

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ СМЕСЕЙ СКОПА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОТХОДОВ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

В.А. ЕМЕЛЬЯНОВА

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0507-0206>

канд. техн. наук, доц. А.А. ЕРМАК

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4398-1796>,

(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

Представлен обзор литературы по проблеме способов утилизации скопа очистных сооружений, выявлены перспективные способы его утилизации. Рассмотрен состав скопа очистных сооружений ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод “Альбертин”», а также состав золы после прокаливания скопа. Изучены образцы скопа, древесных опилок и их смесей с различным содержанием скопа. Получены кривые дифференциального термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии скопа, древесных опилок и их смесей. Определена зависимость изменений потери массы образцов скопа, древесных опилок и их смесей при нагревании до 900 °С в воздушной среде от содержания скопа в смеси. Отмечена зависимость тепловых характеристик образцов скопа, древесных опилок и их смесей.

Ключевые слова: отходы очистных сооружений, скоп, утилизация скопа, термогравиметрический анализ, древесные опилки.

Введение. Очистка сточных вод – важный аспект современных промышленных процессов, направленных на охрану здоровья населения и защиту окружающей среды. В этом контексте обращение с осадком – побочным продуктом очистки сточных вод, имеет большое значение.

Обработка осадков является одной из наиболее технологически сложных и самой дорогостоящей частью очистных комплексов, включающей в себя максимальное снижение влажности и объема осадков, их стабилизацию и обеззараживание [1].

Технологический процесс производства картонно-бумажной продукции состоит из нескольких этапов. Он начинается с подготовки макулатурной массы, т.е. роспуска в гидроразбивателе с извлечением отходов синтетических полимеров и последующей сортировки для выделения мелких фракций полимеров, металлических включений и других загрязнений. Затем очищенная макулатурная масса подается на бумагоделательную машину, где происходит формовка, проклейка, сушка, накат и отделка готового бумажного полотна. В процессе формования бумажной массы и промывки оборудования образуется сток, а при его очистке – большое количество скопа, состоящего на 90% из макулатурного волокна и на 10% из механических примесей [2].

Скоп, содержащий смесь органических и неорганических материалов, представляет собой проблему при утилизации из-за его потенциального воздействия на окружающую среду. Поиск экологически безопасных способов утилизации скопа на сегодня является актуальной темой.

Основная часть. Обзор существующих методик способов утилизации скопа очистных сооружений. На основании анализа научно-технической информации можно выделить следующие способы переработки и обезвреживания скопа (рисунок 1):

1. **Анаэробное сбраживание.** Данный процесс позволяет эффективно разлагать органические вещества, включая целлюлозу, в бескислородных условиях. Целлюлоза в осадке расщепляется анаэробными микроорганизмами на биогаз – возобновляемый источник энергии, богатый метаном. Биогаз может быть использован для производства тепла и электроэнергии или преобразован в биометан для закачки в газовые сети или автомобильное топливо.

2. **Аэробное компостирование.** Учитывая, что скоп в основном состоит из органических компонентов с небольшим количеством биогенных элементов, его можно потенциально перерабатывать через полевое компостирование в буртах или жомовых ямах. Однако скоп содержит ограниченное количество биогенных компонентов, поэтому рекомендуется его компостировать вместе с биоразлагаемыми отходами, такими как кородревесные отходы, которые образуются при обработке древесины на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности. Кородревесные отходы также содержат азот, который является важным питательным элементом для растений. Кроме того, процесс компостирования можно усилить путем внесения минеральных и органических удобрений [2].

3. **Использование при производстве строительных материалов.** Скоп может быть использован как добавка в производстве вспученных обожженных глиняных заполнителей – керамзита и аглопорита. Известна технология производства теплоизоляционного материала, при которой скоп использовали в двух вариантах: как наполнитель в теплоизоляционном материале на основе минерального вяжущего и как самостоятельное вяжущее вещество с наполнителем в виде зернистых пористых материалов. Скоп может быть использован как ком-

понент бетонной смеси, повышающий ее удобоукладываемость; как выгорающая добавка в производстве керамического кирпича, при получении сухой гипсовой штукатурки, а также в качестве добавки к смеси для изоляционных плит, в производстве строительных блоков и отделочных материалов. Преимуществом использования скопа заключается в возможности экономии первичных ресурсов [3].



Рисунок 1. – Способы утилизации целлюлозосодержащего скопа очистных сооружений

4. *Пиролиз* включает в себя нагревание целлюлозосодержащего осадка при высоких температурах в отсутствие кислорода для получения биоугля, биотоплива и синтез-газа, которые могут быть использованы в качестве возобновляемого топлива или добавок к почве. Пиролиз предлагает потенциальное решение для преобразования насыщенного целлюлозой осадка в ценные продукты при одновременном снижении воздействия утилизации осадка на окружающую среду.

5. *Производство сорбентов.* Исследования в этой области в основном сосредоточены на целлюлозосодержащих компонентах растительной биомассы и отходах от их переработки, особенно интересными являются остатки от древесной промышленности. В научной литературе широко представлены работы, посвященные использованию таких материалов для удаления различных загрязнителей из водных сред, включая нефтепродукты, красители и другие промышленные отходы. Одним из значимых преимуществ использования этих материалов является их массовое образование и относительная доступность. Однако следует учитывать проблемы, связанные с их хранением, т.к. они могут подвергаться возгоранию или разложению.

Поскольку скоп обладает сорбционными свойствами, возможно его использование для производства сорбционных изделий. Для придания сорбенту антибактериальных свойств и снижения горючести рекомендуется использовать различные добавки (например, буру, антипирен и др.) [4].

6. *Термическое обезвреживание.* Сжигание позволяет обеспечить стопроцентное обеззараживание осадка и эффективное использование теплоты сгорания органики для получения энергии. Ограничение вывоза органических веществ на полигоны ТБО стимулирует или обязывает предприятия канализационно-водопроводного хозяйства сжигать осадок при невозможности его утилизации другим методом [5]. Скоп, который прошел обезвреживание на вакуум-филтрах, может быть подвергнут термическому обезвреживанию путем сжигания в различных типах печей. В результате получается зольный остаток, а выделяющееся тепло может быть использовано в промышленных процессах. Учитывая высокую зольность и повышенную влажность скопа, наиболее эффективно его сжигать вместе с кордревесными отходами, образующимися при обработке древесины. Полученная топливная смесь может подаваться на обезвреживание навалом либо использоваться для производства топливных брикетов [2].

7. *Химическая обработка.* Химические методы обработки могут быть использованы для улучшения расщепления целлюлозы и обезвреживания осадка. Добавление химических веществ, таких как известь или

перекись водорода, будет способствовать разложению целлюлозы и высвобождению воды из матрицы осадка. Химическая обработка также может помочь в удалении загрязняющих веществ и улучшить качество конечного продукта для повторного использования или утилизации.

На основании выполненных теоретических исследований, с учетом экологических, экономических и технологических критериев наиболее оптимальным методом обращения с скопом является его термическое обезвреживание с последующим получением тепловой энергии и зольного остатка, который в дальнейшем может быть использован в качестве добавки к органоминеральному удобрению или строительным материалам.

Таким образом, понимание свойств осадка и изучение стратегий устойчивого использования имеют решающее значение для эффективной работы очистных сооружений.

Исследовательская часть. В качестве объекта исследований использовался скоп с очистных сооружений ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин»».

Скоп, образующийся после очистки стоков с содержанием взвешенных веществ, состоит из 61,57% влаги и 38,43% сухого вещества, который в свою очередь состоит из 67,9% органического вещества, 0,97% азота, 0,55% фосфора и 0,07% калия. Также в состав скопа входят кадмий, медь, мышьяк, ртуть, свинец и цинк.

Неорганический остаток после прокаливания образца скопа имеет следующий химический состав, % масс.: SiO_2 – 3,470; CaO – 2,040; Fe_2O_3 – 0,294; P_2O_5 – 0,128; Al_2O_3 – 2,220; Na_2O – 0,734; K_2O – 0,273; TiO_2 – 0,107; MgO – 0,735; SO_3 – 0,707; Cl_2 – 0,263. Потери при прокаливании составляют 88,96% и относятся к органогенным элементам целлюлозы – С, О и Н. Следовательно, количество минеральных примесей в образце целлюлозы составляет 11,04% масс. Особенностью скопа ОАО «Слонимский картонно-бумажный комбинат «Альбертин»» является невысокое содержание в его химическом составе каолина, являющегося антикоагулянтном.

Термогравиметрический анализ образцов скопа, древесных опилок, смесь древесных опилок с 5% масс. и 7,5% масс. скопа проводился при помощи термогравиметрического анализатора LR-TGA101. Результаты проведенных анализов представлены на рисунках 2–4.

Потеря массы исходного высушенного скопа (рисунок 2) составила 56,04% масс. В области от 200 °С до 800 °С наблюдается 3 пика потери массы. Первый пик (экзотермический эффект) с наибольшей удельной энтальпией для скопа воздушно-сушенного равен 339 °С, энтальпия 374,92 Дж/г. Второй пик (экзотермический эффект) равен 455,6 °С, энтальпия 324,2 Дж/г. Третий пик (эндотермический эффект) для исходного скопа равен 766 °С, энтальпия 7,56 Дж/г.

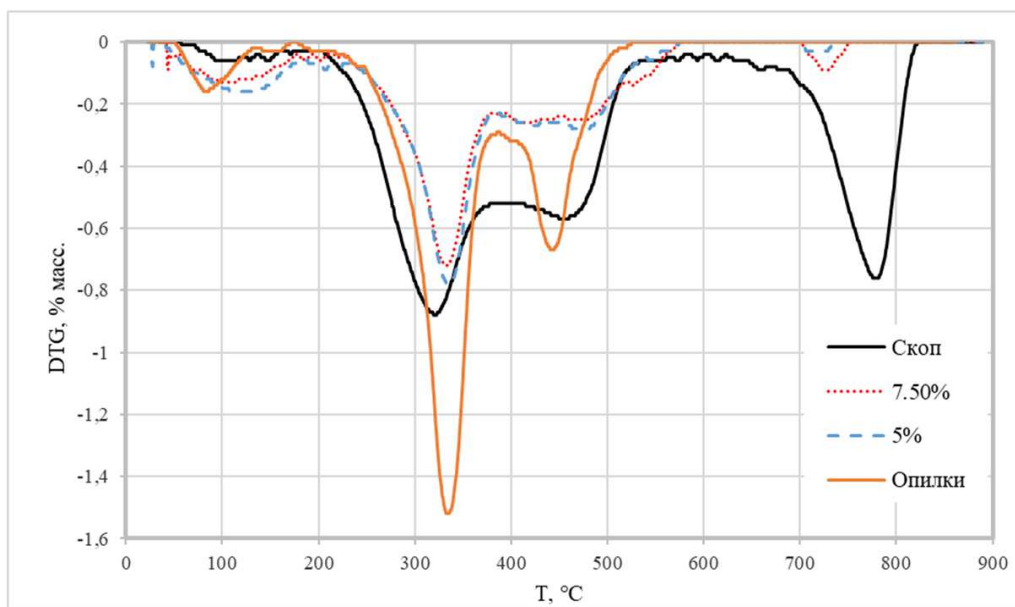


Рисунок 2. – Кривые дифференциального термогравиметрического анализа скопа, древесных опилок и их смесей

Потеря массы смеси опилок и скопа (5% масс) (рисунок 3) при нагревании в воздушной среде составила 77,43% масс. На кривых термогравиметрического анализа наблюдается три равновеликих пика с температурами 343,7 °С, 411,1 °С и 475,2 °С при энтальпиях порядка 474,5 Дж/г. Первая часть пика объясняется сгоранием органического вещества древесины и органической части скопа, но в отличие от чистых опилок его скорость сгорания при увеличении температуры снизилось

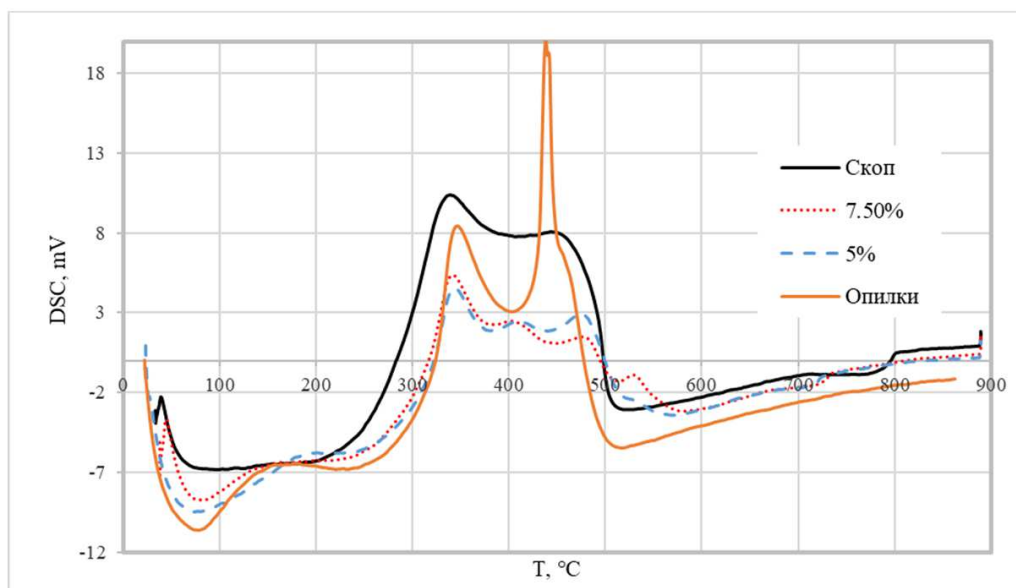


Рисунок 3. – Результаты дифференциальной сканирующей калориметрии скопа, древесных опилок и их смесей

Потеря массы смеси опилок и скопа (7,5% масс) (рисунок 4) при нагревании в воздушной среде составила 78,49% масс. На кривых термогравиметрического анализа наблюдается три пика с температурами 341,1 °C и энтальпией 588,33 Дж/г, а также менее выраженные пики на температурах 403,1 °C и 476,9 °C с энтальпиями порядка 306,9 Дж/г и один пик (слабо выраженная эндотермический эффект) с температурой 713,8 °C с энтальпией 4,1302 Дж/г. Второй пик объясняется появлением в смеси карбонатов.

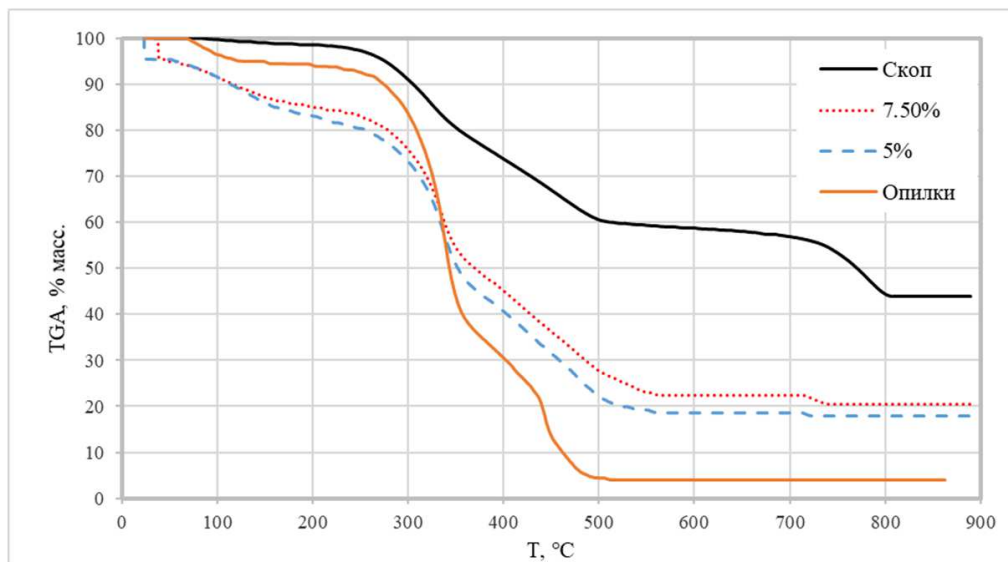


Рисунок 4. – Результаты интегрального термогравиметрического анализа скопа, древесных опилок и их смесей

До температуры примерно 280 °C веден эндотермический эффект, когда происходит полное испарение несвязанной воды из смеси, после 280 °C – небольшие пики у смесей чистого воздушно-сушеного скопа и скопосодержащих смесей. Вероятно, имеет место термическое разложение (пиролиз) биомассы, которое начинается при температуре 150 °C (температура самовоспламенения находится около 330 °C). Остальная часть графика в виде основного пика – это сгорание органической части скопа и опилок при температурах около 350–500 °C.

Таким образом, после проведения термогравиметрического анализа можно сделать вывод, что с увеличением концентрации скопа полнота сгорания смеси снижается, при этом более существенный эффект появляется при концентрации скопа более 10% масс.

Заключение. Перспективными способами утилизации скопа является его переработка путем термодеструкции с целью дальнейшего использования в качестве компонента твердых топлив. Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, свидетельствуют о том, что при добавлении целлюлозосодержащего скопа к древесным опилкам не наблюдается искомым синергетических тепловых эффектов. Использование данного конкретного скопа в пеллетах бесперспективно, т.к. его зольность значительно выше, чем у аналогичных скопов на других заводах. Очевидно, это обусловлено плохой фильтрацией песка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Холуденева А.О., Ефремова С.Ю. Снижение негативного влияния осадка сточных вод картонно-бумажного производства на почву // Плодородие. – 2021. – № 5. – С. 101–104. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.25
2. Ширинкина Е.С., Айтжанова У.М. Переработка скопа, образующегося в технологическом процессе картонно-бумажного производства // European science. – 2016. – № 2(12). – С. 13–16.
3. Баталин Б., Козлов И. Строительные материалы на основе скопа – отхода целлюлозно-бумажной промышленности // Строительные материалы. – 2004. – № 1. – С. 42–43.
4. Баталин Б., Козлов И. Скоп как сорбционно-активное вещество // Изв. выс. учеб. заведений. Стр.-во. – 2006. – № 2. – С. 37–40.
5. Дулькин Д. А. Утилизация осадков и макулатуры, не используемой в бумажном производстве // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2006. – № 9. – С. 50–55.

REFERENCES

1. Kholudeneva, A.O. & Efremova, S.Yu. (2021). Snizhenie negativnogo vliyaniya osadka stochnykh vod kartonno-bumazhnogo proizvodstva na pochvu [Reduction of Wastewater Sludge and their Negative Impact on the Soil]. *Plodorodie [Fertility]*, (5), 101–104. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.25 (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Shirinkina, E.S. & Aitzhanova, U.M. (2016). Pererabotka skopa, obrazuyushchegosya v tekhnologicheskom protsesse kartonno-bumazhnogo proizvodstva [Recovered stock recycling formed on pulp and paper organization]. *European science*, 2(12), 13–16. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Batalin, B. & Kozlov, I. (2004). Stroitel'nye materialy na osnove skopa – otkhoda tsellyulozno-bumazhnoi promyshlennosti. *Stroitel'nye materialy*, (1), 42–43. (In Russ.).
4. Batalin, B. & Kozlov, I. (2006). Skop kak sorbtionno-aktivnoe veshchestvo. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*, (2), 37–40. (In Russ.).
5. Dul'kin, D.A. (2006). Utilizatsiya osadkov i makulatury, ne ispol'zuemoi v bumazhnom proizvodstve. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, (9), 50–55. (In Russ.).

Поступила 15.01.2025

STUDY OF THE POSSIBILITY OF RECYCLING MIXTURES OF OSPREY TREATMENT PLANTS AND WOOD PROCESSING WASTE

V. YEMELYANOVA, A. YERMAK
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

A literary analysis of the methods of disposal of osprey of sewage treatment plants has been carried out, promising ways of its disposal have been identified. The composition of the osprey of the treatment facilities of JSC Slonim Cardboard and Paper Plant "Albertin" was considered, as well as the composition of ash after calcination of the osprey. Samples of osprey, sawdust and mixtures with different osprey content were studied. The curves of differential thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry of osprey, sawdust and their mixtures are obtained. The dependence of the change in mass loss of osprey samples, sawdust and their mixtures when heated to 900 ° C in air on the content of osprey in the mixture was determined. The dependence of the thermal characteristics of osprey samples, sawdust and their mixtures is shown.

Keywords: waste from sewage treatment plants, osprey, osprey disposal, thermogravimetric analysis, sawdust.