

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОСНОВНЫХ ОТХОДОВ ЦБК ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ

Оксана Павловна Лысак, Андрей Валерьевич Епифанов

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета
промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

© Лысак О. П., Епифанов А. В., 2026

Автор-корреспондент: О. П. Лысак, e-mail: olysak@bk.ru

АННОТАЦИЯ

Рекультивация полигонов, выведенных из эксплуатации, требует применения инженерных материалов, обладающих стабильными физическими, сорбционными и фильтрационными свойствами, обеспечивающими долговременную изоляцию отходов и снижение техногенной нагрузки на окружающую среду. В последние годы возрастает интерес к использованию отходов целлюлозно-бумажной промышленности как перспективного сырья для формирования изоляционных и технических слоев, что связано с их доступностью, контролируемым химическим составом и частичным функциональным сходством с минеральными грунтами природного происхождения. Целью работы является исследование свойств основных видов отходов целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) и анализ их соответствия нормативным требованиям к материалам, применяемым для гидроизоляции полигонов. Рассмотрены наиболее распространенные отходы, образующиеся в процессах золообразования, каустизации, водоподготовки и механической очистки сточных вод, включая золу, песчаные фракции, мелкодисперсные минеральные осадки и продукты химических реакций известкования. В данной статье приведены сведения об основных физических свойствах отходов, их структуре и механизмах формирования. Практическая часть исследования включает лабораторное определение гранулометрического состава, коэффициентов фильтрации и плотности отходов с последующей оценкой их соответствия нормативным требованиям к материалам гидроизоляционных слоев. Отдельное внимание уделяется анализу водопроницаемости и способности материалов выполнять барьерные функции, что является ключевым критерием при выборе компонентов для рекультивации. Полученные результаты и обобщенные литературные данные позволяют предварительно оценить потенциал отходов ЦБК как компонентов инженерных слоев, а также определить перспективные направления дальнейших исследований — от оптимизации смесей до оценки долговременной стабильности техногрунтов.

Ключевые слова: отходы ЦБК, рекультивация, техногрунт, изоляционный слой, рекультивационное покрытие полигона

Для цитирования: Лысак О. П., Епифанов А. В. Исследование свойств основных отходов ЦБК для использования при рекультивации полигонов // Технология и энергетика. 2026. № 1 (1). С. 66–72. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_66-72

INVESTIGATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY WASTE CHARACTERISTICS FOR LANDFILL SITE REHABILITATION

Oksana Pavlovna Lysak, Andrey Valerievich Epifanov

Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: O. P. Lysak, e-mail: olysak@bk.ru

ABSTRACT

Landfill remediation requires the use of engineered materials with stable physical, sorption, and filtration properties to ensure long-term waste isolation and reduce the anthropogenic load on the environment. Recently, pulp and paper mill waste have gained attention as a viable raw material for creating isolation and structural layers in engineering applications, owing to their abundance, predictable chemical makeup, and certain functional parallels with natural mineral soils. This study aims to investigate the characteristics of key waste types generated by a pulp and paper mill (PPM) and assess their suitability against regulatory standards for landfill waterproofing. The most common waste generated in the processes of



ash formation, causticization, water treatment, and mechanical wastewater treatment have been considered. These include ash, sand fractions, fine-dispersed mineral sediments, and chemical reaction products from liming. This paper presents data on the key physical characteristics, structure, and formation mechanisms of the waste materials. The experimental work consists of laboratory tests to determine the waste's particle size distribution, permeability coefficients, and bulk density. The results are then evaluated against technical standards for landfill impervious layer. Special emphasis is placed on assessing the materials' permeability and their efficacy as hydraulic barriers — key selection criteria for remediation layer components. Based on the experimental results and a synthesis of published data, the potential of PPM wastes as engineered layer constituents can be preliminarily evaluated. Key future research avenues are also defined, ranging from optimizing composite blends to assessing the long-term performance of resulting technogenic soils.

Keywords: pulp and paper mill waste, remediation, technogenic soil, insulating layer, landfill biocover system

For citation: Lysak O. P., Epifanov A. V. (2026) Investigation of pulp and paper industry waste characteristics for landfill site rehabilitation, *Technology and Energy*, 2026, vol. 1, no. 1, pp. 66–72, DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_66-72

ВВЕДЕНИЕ

Рекультивация объектов размещения отходов является ключевым этапом их вывода из эксплуатации, она направлена на минимизацию миграции загрязняющих веществ в окружающую среду и на восстановление природно-хозяйственного потенциала территории. Нормативно-методическая база, в частности ИТС 17–2024 «Размещение отходов производства и потребления» [1], требует обеспечить верхнее изоляционное покрытие для исключения инфильтрации осадков, предотвращения ветровой и водной эрозии поверхности объекта размещения отходов, а также для создания условий для последующей биологической рекультивации.

Экономический и экологический подход заключается в использовании промышленных отходов как

компонентов техногрунта, что позволяет сократить закупку природных материалов и утилизировать накопленные отходы. В данной работе проведена оценка физических и фильтрационных характеристик основных отходов ЦБК, потенциально пригодных для применения в изоляционных и рекультивационных покрытиях полигона.

Актуальность исследования обусловлена растущими объемами отходов целлюлозно-бумажной промышленности, требующими экологически безопасной утилизации [10, 11, 12]. Современные исследования подтверждают, что отходы лесной промышленности и деревообработки могут эффективно применяться как компоненты технических слоев при рекультивации нарушенных земель [13, 15].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В практике рекультивации полигонов в основном применяются следующие виды изоляционных покрытий: природные материалы (глины, суглинки, песчаные грунты, обладающие низкой фильтрационной способностью и хорошей пластичностью), искусственные материалы (геомембраны, бентонитовые маты и покрытия на основе композиционных материалов, обеспечивающие практически полную герметичность), промышленные отходы (золы, шлаки, известковые и щелочные осадки, которые при соответствующей подготовке могут выполнять функции грунтовых слоев).

Выбор материала для верхнего изоляционного покрытия определяется его способностью выполнять основные функции конструкции: предотвращать инфильтрацию атмосферных осадков в тело полигона, снижать миграцию загрязняющих веществ в грунтовые воды, защищать поверхность от ветровой и водной эрозии, обеспечивать устойчивость массива, создавать условия для укоренения растительности на этапе биологической рекультивации. Эти требования закреплены в ИТС 17–2024 «Размещение

отходов производства и потребления» и санитарных нормативах [1]. В них также указано, что толщина изолирующего слоя должна составлять не менее 2 м, включая защитный слой толщиной около 0,5 м.

Наряду с использованием природных грунтов в последние годы все чаще применяется альтернативный подход: использование промышленных отходов в качестве компонентов техногрунтов. Такой метод позволяет существенно снизить расходы на природные ресурсы и одновременно утилизировать накопленные отходы, что делает его экономически и экологически целесообразным [13, 15].

Для практической реализации данного подхода необходимо учитывать физические свойства используемых материалов. Назовем основные требования к техногрунтам:

- гранулометрический состав: 70 % частиц ≤ 10 мм и 30 % > 10 мм [2];
- коэффициент фильтрации (Кф): 0,005–5 м/сут [3];
- насыпная плотность: 1,25–1,6 г/см³ [4];
- влажность: 12–22 % [5].



Эти параметры обеспечивают стабильность покрытия и достаточную водоудерживающую способность.

Отходы ЦБК являются перспективными материалами для формирования техногрунта из-за содержания в них минеральных и органических компонентов. Минеральная часть представлена золой древесного топлива, осадками гашения извести, песчаными фракциями и химически осажденным мелом, которые обеспечивают плотность, структурную устойчивость и низкую фильтрацию. Органическая часть формируется преимущественно осадками водоподготовки (речным илом) и частично отходами каустизации зеленого щелока.

При работе ЦБК образуется широкий спектр побочных продуктов — минеральных, органических и смешанных. Наиболее распространенные отходы, рассматриваемые в качестве потенциальных компонентов при рекультивации полигонов [1, 6, 7]:

- зола от сжигания древесных отходов. В состав может входить: зола, несгоревшие частицы древесины, минеральные примеси. Как правило, твердое (порошкообразное, мелкодисперсное) вещество, темно-серого цвета;
- осадок гашения извести. Может содержать воду, кальций (в соединениях), а также соединения кремния, натрия, железа, марганца магния;
- мел химически осажденный. В основном содержит карбонаты кальция и магния;
- песок от процесса сжигания в многотопливном котле древесного биотоплива. В состав, как правило, входят: соединения алюминия, железа, кальция, калия, диоксид кремния;
- отходы водоподготовки (речной ил). В состав могут входить: соединения кремния, алюминия, органические вещества природного происхождения, вода;
- отходы каустизации зеленого щелока. В состав могут входить: гидроксид кальция, карбонат кальция, сульфат кальция, сульфид кальция, хлорид кальция, оксиды металлов, органические соединения (остатки лигнина, гемицеллюлозы, смолы), вода.

Перед использованием отходов рекомендуется провести анализ их состава на соответствие экологическим нормам.

В научной литературе также рассматриваются возможности применения растительных и древесных отходов в качестве экологичных строительных и изоляционных материалов, что подтверждает перспективность использования побочных продуктов лесной отрасли [14, 17].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для оценки пригодности отходов в качестве компонентов техногрунта были проведены лабораторные исследования гранулометрического состава, коэффициента фильтрации, влажности и насыпной плотности.

Гранулометрический состав определяли методом сухого просеивания по ГОСТ 12536 [8], с применением сит размерами 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,4; 0,2; 0,14 мм. Согласно ГОСТ 12536–2014, стандартный набор сит включает фракции 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм. Фракции были условно разделены на 3 группы:

- частицы > 0,2 мм — песчаная фракция;
- частицы 0,14–0,2 мм — пылеватая фракция;
- частицы < 0,14 мм — глинистая фракция.

Также в разделе результатов приведен наиболее характерный размер частиц по каждому отходу, а в таблице 2 — доля частиц < 10 мм, указанная в процентах.

Коэффициент фильтрации (Kf) определяли по методике [20] из-за отсутствия специализированного фильтрационного прибора, предусмотренного ГОСТ 25584–2016 [9]. Поэтому полученные значения коэффициентов фильтрации носят ориентировочный характер. Измерения проводили троекратно, при расхождении данных выполняли повторные исследования. Влажность определяли с использованием автоматизированного прибора «галоге́нный влагомер». Насыпную плотность измеряли по ГОСТ 5180–2015 [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения гранулометрического состава представлены в таблице 1.

Мел химически осажденный и зола характеризуются заметной долей частиц до 0,14 мм, что повышает их водоудерживающую способность и способствует уплотнению смеси при формировании массива. В то же время мел химически осажденный имеет смешанный дисперсный состав, т. к. содержит в относительно равных пропорциях все определенные фракции.

Песок от процесса сжигания в многотопливном котле практически полностью состоит из частиц крупного размера (> 0,2 мм), что соответствует крупнозернистому составу и обуславливает высокую фильтрационную способность материала. По этой причине он не может использоваться как самостоятельный изоляционный компонент, но может выполнять функцию дренирующей добавки.



Таблица 1. Результаты определения гранулометрического состава отходов

Table 1. Grain-size distribution analysis results of waste

№	Название отхода	Доля < 0,14 мм, %	0,14–0,2 мм, %	> 0,2 мм, %
1	Зола от сжигания древесного топлива	80–90	10–20	0
2	Осадок гашения извести	4	3,5	92,5
3	Песок от процесса сжигания в многотопливном котле древесного биотоплива	0,05	0,06	99,89
4	Отходы водоподготовки (речной ил)	1,65	3,85	94,5
5	Отходы каустизации зеленого щелока	9	6	85
6	Мел химически осажденный	33	22	45

Таблица 2. Результаты лабораторных исследований отходов

Table 2. Laboratory analysis results of waste

Показатель	Kf, м/сут	Насыпная плотность, г/см ³	Влажность, %	Доля частиц < 10 мм, %
Зола от сжигания древесины	0,59	0,215	1	0
Осадок гашения извести	6,71	1,476	7,8	40,85
Мел химически осажденный	2,16	1,021	32,6	0
Песок от процесса сжигания в многотопливном котле древесного биотоплива	18,21	1,32	0,23	0
Отходы водоподготовки (речной ил)	3,74	0,771	86,7	0
Отходы каустизации зеленого щелока	14,52	0,214	70	0
Требования [2]–[5]:	0,005–0,05	1,25–1,6	12–22	70

Анализ коэффициентов фильтрации показывает, что материалы с преобладанием более крупных частиц (песок от процесса сжигания биотоплива, отходы каустизации зеленого щелока) характеризуются высоким коэффициентом фильтрации, тогда как более мелкодисперсные материалы (зола от сжигания древесного топлива, мел химически осажденный) имеют более низкие значения коэффициента фильтрации.

Влажность исследованных отходов принимает максимальные значения для отходов водоподготовки и отходов каустизации зеленого щелока. Мел химически осажденный и осадок гашения извести обладают умеренной влажностью, зола и песок характеризуются минимальными значениями данного показателя. Указанные различия необходимо учитывать при подборе состава техногрунта, чтобы обеспечить требуемый баланс между водоудерживающими и структурными компонентами.

Насыпная плотность исследованных отходов существенно различается и варьирует от 0,215 до 1,476 г/см³. Согласно инженерно-геологическим требованиям к материалам, используемым для формирования изоляционных слоев техногрунта (ориентировочные значения 1,25–1,6 г/см³ для уплотняемых минеральных грунтов), только осадок гашения извести и мел химически осажденный (после уплотнения) приближаются к необходимым значениям [4].

Зола и иловые осадки вследствие низкой насыпной плотности относятся к рыхлым материалам, что ограничивает возможность их самостоятельного использования в минеральных изоляционных слоях, однако допускает применение в качестве корректирующих или водоудерживающих добавок. Песок обладает удовлетворительной насыпной плотностью, но его гранулометрический состав существенно ограничивает использование: более 99 % частиц имеют размер свыше 0,2 мм. Такой крупноразмерный материал характеризуется высокой водопроницаемостью, что подтверждается максимальным значением среди исследованных коэффициентов фильтрации. В связи с этим песок не может применяться в качестве самостоятельного компонента изоляционного техногрунта, но допускается его дозированное введение в малых количествах для корректировки структуры техногрунта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление полученных лабораторных данных с инженерными требованиями к материалам изоляционного слоя — Kf=0,005–0,5 м/сут, насыпная плотность 1,25–1,6 г/см³, влажность 12–22 %, доля частиц < 10 мм около 70 % — позволило выделить специфику каждого исследованного отхода [2]–[5].

Зола от сжигания древесного топлива характеризуется низкой насыпной плотностью 0,215 г/см³, минимальной



влажностью 1% и отсутствием мелких частиц. Коэффициент фильтрации 0,59 м/сут превышает верхнюю границу требуемых значений. Материал является слишком рыхлым и обладает повышенной водопроницаемостью, что исключает его применение как основного компонента изоляционного слоя, но допускает использование в малых дозах в качестве корректирующей минеральной добавки.

Осадок гашения извести имеет плотность 1,476 г/см³, что соответствует нормативам для техногрунтов. Коэффициент фильтрации 6,71 м/сут превышает норматив, однако высокая плотность и значительная доля частиц < 10 мм делают этот материал наиболее стабильным минеральным компонентом. Может рассматриваться как структурная основа смеси при условии снижения водопроницаемости.

Мел химически осажденный обладает умеренной влажностью 32,6% и удовлетворительной плотностью 1,021 г/см³. Коэффициент фильтрации 2,16 м/сут выше требуемых значений, однако мелкодисперсная фракция способствует уплотнению смеси. Может применяться как водоудерживающий и структурирующий компонент.

Песок от процесса сжигания древесного биотоплива имеет плотность 1,32 г/см³, соответствующую нормативам, однако коэффициент фильтрации 18,21 м/сут и крупный гранулометрический состав (частицы 0,63–2,5 мм) указывают на крайне высокую водопроницаемость. Материал может быть использован только дозированно как дренирующая добавка, поскольку не способен обеспечить барьерные свойства.

Осадки водоподготовки (речной ил) обладают экстремально высокой влажностью 86,7% и низкой плотностью 0,771 г/см³. Коэффициент фильтрации 3,74 м/сут превышает норматив. Материал не подходит для применения в качестве самостоятельного компонента изоляционных слоев, но может использоваться в очень ограниченных количествах в качестве органоминеральной добавки.

Отходы каустизации зеленого щелока имеют очень высокую фильтрацию 14,52 м/сут, низкую плотность 0,214 г/см³ и щелочную реакцию, что требует предварительной химической нейтрализации. Материал не соответствует требованиям техногрунтов ни по одному из показателей.

В целом ни один из исследованных отходов не удовлетворяет всем требованиям к изоляционному слою. Однако несколько материалов — осадок гашения извести, мел химически осажденный и зола — обладают

характеристиками, которые при совместном использовании могут обеспечить нужную плотность и дисперсность смеси. Песок, иловые осадки и продукты каустизации допустимо применять только дозированно и исключительно как вспомогательные компоненты.

Перспективность использования отходов ЦБК и лесной промышленности для формирования инженерных слоев подтверждается современными исследованиями, свидетельствующими об их удовлетворительных физико-механических характеристиках, экологичности и технологической доступности [10]–[19].

Список литературы

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 17–2024. Размещение отходов производства и потребления. М.: Бюро НДТ, 2024. 198 с.
2. ТУ 39.00.11-007-53898886-2023. Грунт техногенный строительный «ГТС». М., 2023. 15 с.
3. Коэффициент фильтрации грунтов: таблицы и методика расчета: [сайт]. URL: <https://xn--e1aaitdso4b.xn--p1ai/articles/koeffitsient-filtratsii-gruntov-tablitsy> (дата обращения: 28.10.2025).
4. Инженерный справочник: [сайт]. Москва, 2006. URL: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsDensity/DensityTable/?ysclid=mcvobifvk1714484401> (дата обращения: 05.10.2025).
5. GeologyLab: [сайт]. Москва, 2013. URL: <https://geologylab.ru/stati/vlazhnost-grunta> (дата обращения: 05.10.2025).
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 29 мая 2025 г. № 781 «О внесении изменений в Правила обращения с отходами производства и потребления». М., 2025.
7. ГОСТ Р 56847–2015. Процессы производства целлюлозы. Нормативы образования отходов: национальный стандарт Российской Федерации: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2015 г. № 2235-ст: введен впервые 2016 07–01; ОАО «Группа Илим». Москва: Стандартинформ, 2016. 16 с.
8. ГОСТ 12536–2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2014 г. № 2022-ст: дата введения 2015 07–01 ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве». Москва: Стандартинформ, 2015. 23 с.
9. ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому



- регулированию и метрологии от 3 ноября 2015 г. № 1694-ст: введен в действие: дата введения 22.07.2015 ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве». Москва: Стандартинформ, 2019. 23 с.
10. Бердиева М. Т., Абдагалиев Ш. Ж., Оросахунова С. К. Рациональное использование отходов лесной промышленности // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2021. № 4. С. 161–163.
 11. Суворова Ю. А., Галаюра В. С. Перспективные технологии утилизации древесных отходов / Тамбовский государственный технический университет. 2022. С. 203–205.
 12. Самбетбаева А. К., Курманбекова Э. Б., Шалтабаева С. Т. Перспективные направления утилизации отходов сельского хозяйства и лесозаготовок // Разработка энергоресурсосберегающих и экологически безопасных технологий лесопромышленного комплекса: материалы Международной научной конференции ученых и студентов. Воронеж, 28 сентября 2022 г. С. 93–98. DOI: 10.58168.DESEFTTI2022_93–98.
 13. Попик В. А. Утилизация отходов деревоперерабатывающих производств / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова. 2023. С. 33–36.
 14. Золотарев А. С. Разработка современных экологических теплоизоляционных материалов на основе переработки отходов растениеводства // Научный журнал молодых ученых ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. 2022. № 5. / С. 45–50.
 15. Плотников Н. П., Челышев И. Н. Пути утилизации отходов деревообрабатывающих производств // Труды Братского гос. ун-та. Сер. Естественные и инженерные науки. 2021. Т. 1. С. 97–99.
 16. Николаева А. Г., Смородин С. Н. Исследование теплотехнических характеристик отходов целлюлозно-бумажных предприятий. СПб.: Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, 2020. С. 58–63.
 17. Питель Т. С., Золотарев А. С. Разработка современных экологических строительных материалов на основе рециклинга растительных отходов. 2022. С. 215–222.
 18. Барнаханова К. Т., Усупов М. М. Использование отходов кожевенного производства и древесины / Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати. 2023. С. 144–148.
 19. Хабибова А. К., Мамедова А. М. Получение цементопилочных плит на основе отходов переработки древесины / Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности. 2021. С. 359–364.
 20. Гилев В. Ю., Горохова С. М. Физические и водно-физические свойства почв: уч.-мет. пособие. Пермь: Прокрость, 2024. 75 с. ISBN 978-5-94279-635-8.
 21. TU 39.00.11-007-53898886-2023. Man-made construction soil “GTS”. Moscow, 2023. 15 p.
 22. Soil filtration coefficient: tables and calculation methods [website]. URL: <https://xn--e1aaitsdo4b.xn--p1ai/articles/koeffitsient-filtratsii-gruntov-tablitsy> (accessed: 28.10.2025).
 23. Engineering reference book: [website]. Moscow, 2006. URL: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsDensity/DensityTable/?ysclid=mcvobifvk1714484401> (accessed October 5, 2025).
 24. GeologyLab: [website]. Moscow, 2013. URL: <https://geologylab.ru/stati/vlazhnost-grunta> (accessed on October 5, 2025).
 25. Resolution of the Government of the Russian Federation of May 29, 2025 No. 781 “On Amendments to the Rules for Handling Production and Consumption Waste.” Moscow, 2025.
 26. GOST R 56847–2015. Cellulose Production Processes. Waste generation standards: national standard of the Russian Federation: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 29, 2015. No. 2235-st: introduced for the first time on 2016 07–01; OJSC Ilim Group. Moscow: Standartinform, 2016. 16 p.
 27. GOST 12536–2014. Soils. Methods for laboratory determination of particle size (grain) and microaggregate composition: interstate standard: official publication: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 12, 2014 No. 2022-st: introduction date 2015 07–01 OJSC Production and Research Institute for Engineering Surveys in Construction. Moscow: Standartinform, 2015. 23 p.
 28. GOST 5180–2015. Soils. Methods for laboratory determination of physical characteristics: interstate standard: official publication: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 3, 2015 No. 1694-st: put into effect: date of introduction 07/22/2015 JSC “Production and Research Institute for Engineering Surveys in Construction”. Moscow: Standartinform, 2019. 23 p.
 29. Berdieva M. T., Abdagaliyev Sh. Zh., Orosakhunova S. K. Rational use of forest industry waste // Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan. 2021. No. 4. pp. 161–163.
 30. Suvorova Yu. A., Galayura V. S. Promising Technologies for Wood Waste Utilization / Tambov State Technical University. 2022. Pp. 203–205.
 31. Sambetbaeva A. K., Kurmanbekova E. B., Shaltabaeva S. T. Promising Directions for Agricultural and Logging Waste Utilization. *Development of Energy-Saving and Environmentally Safe Technologies for the Forestry Complex*: Proceedings of the International Scientific Conference of Scientists and Students. Voronezh, September 28, 2022. pp. 93–98. DOI: 10.58168.DESEFTTI2022_93–98.
 32. Popik V. A. Waste Utilization from Wood Processing Industries / St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov. 2023. Pp. 33–36.

References

1. Information and technical reference book on the best available technologies ITS 17–2024. Production and consumption waste disposal. Moscow: NDT Bureau, 2024. 198 p.



14. Zolotarev A. S. Development of modern environmentally friendly thermal insulation materials based on the processing of plant waste // Scientific journal of young scientists of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Oryol State Agrarian University. 2022. No. 5. Pp. 45–50.
15. Plotnikov N. P., Chelyshev I. N. Ways of recycling wood-working waste // Transactions of Bratsk State University. Series: Natural and engineering sciences. 2021. Vol. 1. Pp. 97–99.
16. Nikolaeva A. G., Smorodin S. N. Study of thermal characteristics of pulp and paper mill waste. St. Petersburg: Higher School of Technology and Energy SPBUGPTD, 2020. Pp. 58–63.
17. Pitel T. S., Zolotarev A. S. Development of modern environmentally friendly building materials based on the recycling of plant waste. 2022. Pp. 215–222.
18. Barnakhanova K. T., Usupov M. M. Use of tannery and wood waste / Taraz Regional University named after M. H. Dulati. 2023. Pp. 144–148.
19. Khabibova A. K., Mamedova A. M. Production of cement-sawdust boards based on wood processing waste / Azerbaijan State University of Oil and Industry. 2021. Pp. 359–364.
20. Gilev V. Yu., Gorokhova S. M. Physical and water-physical properties of soils: teaching aid. Perm: Prokrost, 2024. 75 p. ISBN 978-5-94279-635-8.

■ Информация об авторах

Лысак Оксана Павловна, студентка Института технологии Высшей школы технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет технологий и дизайна, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; ORCID: 0009-0001-5676-112X, e-mail: olysak@bk.ru.

Епифанов Андрей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет технологий и дизайна; ORCID: 0000-0002-3429-9835; SPIN-код: 713846; AuthorID: 57197813774; e-mail: epifandr@yandex.ru.

■ Information about the authors

Lysak Oksana Pavlovna, student of the Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, St. Petersburg, 198095; ORCID: 0009-0001-5676-112X, e-mail: olysak@bk.ru.

Epifanov Andrey Valeryevich, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Environmental Protection and Sustainable Natural Resource Management of the Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, St. Petersburg, 198095; ORCID: 0000-0002-3429-9835; SPIN-code: 713846; AuthorID: 57197813774; e-mail: epifandr@yandex.ru.

