

С. А. Кулакова¹, Л. И. Торопов¹, А. Я. Баянкин²

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
И БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ**

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Россия

² ООО «Современные пиролизные технологии», Пермь, Россия

Поступила в редакцию 18.09.2024 г.

Принята к публикации 14.11.2024 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-1-7

Для цитирования: Кулакова С. А., Торопов Л. И., Баянкин А. Я. Возможность использования осадка сточных вод биологических очистных сооружений для целей зеленого строительства и биологической рекультивации // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2025. №1. С. 103–113. doi: 10.5922/vestniknat-2025-1-7.

На городских биологических очистных сооружениях активно внедряются различные подходы по обезвреживанию осадка сточных вод, в том числе с применением технологии термической утилизации – пиролиза. Получаемый в таком случае биоуголь в настоящее время практически не используется, но этот продукт имеет уникальное свойство поглощать и на практике секвестрировать CO₂ на многие столетия, находясь в почве, при этом улучшая ее качества и способствуя устойчивому использованию и развитию. Связь между биомассой и биоуглем представляет собой один из наиболее эффективных подходов для решения климатических задач. Этот тройной положительный эффект делает биоуголь и технологии его производства весьма перспективными в контексте климатической повестки. В настоящее время в связи с этим уже формируется отдельное направление, известное как пирогенное улавливание и хранение углерода.

Ключевые слова: биоуголь, осадки сточных вод, пиролизтоксичные элементы, секвестрирование CO₂, предельно допустимые концентрации, растительный грунт, биологическая рекультивация, зеленое строительство

Введение

В городах ежегодно возрастает потребность в искусственно создаваемых грунтах для озеленения новых объектов и реконструкции старых. В настоящее время для этих целей используется естественный торф, который не является оптимальным для выращивания растений и требует доработки. Кроме этого, добыча торфа связана с нарушением (уничтожением) осушенных болотных экосистем. В связи с климатической по-



весткой важно сохранять и/или восстанавливать болотные экосистемы, так как они имеют высокую эффективность с точки зрения связывания углерода.

В городах, где сосредоточена большая часть населения Земли, канализация давно перестала считаться одним из великих достижений человечества. Тем не менее технологии продолжают развиваться, а городской образ жизни стремительно проникает и в сельские районы, создавая новые вызовы нового тысячелетия. В частности, биологические очистные сооружения (далее – БОС) стали важной частью канализационной системы населенных пунктов и источником специфического ила, или осадка сточных вод (далее – ОСВ), который накапливается в значительных объемах в этих сооружениях.

Цель настоящей работы – проанализировать возможности и ограничения использования ОСВ БОС для производства грунтов.

Задачи:

1. Определить статус ОСВ: отход или промежуточный продукт.
2. Охарактеризовать технологию пиролиза, используемую для получения биоугля из ОСВ.
3. Определить содержание токсичных элементов в биоугле.

Под ОСВ следует понимать смесь минеральных и органических веществ, выделяемых из сточных вод в процессе их механической, биологической, физико-химической и реагентной очистки, в том числе избыточный активный ил, выведенный из технологического процесса биологической очистки [3].

Ежегодно в России образуется порядка 1,5 млн м³ иловых осадков, еще около 20 млн м³ уже накоплено на иловых картах. Переработка данного вида отходов затруднена из-за негативного влияния на окружающую среду, биологической опасности, содержания тяжелых металлов, высоких затрат на утилизацию и транспортировку [10].

В связи с высокой скоростью образования ОСВ на БОС возникает вопрос дальнейшего его использования и/или захоронения, то есть выбора наилучшей доступной технологии обращения с ОСВ, а для этого необходимо определить статус ОСВ как отхода или промежуточного продукта.

Согласно письму Минприроды России №05-12-44/21713 от 06.11.2013 г. ОСВ следует считать промежуточным продуктом, а не отходом [8]. Иловые площадки не могут классифицироваться как объекты размещения отходов и относятся к инженерным сооружениям для обработки и обезвоживания ОСВ [7]. При несоответствии качества ОСВ требованиям стандартов или отсутствию возможности их использования по назначению и вынужденного захоронения, прошедшие обработку осадки сточных вод классифицируются как отходы [3].

Таким образом, остро стоит вопрос альтернативного использования ОСВ с мест их накопления. В зависимости от химического состава, методов обработки и показателей качества конечной продукции ОСВ могут использоваться в качестве органических удобрений, органоминеральных удобрений, органо-известковых удобрений, почвогрунтов (растительных грунтов) для биологической рекультивации, рекультивантов (инертного материала) для технической рекультивации, изолирующих



материалов на объектах размещения отходов, сырья для производства фосфорных удобрений, сырья для получения биогаза с целью последующего производства тепловой и электрической энергии, сырья для производства цемента [3].

После БОС ОСВ подвергаются обработке, техническими принципами которой согласно ГОСТу 59748-2021 [3] являются:

- сокращение объемов и массы образующихся ОСВ;
- стабилизация органических веществ осадка;
- обеззараживание;
- изменение физико-механических свойств;
- получение товарной продукции и максимальное использование полезных свойств, в том числе энергетического потенциала;
- экологическая и санитарная безопасность при использовании обработанных осадков.

Биоуголь — это материал с большой долей содержания углерода, получаемый из древесины либо из органических отходов путем пиролиза при температуре в диапазоне от 300 до 700 °С в условиях ограниченного доступа кислорода [5].

Анализ публикаций отечественных и зарубежных авторов показал, что достаточно хорошо изучено и доказано положительное влияние внесения в почву биоугля, полученного из растительных остатков (древесных опилок, шелухи подсолнечника, риса и пр.). Оно приводит к улучшению почвенной структуры, иммобилизации тяжелых металлов, снижению миграции азота и т.д. В основном публикации демонстрируют успешные эксперименты по использованию биоугля из растительных остатков для сельскохозяйственных нужд [2; 4–6]. Также встречаются работы, посвященные исследованию биоугля, получаемого из ОСВ, и возможности его применения. На данную тему написано значительно меньше работ, однако в этих исследованиях обнаружено, что рН и удельная поверхность биоугля увеличивается с повышением температуры пиролиза [1; 10; 11; 16–21].

Результаты измерений показали, что рН и удельная поверхность биоугля увеличивались с повышением температуры пиролиза, элементы Zn, Cu, Cr и Ni обогащались и удерживались в биоугле ОСВ с повышением температуры пиролиза с 300 до 700 °С, однако остаточные содержания Pb и Cd в биоугле ОСВ значительно снижались при повышении температуры с 600 °С до 700 °С [19].

Материал и методика

В настоящей статье рассматривается альтернативный вариант использования ОСВ для производства почвогрунтов, предназначенных для биологической рекультивации и зеленого строительства.

Рассматриваемые ОСВ образуются на БОС в пос. Гляденово (Пермский городской округ), который является ключевым объектом централизованной системы канализации (водоотведения) г. Перми, включает более 1 тыс. км сетей водоотведения и 63 насосных станции. Все поступающие на БОС сточные воды проходят несколько этапов очистки. На механической стадии от стоков отделяется крупный мусор, песок, взвесь.

Затем стоки поступают в аэротенки на этап биологической очистки, которая происходит с помощью активного ила — микроорганизмов, жизнедеятельность которых обеспечивает кислород. Далее сточные воды направляются в отстойники. На завершающем этапе очищенная и обеззараженная вода поступает в канал с чистой водой для сброса в Каму, а остаточный ил, образующийся в ходе очистки, обезвоживается на декантере. Пропускная способность БОС в пос. Гляденово по данным на 2019 г. составляет 440 тыс. м³/сут. [12]. В результате механического обезвоживания ила на декантере образуется кек — осадок сточных вод влажностью 72–75 % — и вода. Вода возвращается для дальнейшей обработки на очистные сооружения, ОСВ вывозится для дальнейшего хранения, складирования и/или обезвреживания.

Одним из перспективных способов переработки ОСВ, является его термическая утилизация с получением биоугля. Общее краткое описание технологии приводится ниже [13]*, технологическая схема показана на рисунке.

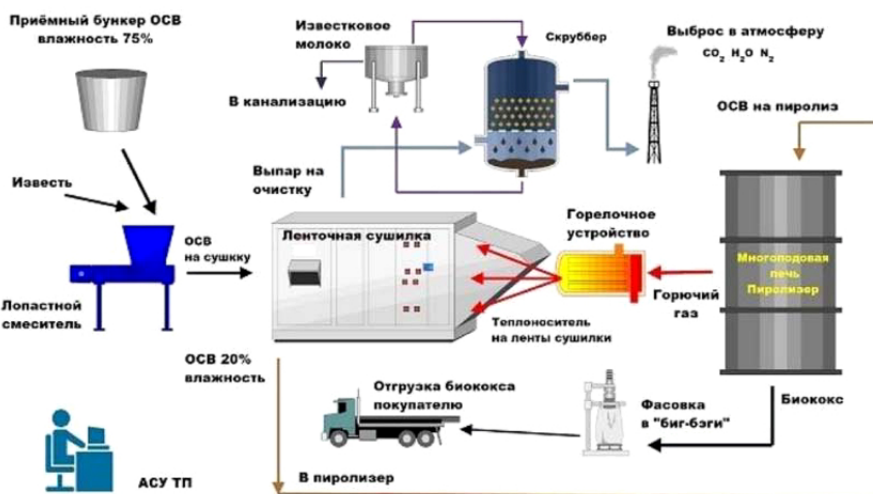


Рис. Технология термоутилизации [12]

*Настоящее описание дано для опытно-промышленного комплекса по термической переработке ОСВ влажностью до 75 % производительностью около 1 т/ч, построенного и введенного в коммерческую эксплуатацию на БОС Гляденово в 2024 г. с непосредственным участием компании — разработчика технологии «СинЭкоГаз Технологии».

Процесс термической утилизации с получением биоугля из ОСВ разделен на следующие технологические стадии:

- сушка ОСВ с понижением влажности осадка с 75 до 10 %;
- проведение пиролиза / газификации ОСВ с получением биоугля;
- сжигание пиролизного газа в горелочном устройстве с получением тепловой энергии;
- очистка охлажденных дымовых газов в орошаемом скруббере перед выбросом в атмосферу.



Влажность кека ОСВ, поступающего на утилизацию, не должна превышать 75 % — это одно из основных требований к обеспечению автормического процесса. Осадок влажностью выше 75 % к термоутилизации не принимается.

Из приемного бункера ОСВ подается в двухвальный лопастной смеситель-миксер, где происходит смешивание ОСВ с влажностью 75 % и осадка с влажностью 10 %, прошедшим сушку и отсев на предыдущей стадии. На выходе из смесителя общая влажность осадка понижается до 55 %, при этом осадок теряет адгезию (прилипание), становится рассыпчатым, имеет развитую площадь поверхности, что способствует его эффективной сушке. Также в смесителе осуществляется добавление гашеной извести для нейтрализации соединений серы, содержащейся в ОСВ, на начальной стадии термообработки. Далее ОСВ подается в барабанную (как вариант — ленточную) сушилку одновременно с теплоносителем, состоящим из смеси горячих дымовых газов из высокотемпературного дожигателя и части охлажденных дымовых газов с выпаром из сушилки. Часть выпара отбирается дымососом на газоочистку в скруббер и выводится в атмосферу через дымовую трубу.

Высушенный до влажности 10 % ОСВ из сушилки направляется в барабанное сито. Там происходит его разделение на две фракции: крупная направляется в пиролизер-газификатор на следующий этап — пиролиз / газификацию. Мелкая подается в смеситель-миксер.

Пиролизер-газификатор сконструирован на основе многоподовой печи непрерывного действия, работающей в пиролизном режиме, и предназначен для газификации твердого топлива с получением горючего пиролизного газа.

Сухой крупный ОСВ является топливом для газификатора. Он непрерывно шнеком загружается на верхний под пиролизера-газификатора. Газификатор предварительно разогревается, в нем инициируется горение и обеспечивается непрерывное перемещение топлива с вышележащих подов на нижележащие вращением вала с лопатками. На верхних подах газификатора при ограниченной подаче воздуха последовательно происходит досушка и высокотемпературный пиролиз (700–800 °С органической массы ОСВ, а на нижних подах — газификация / дожигание углерода и охлаждение углеродно-зольного остатка.

На выходе из газификатора углеродно-зольный остаток — биоуголь — охлаждается и направляется в бункер для временного хранения и вывоза.

Температурный режим в газификаторе поддерживается таким, чтобы тяжелые металлы не плавилась, улетучиваясь с пиролизным газом, а концентрировались в подавляющей своей части в углеродно-зольном остатке ОСВ.

Пиролизные газы выводятся из пиролизера-газификатора и направляются для сжигания в специальное высокотемпературное горелочное устройство (далее — ГУ). Температура в ГУ поддерживается на уровне 1100–1200 °С. Высокотемпературное горение пиролизного газа обеспечивает низкие уровни образования окиси углерода, углеводородов, диоксинов и иных загрязнителей в дымовых газах.



Дымовые газы из ГУ направляются в вихревой смеситель, где происходит их закалка смешением с частью выпара из сушилки с резким понижением температуры до 300–350 °С. Далее дымовые газы поступают в сушилку и используются как теплоноситель для сушки. Тепловой энергии дымовых газов достаточно для осуществления эффективной сушки ОСВ и реализации автотермического процесса его утилизации. Использование дополнительных источников тепловой энергии не требуется. Сокращение объема ОСВ в результате термоутилизации происходит в 8–10 раз (табл. 1), при этом в углеродно-зольном остатке – биоугле – после высокотемпературной обработки отсутствуют биологические и органические загрязнители.

Таблица 1

Эффективность использования метода термоутилизации

Производительность ОСВ с БОС, кг/ч	Биоуголь, кг/ч	Производительность, т/сут.
1000	130	3

Элементы-примеси в образцах ОСВ определяли спектральным методом. Спектры регистрировали с использованием автоматизированного атомно-эмиссионного спектрометра ДФС-458С (генератор УГЭ-4). В качестве приемника излучения служила фотоэлектронная приставка ФЭП-454 с ПЗС-линейками Toshiba. Нижние электроды – графитовые, ос. ч. 7-4. Верхние противоэлектроды из спектрально-чистого угля «SV-104» (Словакия).

Качественное определение элементов-примесей в образцах ОСВ проведено в мае 2024 г. Контролировали наличие 28 элементов: As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Zn, Ti, Ca, Mg, Al, Ga, Si, Fe, K, Na, P, Mo, Bi, Ba, Sn, Sr, In. По качественному содержанию элементы разделили на четыре группы:

- 1) не обнаружено;
- 2) «следы» (элемент присутствует в незначительном количестве);
- 3) наличие в пробах (содержание может достигать 1 %);
- 4) значительное содержание (больше 1 %).

Количественный анализ проводился для элементов-примесей 3 и 4 группы, а также для тех элементов, контроль которых осуществляется при сертификации почв и грунтов [9].

Результаты и обсуждение

Иловый осадок от очистки городских стоков содержит в себе патогенную микрофлору, паразитные агенты, болезнетворные вирусы, кишечные палочки и палочки Коха, а также дурнопахнущие вещества. Все это создает угрозу проникновения в почву, грунтовые и поверхностные воды токсичных органических соединений и соединений тяжелых металлов, патогенной микрофлоры и яиц гельминтов [1]. При пиролизе происходит термическая стерилизация и патогенная флора гибнет, но тяжелые металлы сохраняются.



Результаты анализов показали, что значительное содержание до и после термообработки (больше 1 %) приходится на кальций, марганец, натрий, кремний. Обнаружены следы следующих элементов: молибден, олово, стронций. Линии остальных элементов в оптимальных условиях съемки отсутствуют (табл. 2).

Таблица 2

**Качественное определение элементов-примесей
в образцах ОСВ спектральным методом**

Наличие	Содержание	Элементы
Не обнаружено	—	Ванадий, висмут, галлий, калий, кобальт, мышьяк, сурьма
Следы	Незначительное	Молибден, олово, стронций
Присутствует	До 1 %	Алюминий, барий, бор, железо, индий, кадмий, магний, медь, никель, свинец, титан, фосфор, хром, цинк
Значительное содержание	Больше 1 %	Кальций, марганец, кремний, натрий

109

С целью дальнейшего использования получаемого продукта (биоугля) для производства почвогрунта необходимо количественное определение содержания в биоугле токсичных элементов (медь, никель, цинк, кобальт, хром, марганец, свинец, ртуть, мышьяк), контроль которых осуществляется при сертификации почв и грунтов [9].

Исходя из полученных данных качественного анализа, целесообразно провести количественное исследование на содержание **меди, никеля, свинца, хрома, цинка, марганца, кадмия**. Результаты определения приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Валовое содержание токсичных элементов в ОСВ до
и после термической обработки**

Наименование	Содержание элементов, мг/кг						
	Cu	Pb	Mn ¹	Cr	Ni	Zn	Cd
ОСВ до термической обработки	245	34	600	300	140	1300	32
Допустимое содержание в ОСВ [3]	1500	500	—	1000	400	3500	30
Биоуголь (ОСВ после термической обработки)	480	44	1450	600	230	2850	25
Допустимое содержание в биоугле (продукте переработки ОСВ) для целей биологической рекультивации [3]	750	500	—	1000	400	3500	30

¹ В ГОСТе Р 59748-2021 [3] не нормируется содержание марганца. Согласно ГН 2.1.7.2041-06 [11] ПДК валового содержания марганца в почве составляет 1500 мг/кг.



Данные таблицы 3 свидетельствуют, что получаемый биоуголь из ОСВ соответствует требованиям ГОСТ Р 59748-2021 [3], следовательно может быть использован в производстве почвогрунтов для биологической рекультивации, в зеленом строительстве при устройстве газонов, посадке деревьев и кустарников; при благоустройстве промышленных и селитебных территорий.

Выводы

Согласно природоохранному законодательству РФ ОСВ БОС следует считать промежуточным продуктом, а не отходом. Следовательно, актуальным является поиск его дальнейшего использования. Описанная в данной работе технология пиролиза позволяет получать из ОСВ перспективный продукт – биоуголь.

Содержание элементов (Cu, Pb, Mn, Cr, Ni, Zn) после термической обработки увеличилось, а содержание Cd снизилось на 8%. Выполненный анализ качественного определения элементов-примесей в биоугле показал соответствие ГОСТу Р 59748-2021, что обуславливает возможность его использования для целей зеленого строительства и биологической рекультивации.

С целью успешного применения, получаемого в результате термоутилизации ОСВ продукта (биоугля) для производства почвогрунта, его необходимо дополнительно наделить плодородными свойствами, обогатить удобрительными макро- и микроэлементами, необходимыми для полноценного роста и развития растений.

Список литературы

1. Буренков С. В., Грачев А. Н., Забелкин С. А. Термическая утилизация иловых осадков сточных вод методом быстрого пиролиза в сеточном реакторе // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19, №22. С. 40–43. EDN: XCNBGT.
2. Галиева Г. Ш., Курныцева П. А., Галицкая П. Ю. и др. Влияние биочара из куриного помета на микроорганизмы и растения // Ученые записки Казанского университета. Сер.: Естественные науки. 2021. Т. 163, №2. С. 221–237. doi: 10.26907/2542-064X.2021.2.221-237. EDN: MDQGQM.
3. ГОСТ Р 59748-2021. Национальный стандарт Российской Федерации технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования. Введ. 01.11.2021 г. 2021.
4. Ефремова Д. А., Белик Е. С. Биоуголь как способ депонирования углерода // Химия. Экология. Урбанистика. 2022. Т. 1. С. 29–32. EDN: QOKRZX.
5. Ивлиева М. С. Использование биоугля для восстановления территории, нарушенной открытыми горными работами // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В. Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Белгород, 2023. С. 124–127. EDN: KKLCKF.
6. *Материалы* международного научного семинара «Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду». СПб., 2020. EDN: TRNEVO.



7. О направлении разъяснений : письмо Росприроднадзора № АС-03-02-36/21630 от 07.12.2015 г.

8. По вопросу разъяснения применения природоохранного законодательства Российской Федерации при отнесении иловых осадков к отходам производства МПР РФ : письмо Министерства природных ресурсов и экологии РФ №05-12-44/21713 от 06.11.2013 г.

9. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. М., 2006.

10. Грачев А. Н., Пушкин С. А., Буренков С. В. и др. Термохимическая переработка иловых осадков сточных вод и применение биоугля // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2024. №52. С. 25–29. EDN: TEMXRX.

11. Шварцбург Я. Д., Калинина Е. В. Биоуголь – свойства и области применения // Химия. Экология. Урбанистика. 2022. Т. 1. С. 155–159. EDN: NZOGTS.

12. Годовой отчет о социальной и экологической ответственности. URL: <https://novogor.perm.ru/userfiles/files/Соотчеты%20и%20эколог.проекты/СОЮТЧЕТ%202019.pdf> (дата обращения: 13.08.2024).

13. Технология утилизации осадков сточных вод. URL: <https://synecogas.ru/utilizaciya-osadkov-stochnyh-vod-s-polucheniem-biouglya> (дата обращения: 13.08.2024).

14. Taoze L., Bangyu L., Wei Z. Nutrients and Heavy Metals in Biochar Produced by Sewage Sludge Pyrolysis: Its Application in Soil Amendment // Pol. J. Environ. Stud. 2014. Vol. 23, №1. P. 271–275.

15. Wang Z., Tian Q., Guo J. et al. Co-pyrolysis of sewage sludge/cotton stalks with K₂CO₃ for biochar production: Improved biochar porosity and reduced heavy metal leaching // Waste Manag. 2021. Vol. 135. P. 199–207. doi: 10.1016/j.wasman.2021.08.042 PMID: 34520992.

16. Wang X., Li C., Li Z. et al. Effect of pyrolysis temperature on characteristics, chemical speciation and risk evaluation of heavy metals in biochar derived from textile dyeing sludge // Ecotoxicol Environ Saf. 2019. Vol. 168. P. 45–52. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.10.022. PMID: 30384166.

17. Khanmohammadi Z., Afyuni M., Mosaddeghi M. R. Effect of pyrolysis temperature on chemical and physical properties of sewage sludge biochar // Waste Manag Res. 2015. Vol. 33 (3). P. 275–283. doi: 10.1177/0734242X14565210. PMID: 25595292.

18. Xia Y., Tang Y., Shih K., Li B. J. Enhanced phosphorus availability and heavy metal removal by chlorination during sewage sludge pyrolysis // Hazard Mater. 2020. Vol. 382. P. 121110. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121110. PMID: 31518771.

19. Li B., Ding S., Fan H., Ren Y. Experimental Investigation into the Effect of Pyrolysis on Chemical Forms of Heavy Metals in Sewage Sludge Biochar (SSB), with Brief Ecological Risk Assessment // Materials (Basel). 2021. Vol. 14 (2). P. 447. doi: 10.3390/ma14020447. PMID: 33477642.

20. Marcińczyk M., Ok Y. S., Oleszczuk P. From waste to fertilizer: Nutrient recovery from wastewater by pristine and engineered biochars // Chemosphere. 2022. Vol. 306. P. 135310. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.135310. PMID: 35714962.

21. Yang L., Zhao J., Huang Q. et al. Release behavior of fertilizers and heavy metals from iron-loaded sludge biochar in the aqueous environment // Environ Pollut. 2023. Vol. 334. P. 122163. doi: 10.1016/j.envpol.2023.122163. PMID: 37429492.



Об авторах

Светлана Александровна Кулакова — канд. геогр. наук, доц., Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия.

E-mail: kulakovasa@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2854-6414

SPIN-код: 2861-4630

Леонид Иванович Торопов — канд. хим. наук, доц., Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия.

E-mail: leontor2@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7967-5884

SPIN-код: 2584-8230

Андрей Яковлевич Баянкин — генеральный директор ООО «СИНЭКОГАЗ ТЕХНОЛОГИИ», Пермь, Россия.

E-mail: synecogas@gmail.com

112

S. A. Kulakova¹, L. I. Toropov¹, A. Ya. Bayankin²

THE POSSIBILITY OF USING THE REMAINING WASTEWATER FROM BIOLOGICAL TREATMENT PLANTS FOR THE PURPOSES OF GREEN CONSTRUCTION AND BIOLOGICAL RECLAMATION

¹ Perm State National Research University, Perm, Russia

² «Modern Pyrolysis Technologies», Perm, Russia

Received 18 September 2024

Accepted 14 November 2024

doi: 10.5922/vestniknat-2025-1-7

To cite this article: Kulakova S. A., Toropov L. I., Bayankin A. Ya., 2025, The possibility of using the remaining wastewater from biological treatment plants for the purposes of green construction and biological reclamation, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, №1. P. 103–113. doi: 10.5922/vestniknat-2025-1-7.

Various approaches to sewage sludge treatment are actively being implemented at municipal biological wastewater treatment facilities, including thermal utilization technologies such as pyrolysis. The biochar produced through this process is currently underutilized; however, it possesses the unique ability to absorb and effectively sequester CO₂ for centuries when incorporated into soil, simultaneously enhancing soil quality and promoting sustainable land use and development. The link between biomass and biochar represents one of the most effective strategies for addressing climate challenges. This triple positive effect makes biochar and its production technologies highly promising in the context of climate policy. As a result, a distinct field known as pyrogenic carbon capture and storage is now emerging.

Keywords: biochar, sewage sludge, pyrolysis toxic elements, sequestration of CO₂, maximum permissible concentrations, plant soil, biological reclamation, green construction



The authors

Dr Svetlana A. Kulakova, Associate Professor, Perm National Research University, Russia.

E-mail: kulakovasa@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2854-6414

SPIN-code: 2861-4630

Dr Leonid I. Toropov, Associate Professor, Perm National Research University, Russia.

E-mail: leontor2@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7967-5884

SPIN-code: 2584-8230

Andrey Ya. Bayankin, general director «SYNECOGAS Technologies», Perm, Russia.

E-mail: synecogas@gmail.com