Problems of Accumulation of Sewage Sludge on the Territory of Sewerage Treatment Plants

A. Yu. Potapova, O. A. Barkhatova*

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The work is devoted to the study of environmental problems associated with the impact of sewage sludge on environmental components and the problems of recycling a mixture of sludge on the territory of the STP. Sewage sludge can be harmful to the environment if we do not take proper steps to dispose and treat it. The main impact on the soil during the accumulation of sewage sludge on sludge deposits of sewage treatment plants is exerted by such heavy metals as copper, cadmium,

nickel, manganese, lead, zinc. Heavy metals, coming from the soil into plants and transmitted through food chains, have a toxic effect on plants, animals and humans. Therefore, it is necessary to introduce modern technologies and equipment for effective wastewater treatment in order to reduce the amount of sludge formation and methods of its treatment to reduce the negative impact on the environment and human health. The purpose of the work is to analyze the processes of waste treatment “a mixture of sludge from mechanical and biological treatment of domestic and mixed wastewater” at a sewerage treatment plants in order to minimize the negative impact on the environment, using the example of Irkutsk. An analysis of literature sources was carried out as part of a study related to the problem of wastewater disposal. Possible methods of disposal in Russia include: burial, pyrolysis, incineration, use in construction and use as fertilizer. As a result of the analysis of sewage sludge treatment at the Irkutsk STP, it can be concluded that the current method of sludge treatment using sludge cards is ineffective and has a negative impact on the environment. Based on the considered methods of treating sewage sludge, the vitrification method can be accepted as optimal, which can solve the problem of treating sewage sludge at the Irkutsk STP.

Keywords: sewage treatment plants, sewage sludge, sludge cards, pyrolysis, vitrification

For citation: Potapova A.Yu., Barkhatova O.A. Problems of Accumulation of Sewage Sludge on the Territory of Sewerage Treatment Plants. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2024, vol. 48, pp. 57-73. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.57> (in Russian)

Введение

Вопросы экологии и охраны окружающей среды с каждым днем становятся все актуальнее. Одной из главных проблем, требующих внимания и немедленного решения, является неограниченное накопление осадков сточных вод на канализационных очистных сооружениях (КОС). Такие осадки содержат различные загрязняющие вещества (тяжелые металлы, органические соединения и пестициды), которые имеют негативное воздействие на окружающую среду и человеческое здоровье.

В России, по различным оценкам, ежегодно образуется до 2 млрд м³ осадков с влажностью 95–98 %, или порядка 80–100 млн м³ по сухому веществу. Уровень их использования оценивается всего в 1,0–1,5 % [Лотош, 2007]. Основная масса не находит практического применения и складывается на полигонах, вызывая масштабное загрязнение окружающей среды. В связи с этим существует необходимость по внедрению новых методов по переработке илового осадка.

Осадки сточных вод КОС

На КОС в процессе очистки сточных вод образуется осадок сточных вод, который после минерализации для стабилизации и высушивания подается на иловые площадки, где в результате различных физико-химических и биологических процессов происходит постоянное негативное воздействие на окружающую среду. Экологические риски при использовании иловых площадок КОС представлены на рис. 1.

Также стоит отметить, что основное воздействие на почву при накоплении осадков сточных вод на иловых картах КОС оказывают такие тяжелые металлы, как медь, кадмий, никель, марганец, свинец, цинк, которые, поступая из почвы в растения, передаваясь по цепям питания, оказывают токсическое действие на растения, животных и человека.



Рис. 1. Анализ экологических рисков при использовании иловых площадок

Осадки сточных вод могут оказаться значительным экологическим риском для окружающей среды, если не принимать меры по их утилизации и обработке. Поэтому необходимо внедрение современных технологий и оборудования для эффективной обработки сточных вод, чтобы уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и здоровье людей.

Проблемы накопления осадков сточных вод на иловых картах

В Российской Федерации проблема накопления осадка сточных вод на иловых картах существует уже несколько десятилетий. Согласно оценкам, в стране, где проживает более 148 млн чел., включая более 100 млн горожан, ежегодно образуется примерно 4,4 млн т осадков из городских сточных вод по сухому веществу. Очистные сооружения городов и предприятий, которые выгружают свои стоки в водоемы, не могут полностью очистить их от загрязнений, а существующие иловые карты имеют ограниченную вместимость. Кроме того, осадки сточных вод с течением времени становятся все более концентрированными и содержат все больше токсичных веществ, что делает их утилизацию все более сложной и дорогостоящей. Ситуация ухудшается из-за отсутствия четкой и эффективной системы управления иловыми картами, многие из которых находятся в аварийном состоянии, что может привести к непредсказуемым экологическим последствиям.

Однако существуют и позитивные моменты. Например, в ряде регионов в последнее время активно внедряются новые технологии по обработке иловых осадков, такие как термическая сушка, пиролиз и др. Эти методы позволяют сократить объемы накоплений и уменьшить их влияние на окружающую среду. Также стоит отметить, что в России существует нормативно-правовая база, которая регулирует деятельность по утилизации иловых осад-

ков. На некоторых территориях страны действуют программы по модернизации очистных сооружений и строительству новых, более современных и эффективных установок¹ [Очистка муниципальных сточных ... , 2014; Янцен, Еремеев, 2015].

Тем не менее для решения проблемы требуется комплексный подход и координация усилий со стороны государства, предприятий и населения. Необходимо разработать и внедрить современные методы утилизации иловых осадков, обновить и усовершенствовать существующие очистные сооружения, а также создать систему мониторинга и контроля за состоянием иловых карт.

Способы утилизации осадков сточных вод

В рамках исследования был проведен анализ литературных источников, связанных с проблемой утилизации осадков сточных вод [Куликова, Завизион, 2013; Обезвоживание осадков ... , 2010; Аверьянов, Борткевич, 2011; Щуклин, Ромахина, Ручкинова, 2012; Медведев, 2003; Выбор эффективной технологии ... , 2020; A process combining ... , 2018; High rate mesophilic ... , 2012; Malhotra, Garg, 2019; Mian, Liu, Fu, 2019; Odegaard, Paulsrud, Karlsson, 2002; Review of biosolids ... , 2011; Screw pyrolysis technology ... , 2018; Yin, Hoffmann, Jiang, 2018; Hernandez, Okonta, Freeman, 2017; Lowe, 1993; Volatility and partitioning ... , 2018; Zhang, Matsuto, 2013]. В результате было обнаружено, что основными способами утилизации в России являются: захоронение, пиролиз, сжигание, использование в строительстве и применение в качестве удобрения.

Захоронение осадка на специальных полигонах, или метод депонирования, является наиболее распространенным. Депонирование считается экономичным методом, однако сопряжено с рядом экологических проблем, таких как утрата земельных ресурсов и загрязнение атмосферы. Без соблюдения правил безопасности эксплуатации полигонов метод захоронения может вызвать загрязнение почвы и подземных вод тяжелыми металлами.

Сжигание заключается в том, чтобы сжечь ил в специальных установках с высокими температурами. В результате образуются зола и газы. Данный процесс позволяет значительно уменьшить объем осадка и уничтожить патогенные микроорганизмы и яйца гельминтов. После золу можно использовать для производства цемента. Однако этот метод не является эффективным ввиду того, что может приводить к выбросам вредных веществ в атмосферу.

Так как активный ил содержит много органических веществ и питательных элементов, таких как азот, фосфор и калий, его можно применять в качестве удобрения для растений. Однако перед использованием необходимо провести анализ на содержание токсичных веществ, которые могут быть опасными для здоровья человека и окружающей среды.

¹ Обработка осадка сточных вод: полезный опыт и практические советы. Издатель и авторское право 2012: Проект по городскому сокращению эвтрофикации (Project on Urban Reduction of Eutrophication, PURE) через Комиссию по окружающей среде Союза балтийских городов, Vanha Suurtori 7, 20500 Turku, Finland (Финляндия). 125 с.

Осадки сточных вод также можно использовать в качестве строительного материала. Для этого их необходимо обработать специальными добавками, укрепляющими структуру материала. Таким образом можно снизить количество отходов и сократить затраты на производство строительных материалов. Данный метод не может быть использован в качестве единственного для утилизации и имеет недостатки, связанные с возможностью негативного воздействия на человека в долгосрочной перспективе из-за содержания определенных компонентов в смеси.

Пиролиз – это метод утилизации, при котором избыточный активный ил подвергается высокотемпературному нагреву без доступа кислорода, что позволяет получать топливные компоненты, такие как уголь, пиролизное масло и пиролизный газ. Преимуществом является возможность совместной утилизации и получения продуктов, пригодных для использования в производстве. Кроме того, пиролиз является управляемым процессом, что позволяет эффективно работать с различными качественными составами утилизируемых веществ. Однако стоит отметить, что данный метод также имеет недостатки, например, он является взрывопожароопасным, что требует дополнительного контроля.

Достоинства и недостатки основных методов утилизации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика методов утилизации осадков сточных вод

Метод утилизации	Достоинства	Недостатки
Захоронение	Легкость в обслуживании. Низкая энергоемкость	Занимает большие территории для эксплуатации. Выбросы в окружающую среду
Сжигание	Позволяет сократить общий объем отходов, а полученная в результате процесса минеральная зола может использоваться в качестве сырья для производства строительных материалов, таких как кирпич, бетон и облицовочные панели	Даже если осуществляется очистка дымовых газов на высоком уровне, все равно происходит выделение вредных веществ, таких как полихлорированные диоксины, полихлорированные дибензофураны, оксид углерода и оксид азота
Использование в строительстве	Получение значительной экономической выгоды	Для реализации данного метода требуется комбинация с другим методом утилизации. Пока не проведены достаточные исследования влияния данного метода на человека
Применение в качестве удобрения	Данный метод является экономически эффективным способом использования, который может оказать положительное воздействие на прибыльность. Применение данного метода способствует улучшению физических свойств почвы, что, в свою очередь, может привести к повышению урожайности растений. Использование данного метода может привести к прибавке в урожайности зерновых культур на 25–30 %	Внесение удобрений требует точного соблюдения доз и времени внесения. Также необходим контроль содержания токсикантов и тяжелых металлов

Окончание табл. 1

Метод утилизации	Достоинства	Недостатки
Пиролиз	<p>Получение активированного угля – один из выгодных способов использования. При фракционной разгонке первичного дегтя возможно получение различных ценных продуктов, таких как парафины, асфальтены, карбоновые кислоты, фенолы, коксовая пыль, органические основания.</p> <p>Процесс легко контролируется и имеет стабильную работу даже при изменении качества поступающего осадка, что позволяет снизить вынос золы и других загрязнений в атмосферу.</p> <p>При использовании этого метода значительно снижается потребность в топливе, и можно проводить процесс пиролиза осадка без использования дополнительных источников топлива</p>	<p>Пиролитические установки характеризуются повышенным риском возникновения пожара и взрыва.</p> <p>Зольные остатки содержат легковоспламеняющиеся элементы, поэтому необходимо принимать дополнительные меры для безопасного их хранения и утилизации</p>

Стоит отметить, что утилизация является неотъемлемой частью процесса очистки сточных вод. Это позволяет снижать воздействие на окружающую среду и использовать ресурсы более эффективно. Однако для того чтобы выбрать оптимальный метод утилизации для конкретной ситуации, необходимо провести анализ на содержание токсичных веществ и оценить возможность использования отходов для производства энергии или строительных материалов. Также необходимо учитывать стоимость каждого из методов и его влияние на окружающую среду.

По статистическим данным Key figures on Europe 2019 edition², состав осадка сточных вод богат питательными веществами, но часто содержит высокие концентрации загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы. В связи с этим страны ищут различные способы утилизации осадка (рис. 2).

В общем объеме обработанных осадков сточных вод значительную долю составляют четыре различных типа утилизации:

- использование в сельском хозяйстве;
- компостирование;
- размещение на полигоне;
- сжигание.

Наибольшее распространение в странах Европы получило использование в качестве удобрения в сельском хозяйстве в таких государствах, как Португалия, Ирландия, Великобритания и Испания. В Эстонии и Венгрии большая часть осадков подвергается компостированию. Сжигание является основным методом обработки и утилизации в Нидерландах, Германии, Словении и Австрии. Мальта, Хорватия, Румыния и Италия используют единственный метод обработки – сброс на контролируемые свалки.

² URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-interactive-publications/-/ks-02-19-677> (date of access: 09.02.2024).

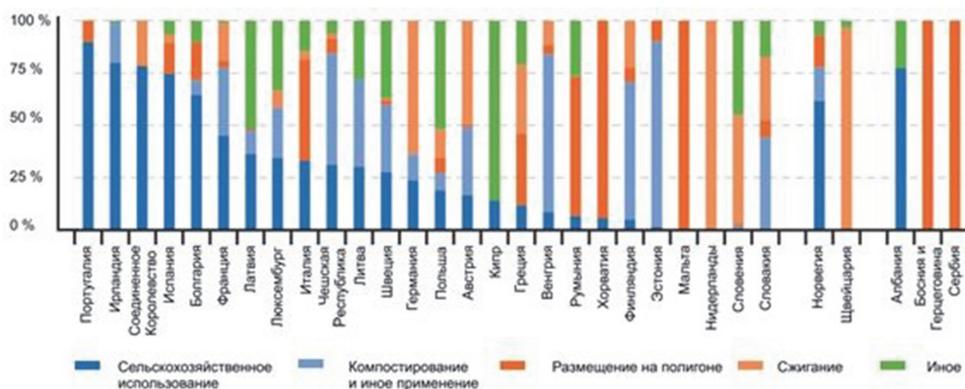


Рис. 2. Обращение с осадками сточных вод в странах Европы

Обращение осадков сточных вод КОС г. Иркутска

Обработка осадка на КОС осуществляется следующим образом: смесь осадка с первичных отстойников и избыточного активного ила после минерализации подается на иловые площадки, где происходит ее обезвоживание, выдержка в естественных условиях с целью стабилизации и обеззараживания.

В настоящее время на КОС г. Иркутска эксплуатируется 52 иловых площадки (рис. 3, 4) (27 на КОС левого берега и 25 на КОС правого берега) на естественном основании с поверхностным удалением воды и шесть иловых площадок каскадного типа (на КОС правого берега).



Иловые площадки КОС левого берега г. Иркутска

Рис. 3. Расположение иловых площадок КОС левого берега г. Иркутска



Рис. 4. Расположение иловых площадок КОС правого берега г. Иркутска

Подсушка осадка на иловых площадках осуществляется за счет фильтрации иловой воды через основание карт и естественного испарения воды. Улучшению водоотдающих свойств способствуют также зимнее промерзание и весеннее оттаивание осадка.

Слой одновременного напуска осадка на заливаемую карту иловой площадки составляет для лета 20–30 см, для зимы – на 0,1 см ниже высоты ограждающих валков. Последующие напуски производятся после того, как влажность выпущенного ранее осадка достигнет приблизительно 80 %, а на его поверхности образуются двойные трещины толщиной 2–3 см, через которые фильтруется вода вновь напускаемого слоя осадка. Для ускорения высыхания осадка, образовавшаяся на поверхности площадки корка периодически, 2–3 раза за лето, разрыхляется, и удаляется растительность.

Технология подсушки осадка на иловых площадках разделяется на два этапа:

- 1) удаление иловой воды, способной фильтроваться через основание карт;
- 2) естественное высыхание осадка в результате испарения воды.

Обеззараживание осадка в естественных условиях происходит в течение 3–5 лет.

В результате такой обработки на КОС г. Иркутска непрерывно образуется отход «смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, выдержанная на площадках стабилизации». С 2019 г. он проходит дополнительную обработку на уста-

новке для термической обработки осадка, которую МУП «Водоканал» приобрело и смонтировало на КОС левого берега. Комплекс по сортировке и термической обработке осадка сточных вод «Грохот» предназначен для удаления крупнофракционного мусора, высушивания и дезинвазии осадка сточных вод, предварительно обезвоженного на иловых площадках, при помощи нагрева осадка до 80 °С. Этот прием решает задачу удаления осадка с территории очистных сооружений и его дальнейшей утилизации.

В зависимости от используемых методов обработки, состава и свойств, прошедшие обработку осадки могут классифицироваться как побочная продукция и предназначаться для использования в качестве органических, органоминеральных, органо-известковых удобрений, почвогрунтов (растительных грунтов), рекультивантов, изолирующего материала, биотоплива и т. п.³

«Смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, выдержанная на площадках стабилизации» КОС г. Иркутска используется на собственные нужды:

- в качестве почвенно-растительного слоя на территориях предприятий;
- для восстановления благоустройства после проведения ремонтных и строительных работ.

Для этого специалистами аккредитованных аналитических лабораторий соответствующей специализации совместно с инженером экологической службы МУП «Водоканал» г. Иркутска методом конвертирования производится отбор проб подготовленной для использования смеси осадков сточных вод. Сущность данного метода основана на том, что в одной пробе оказывается осадок, взятый с различных мест одного участка. При соответствии исследуемой партии требованиям СанПиН 2.1.7.573-96 определяется дальнейшее использование смеси осадков.

Данный отход не должен приводить к ухудшению экологических и санитарно-гигиенических показателей окружающей среды, почвы, выращиваемых растений. Смесь осадков с иловых карт не допускается применять⁴:

- в водоохраных зонах и зонах водных объектов, и их прибрежных защитных полосах, а также в пределах особо охраняемых природных территорий;
- поверхностно в лесах, лесопарках, на сенокосах и пастбищах;
- на затопляемых и переувлажненных почвах;
- на территориях с резко пересеченным рельефом, а также на площадках, которые имеют уклон в сторону водоема более 3°.

Транспортировка отхода «смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, выдержанная на площадках стабилизации» должна исключать загрязнение им дорожного полотна и прилегающих территорий. При транспортировке и хранении смеси осадков следует исключать распространение неприятных запахов на насе-

³ ГОСТ Р 59748-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования. Изд. офиц. Дата введ.: 13.10.2021. М., 2021. 27 с.

⁴ СанПиН 2.1.7.573-96. Почва. Очистка населенных мест. Бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. Санитарные правила и нормы. Изд. офиц. Дата введ.: 06.10.1996. М., 1997. 54 с.

ленные пункты. Запрещено хранение в пределах 100-метровой санитарно-защитной зоны населенного пункта. При использовании для удобрения почв с целью озеленения запрещается открытое складирование осадков на территории населенного пункта в количестве, превышающем потребность на одну рабочую смену.

На КОС г. Иркутска правого и левого берегов ведутся журнал учета налива смеси осадков на иловые площадки и журнал учета складирования смеси осадка на площадке временного накопления. В них отражается вся информация по датам начала и окончания заполнения иловых площадок, а также по датам закладки смеси осадков в компост и учет его использования.

Вывоз отхода «смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, выдержанная на площадках стабилизации» с площадки временного накопления производится только при согласовании с экологической службой МУП «Водоканал» г. Иркутска и в присутствии начальника КОС, данные о количестве указываются в «Отчете о движении отходов». Если смесь осадков используется по договору со сторонней организацией, то в экологическую службу МУП «Водоканал» г. Иркутска предоставляется справка с указанием количества использованной смеси осадка.

«Смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, выдержанная на площадках стабилизации», прошедшая термическую обработку на установке «Грохот», может быть использована и утилизирована для производства цемента. Также смесь можно использовать в качестве органических и органоминеральных удобрений II группы для посадки лесохозяйственных культур вдоль дорог, в питомниках лесных и декоративных культур, для рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, свалок твердых бытовых отходов⁵.

Возможные подходы к улучшению утилизации осадков сточных вод на КОС г. Иркутска

По данным Союза российских городов, при общей мощности канализационных очистных сооружений, обслуживающих населенные пункты, в размере 55,5 млн м³ в год количество осадков, образующихся в результате их функционирования, составляет примерно 1,5 млн м³ в год. Кроме того, на настоящих иловых картах, принадлежащих действующим или уже закрытым предприятиям, таким как водоканалы и бывшие очистные сооружения градообразующих предприятий, накоплено около 20 млн м³ иловых осадков [Союз российских городов ... , 2023]. Процессы обработки и утилизации осадков сточных вод тесно связаны с функционированием водного хозяйства и представляют собой задачу высокой важности в контексте предотвращения экологического ущерба. Поэтому проектным офисом «Вода и городская экология» согласно ГОСТ Р 59748-2021 были предложены варианты обработки осадков сточных вод (табл. 2).

⁵ ГОСТ Р 59748-2021.

Таблица 2

Варианты обработки осадков сточных вод

Процесс обработки осадков сточных вод	Возможности применения продукта, получаемого при обработке осадков сточных вод
Обезвоживание осадка на центрифугах (декантерах)	<p>Массовая доля сухого вещества (СВ) 20–25 % подходит:</p> <ul style="list-style-type: none"> – для использования при обогащении почвенных покровов и размещения на полигоне; – компостирования и известкования, а затем использования в качестве местных органических и органоминеральных удобрений; – почвогрунтов (растительных грунтов); – рекультивантов инертного материала для технической рекультивации нарушенных земель; – изолирующих материалов на твердых коммунальных отходах (ТКО)
Мультидисковые шнековые дегидраторы	<p>СВ 20 % подходит:</p> <ul style="list-style-type: none"> – для использования при обогащении почвенных покровов и размещения на полигоне; – компостирования и известкования, а затем использования в качестве местных органических и органоминеральных удобрений; – почвогрунтов (растительных грунтов); – рекультивантов инертного материала для технической рекультивации нарушенных земель; – изолирующих материалов на ТКО
Ленточные фильтр-прессы	<p>СВ 20–25 % подходит:</p> <ul style="list-style-type: none"> – для использования при обогащении почвенных покровов и размещения на полигоне; – компостирования и известкования, а затем использования в качестве местных органических и органоминеральных удобрений; – почвогрунтов (растительных грунтов); – рекультивантов инертного материала для технической рекультивации нарушенных земель; – изолирующих материалов на ТКО
Камерно-мембранный фильтр-пресс	<p>СВ 20 % подходит:</p> <ul style="list-style-type: none"> – для использования при обогащении почвенных покровов и размещения на полигоне; – компостирования и известкования, а затем использования в качестве местных органических и органоминеральных удобрений; – почвогрунтов (растительных грунтов); – рекультивантов инертного материала для технической рекультивации нарушенных земель; – изолирующих материалов на ТКО
Отдельная прямая термическая сушка (ленточная, барабанная, лопастная)	<p>СВ осадка не менее 80 % подходит:</p> <ul style="list-style-type: none"> – для использования в качестве топлива на цементных заводах – для крупных и сверхкрупных ОС; – использования при обогащении почвенных покровов – для малых и средних ОС; – использование в качестве органоминеральной смеси (удобрения II группы – посадки лесохозяйственных культур вдоль дорог, в питомниках лесных и декоративных культур, для рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, сволок твердых бытовых отходов)
Низкотемпературная сушка	<p>СВ осадка не менее 65 % подходит:</p> <ul style="list-style-type: none"> – для использования в качестве топлива на цементных заводах – для крупных и сверхкрупных ОС; – использования при обогащении почвенных покровов – для малых и средних ОС

Окончание табл. 2

Процесс обработки осадков сточных вод	Возможности применения продукта, получаемого при обработке осадков сточных вод
Солнечная сушка	Высушенный осадок подходит: – для использования при обогащении почвенных покровов, благоустройстве, рекультивации свалок твердых бытовых отходов; – в качестве изолирующего материала на полигонах ТКО и полигонах промышленных отходов
Сжигание осадка	Зола применима: – для изготовления удобрений при условии извлечения тяжелых металлов; – стеклования с получением инертного строительного материала; – использования в составе строительных смесей; – выработки тепла и электроэнергии
Пиролиз	Шлак применим: – для использования в качестве заполнителя (заполняют отвалы, ремонтируют поврежденные участки дорожного полотна); – использования в качестве органоминерального удобрения
Обработка реагентами, эффективность которых подтверждена	Почвогрунт стабилизированный применим: – при обогащении почвенных покровов; – в качестве органических удобрений; – в качестве рекультиванта для технической биологической рекультивации нарушенных земель; – в качестве изолирующих материалов на полигонах

Ситуация на КОС г. Иркутска

В результате анализа обращения осадков сточных вод на КОС г. Иркутска можно сделать вывод, что действующий метод обезвоживания осадка с помощью иловых карт неэффективен и отрицательно воздействует на окружающую среду. Размещение осадка на иловых площадках способствует образованию резкого и неприятного запаха, который непосредственно оказывает негативное влияние на уровень качества жизни горожан, проживающих в близлежащих районах. Также этот метод неблагоприятно воздействует на р. Ангару, в которую могут попадать загрязняющие вещества, относящиеся к опасным в результате того, что иловые площадки сооружены на естественном основании с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды. Для того чтобы решить эту проблему, необходимо устройство бетонного основания, строительство насосной станции для возврата иловой воды на очистные сооружения.

Метод обработки осадка с помощью термической сушки на установке «Грохот» можно считать тоже малоэффективным. Несмотря на то что осадок обрабатывается до не гнивающего, свободного от гельминтов и патогенных микроорганизмов, внешне сухого (влажностью 5–10 %) сыпучего материала, с таким большим объемом образования смеси осадков сточных вод все-таки не справляется. Возможными причинами обработки небольшого количества отхода за год являются: 1) установка работает только в период, когда отсутствуют осадки; 2) установка работает только в одном экземпляре на КОС левого берега. Возможно, если установить «Грохот» и на КОС правого берега, то количество обработанного осадка за год намного увеличится.

Кроме того, образующаяся смесь избыточного активного ила накапливается на иловых площадках, занимающих большие площади (общая площадь около 25,5 га), которые отрицательно влияют на состояние окружающей среды и здоровье человека. Поэтому возникает необходимость снижения количества иловых карт с помощью установки специального оборудования.

На сегодняшний день метод пиролиза является одним из самых прогрессивных. Его основу составляет разложение органических компонентов под влиянием высоких температур (700 °С) без участия кислорода [Валетов, Кашенко, 2018]. Преимуществом перед прямым сжиганием является исключение вредных веществ, попадающих в атмосферу вместе с газом. Причина этого заключается в технологии утилизации, так как с помощью пиролиза обрабатываются исключительно органические компоненты. Результатами термического разложения является образование горючего газа (55 %), полукочка (35 %) и жидких органических элементов (15 %). Органика улетает вместе с газом, полукочка подвергается дальнейшей обработке (газификация) с получением горючего газа. После газификации оксиды металлов остаются в форме очищенного шлака, доступного для дальнейшего использования. Характеристики утилизации осадков сточных вод с помощью метода пиролиза представлены в табл. 3.

Таблица 3

Утилизация осадков сточных вод методом пиролиза

Показатели	Характеристики
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> – Сокращение объема осадка; – освобождение иловых карт под промышленное, жилищное строительство; – уменьшение накопленного экологического ущерба; – экономия на вывозе осадка; – получение дополнительных доходов от реализации почвогрунта
Срок выдержки осадков в иловой карте	<ul style="list-style-type: none"> – Осадок не накапливается; – свежий осадок сразу отправляется на сушку
Результат	<ul style="list-style-type: none"> – Стабилизированный почвогрунт; – использование шлака в качестве заполнителя (заполняют отвалы, ремонтируют поврежденные участки дорожного полотна); – возможность применения в качестве органоминерального удобрения

Утилизация осадка методикой остеклования является одной из новейших технологий, которая входит в перечень «Наилучших доступных технологий» (НДТ ИТС 10-2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов»⁶) и однозначно требует к себе внимания. Это процесс предварительной сушки осадка, окисления его органической фракции и плавления минеральной фракции в плавителе с образованием гранулированного остеклованного материала. Получаемый продукт – гранулянт остеклованного шлама, применяемый в строительной индустрии [Янцен, Еремеев, 2015]. Характеристики утилизации осадков сточных вод с помощью данного метода представлены в табл. 4.

⁶ Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов». М. : Бюро НТД, 2015. С. 323–324.

Таблица 4

Утилизация осадков сточных вод методом остеклования

Показатели	Характеристики
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> – Значительное сокращение объема осадка; – освобождение иловых карт под промышленное, жилищное строительство; – полная ликвидация накопленного экологического ущерба; – экономия на вывозе осадка; – использование энергетического потенциала отходов; – возможность использования разных видов топлива для нагрева плавителя
Срок выдержки осадков в иловой карте	<ul style="list-style-type: none"> – Осадок не накапливается; – свежий осадок сразу отправляется на сушку и в плавитель
Результат	<ul style="list-style-type: none"> – «Нулевое захоронение» – остеклованный гранулят применим в строительной, цементной индустрии, дорожном строительстве; – инертный строительный наполнитель для бетона; – возможность применения в качестве добавки для производства цемента, органоминерального удобрения и рекультиванта

Данный метод обработки на территории Российской Федерации начали использовать на атомной электростанции (НВАЭС) в г. Нововоронеже для высокотемпературной переработки твердых радиоактивных отходов. С его помощью обеспечиваются высокие коэффициенты сокращения объема отходов (от 10 до 49 %). Метод остеклования обезвоженного илового осадка реализован на опытной установке на площадке канализационных очистных сооружений в г. Щелково, введенной в строй в 2019 г., в результате чего объемы осадков сточных вод сократились практически в 25 раз.

В зарубежных странах технологию остеклования осадка применяют: в США (компания Minergy, которая занимается переработкой осадков сточных вод производительностью 350 000 т/год с получением двух продуктов: возобновляемой энергии (пар/электричество) и стекломассы, а также производство остеклованного шлака – 200 т/сут.); в городах Японии (Киото – 150 т/сут., Осака – 150 т/сут., Хиого – 180 т/сут.); в Италии и Израиле [Выбор эффективной технологии ... , 2020].

Исходя из рассмотренных методов в качестве оптимального можно принять метод остеклования, который способен решить проблему обращения осадков сточных вод на КОС г. Иркутска.

Заключение

КОС г. Иркутска являются комплексом специализированных устройств, предназначенных для очищения отходов хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. В результате стандартной системы очистки, которая включает в себя комплекс механической очистки сточных вод, комплекс полной биологической очистки и обеззараживания сточных вод, образуется большое количество отхода «смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, выдержанная на площадках стабилизации, практически неопасная».

В результате анализа ситуации накопления осадков сточных вод выяснилось, что с помощью существующей технологии обработки осадков сточных вод от общего количества образованного осадка за год утилизируется всего 6,61 %.

Для того чтобы улучшить ситуацию утилизации осадков сточных вод, были предложены следующие варианты:

- 1) внедрить устройство бетонного основания, строительство насосной станции для возврата иловой воды на очистные сооружения;
- 2) установить технологию обработки осадка с помощью термической сушки на комплексе «Грохот» на КОС правого берега;
- 3) использовать для обработки осадков сточных вод без предварительной подсушки осадка на иловых картах метод остеклования.

Список литературы

Аверьянов В. Н., Борткевич В. С. Комплексное решение задач обработки и утилизации осадка сточных вод городских станций аэрации // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011. Т. 43, № 7. С. 30–35.

Валетов Д. С., Кащенко О. В. Сжигание осадков городских сточных вод как метод их утилизации // Academy. 2018. № 12. С. 20–23.

Выбор эффективной технологии утилизации осадков сточных вод / О. В. Янцен, Н. С. Севрюгина, В. А. Герасимов, А. П. Сторожев. М. : Природообустройство, 2020. 7 с.

Куликова Ю. В., Завизион Ю. В. Технико-экономическая оценка утилизации осадков станций очистки сточных вод // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. 2013. № 2. С. 148–158.

Лотош В. Е. Переработка отходов природопользования. Екатеринбург : Полиграфист, 2007. 503 с.

Медведев А. В. Разработка метода электродуговой пиролизной утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений : дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2003. 187 с.

Обезжоживание осадков сточных вод на очистных сооружениях Санкт-Петербурга / А. К. Кинебас, Б. В. Васильев, Ж. Л. Григорьева [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 9. С. 54–59.

Очистка муниципальных сточных вод с повторным использованием воды и обработанных осадков: теория и практика / Н. И. Куликов, А. Н. Ножевникова, Г. М. Зубов [и др.]. М. : Логос, 2014. 400 с.

Союз российских городов : офиц. сайт. 2023. URL: <https://www.urc.ru/project-offices/voda-i-gorodskaja-ekologija/> (дата обращения: 08.06.2023).

Щужлин П. В., Ромахина Е. Ю., Ручкинова О. И. Анализ основных направлений обработки осадков городских сточных вод // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. 2012. № 4. С. 119–134.

Янцен О. В., Еремеев П. И. Обзор современных методов снижения энергопотребления на канализационных очистных сооружениях // Естественные и технические науки. 2015. № 11 (89). С. 594–596.

A process combining hydrothermal pretreatment, anaerobic digestion and pyrolysis for sewage sludge dewatering and co-production of biogas and biochar: Pilot-scale verification / C. Li, X. Wang, G. Zhang [et al.] // Bioresources technology. 2018. Vol. 254. P. 187–193.

Hernandez A. B., Okonta F., Freeman N. Thermal decomposition of sewage sludge under N₂, CO₂, and air: gas characterization and kinetic analysis // Journal of environmental management. 2017. Vol. 196. P. 560–568.

High rate mesophilic, thermophilic, and temperature phased anaerobic digestion of waste activated sludge: A pilot scale study / A. Bolzonella, C. Cavinato, F. Fatone [et al.] // Waste Management. 2012. Vol. 32. P. 1196–1201.

Lowe P. The development of a sludge disposal strategy for Hong Kong // J. Water Environ. 1993. N 7. P. 350–353.

Malhotra M., Garg A. Performance of non-catalytic thermal hydrolysis and wet oxidation for sewage sludge degradation under moderate operating conditions // *Journal of environmental management*. 2019. Vol. 238. P. 72–83.

Mian V. I. M., Liu Ci, Fu B. Conversion of sewage sludge into environmental catalyst and microbial fuel cell electrode material // *Science of total environment*. 2019. Vol. 17. P. 525–539. <https://www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.200>

Odegaard H., Paulsrud B., Karlsson I. Wastewater sludge as a resource sludge disposal strategies and corresponding treatment technologies aimed at sustainable handling of wastewater sludge // *Water Sci. Technol.* 2002. Vol. 46, N 10. P. 295–303.

Review of biosolids management options and co-incineration of a biosolid-derived fuel / M. M. Roy, A. Dutta, K. Corscadden [et al.] // *Waste Management*. 2011. Vol. 31. P. 2228–2235.

Screw pyrolysis technology for sewage sludge treatment / M. T. Morgano, H. Leibold, F. Riehler [et al.] // *Waste management*. 2018. Vol. 73. P. 487–495. <https://www.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.049>

Volatility and partitioning of Cd and Pb during sewage sludge thermal conversion / Y. F. Zhang, S. Y. Zhang, C. W. Wang [et al.] // *Waste management*. 2018. Vol. 75. P. 333–339. <https://www.doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.044>

Yin Z., Hoffmann M., Jiang S. Sludge disinfection using electrical thermal treatment: the role of ohmic heating // *Science of total environment*. 2018. Vol. 615. P. 262–271.

Zhang X., Matsuto T. Assessment of internal condition of waste in a roofed landfill // *Waste Management*. 2013. Vol. 33. P. 102–108.

References

Aver'yanov V.N., Bortkevich V.S. Kompleksnoe reshenie zadach obrabotki i utilizatsii osadka stochnykh vod gorodskikh stantsii aeratsii [Comprehensive solution to the problems of treatment and disposal of sewage sludge from urban aeration stations]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water treatment. Water treatment. Water supply], 2011, vol. 43, no. 7, pp. 30–35. (in Russian)

Valetov D.S., Kashchenko O.V. *Szhiganie osadkov gorodskikh stochnykh vod kak metod ikh utilizatsii* [Incineration of municipal wastewater sludge as a method of disposal]. Nizhnii Novogorod, Academy, 2018, no. 12, pp. 20–23. (in Russian)

Yantsev O.V., Sevryugina N.S., Gerasimov V.A., Storozhev A.P. *Vybor effektivnoi tekhnologii utilizatsii osadkov stochnykh vod* [Selection of effective sewage sludge disposal technology]. Moscow, Prirodoobustroistvo Publ., 2020, 7 p. (in Russian)

Kulikova Yu.V., Zavizion Yu.V. Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka utilizatsii osadkov stantsii ochistki stochnykh vod [Technical and economic assessment of recycling sludge from wastewater treatment plants]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Urbanism], 2013, no. 2, pp. 148–158. (in Russian)

Lotosh V.E. *Pererabotka otkhodov prirodopolzovaniya* [Recycling of environmental waste]. Ekaterinburg, Poligrafist Publ., 2007, 503 p. (in Russian)

Medvedev A.V. *Razrabotka metoda elektrodugovoi piroliznoi utilizatsii osadkov stochnykh vod gorodskikh ochistnykh sooruzhenii* [Development of a method for electric arc pyrolysis disposal of sewage sludge from municipal wastewater treatment plants]. Cand. sci. diss. Tyumen, 2003, 187 p. (in Russian)

Kinebas A.K., Vasil'ev B.V., Grigor'eva Zh.L. et al. Obezvzhivanie osadkov stochnykh vod na ochistnykh sooruzheniyakh Sankt-Peterburga [Dewatering of sewage sludge at wastewater treatment plants in St. Petersburg]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary technology], 2010, no. 9, pp. 54–59. (in Russian)

Kulikov N.I., Nozhevnikova A.N., Zubov G.M. et al. *Ochistka munitsipalnykh stochnykh vod s povtornym ispol'zovaniem vody i obrabotannykh osadkov: teoriya i praktika* [Municipal wastewater treatment with reuse of water and treated sludge: theory and practice]. Moscow, Logos Publ., 2014, 400 p. (in Russian).

Soyuz Rossiiskikh gorodov [Union of Russian Cities], 2023. Available at: <https://www.urc.ru/project-offices/voda-i-gorodskaja-ekologija/> (data of access 08.06.2023) (in Russian)

Shchuklin P.V., Romakhina E.Yu., Ruchkinova O.I. Analiz osnovnykh napravlenii obrabotki osadkov gorodskikh stochnykh vod [Analysis of the main directions of treatment of urban wastewater sludge]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo uni-*

versiteta. Urbanistika [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Urbanism], 2012, no. 4, pp. 119-134. (in Russian)

Yantsen O.V., Ermeev P.I. Obzor sovremennykh metodov snizheniya energopotrebleniya na kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzheniyakh [Review of modern methods for reducing energy consumption in sewage treatment plants]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences], 2015, no. 11 (89), pp. 594-596. (in Russian)

Li C., Wang X., Zhang G. et al. process combining hydrothermal pretreatment, anaerobic digestion and pyrolysis for sewage sludge dewatering and co-production of biogas and biochar: Pilot-scale verification. *Bioresources technology*, 2018, vol. 254, pp. 187-193.

Hernandez A.B., Okonta F., Freeman N. Thermal decomposition of sewage sludge under N, CO, and air: gas characterization and kinetic analysis. *Journal of environmental management*, 2017, vol. 196, pp. 560-568.

Bolzonella A., Cavinato C., Fatone F. et al. High rate mesophilic, thermophilic, and temperature phased anaerobic digestion of waste activated sludge: A pilot scale study. *Waste Management*, 2012, vol. 32, pp. 1196-1201.

Lowe P. The development of a sludge disposal strategy for Hong Kong. *J. Water Environ*, 1993, no. 7, pp. 350-353.

Malhotra M., Garg A. Performance of non-catalytic thermal hydrolysis and wet oxidation for sewage sludge degradation under moderate operating conditions. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 238, pp. 72-83.

Mian V.I.M., Liu Ci, Fu B. Conversion of sewage sludge into environmental catalyst and microbial fuel cell electrode material. *Science of total environment*, 2019, vol. 17, pp. 525-539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.200>

Odegaard H., Paulsrud B., Karlsson I. Wastewater sludge as a resource sludge disposal strategies and corresponding treatment technologies aimed at sustainable handling of wastewater sludge. *Water Sci. Technol.*, 2002, vol. 46, no. 10, pp. 29-303.

Roy M.M., Dutta A., Corscadden K. et al. Review of biosolids management options and co-incineration of a biosolid-derived fuel. *Waste Management*, 2011, vol. 31, pp. 2228-2235.

Morgano M.T., Leibold H., Riehler F. et al. Screw pyrolysis technology for sewage sludge treatment. *Waste management*, 2018, vol. 73, pp. 487-495. <https://www.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.049>

Zhang Y.F., Zhang S.Y., Wang C.W. et al. Volatility and partitioning of Cd and Pb during sewage sludge thermal conversion. *Waste management*, 2018, vol. 75, pp. 333-339. <https://www.doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.044>

Yin Z, Hoffmann M., Jiang S. Sludge disinfection using electrical thermal treatment: the role of ohmic heating. *Science of total environment*, 2018, vol. 615, pp. 262-271.

Zhang X., Matsuto T. Assessment of internal condition of waste in a roofed landfill. *Waste Management*, 2013, vol. 33, pp. 102-108.

Сведения об авторах

Потاپова Алена Юрьевна
студент, географический факультет
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: alyona.potapova.606@mail.ru

Бархатова Оксана Анатольевна
кандидат биологических наук, доцент,
кафедра гидрологии и природопользования
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: barhat@geogr.isu.ru

Information about the authors

Potapova Alena Yuryevna
Student, Faculty of Geography
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: alyona.potapova.606@mail.ru

Barkhatova Oksana Anatolievna
Candidate of Sciences (Biology), Associate
Professor, Department of Hydrology and
Environmental Management
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: barhat@geogr.isu.ru

Код научной специальности: 1.6.21

Статья поступила в редакцию 09.02.2024; одобрена после рецензирования 12.04.2024; принята к публикации 11.06.2024

The article was submitted February, 09, 2024; approved after reviewing April, 12, 2024; accepted for publication June, 11, 2024