

DOI: 10.58168/E-SEFTFI2024\_203-207

УДК 543.544

**ПРИМЕНЕНИЕ БИОУГЛЯ НА ОСНОВЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД  
В ПРИРОДООХРАННЫХ ЦЕЛЯХ****APPLICATION OF BIOCHARS BASED ON SEWAGE SLUDGE FOR ENVIRONMENTAL  
PROTECTION PURPOSES**

**Ходосова Н.А.**, кандидат химических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Khodosova N.A.**, Candidate of Chemical Sciences, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Томина Е.В.**, доктор химических наук, заведующая кафедрой химии ФГБОУ ВО «Воронежский лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Tomina E.V.**, DSc in Chemistry, Head of the Department of Chemistry, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Мануковская В.Е.**, студентка ФГБОУ ВО «Воронежский лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Manukovskaya V.E.**, student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Ищенко Т.Л.**, кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Ishchenko T.L.**, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Аннотация.** Биоуголь, полученный из осадка сточных вод, считается одним из самых интересных конечных продуктов в экономике замкнутого цикла, основанной на сточных водах. В исследовании получены образцы биоугля, определены физико-химические и сорбционные характеристики полученного материала. Проведен сравнительный анализ характеристик биоуглей на основе осадков сточных вод и углей, полученных при карбонизации опилок древесины березы и сосны. Установлено, что биоугли, полученные на основе различных отходов (опилки древесных растений и осадок сточных вод) проявляют сопоставимые сорбционные способности в отношении органического красителя метиленового синего.

**Abstract.** Biochar obtained from sewage sludge is considered one of the most interesting end products in a closed-loop economy based on wastewater. In the study, biochar samples were obtained, physicochemical and sorption characteristics of the obtained material were determined. A comparative analysis of the characteristics of biochars based on sewage sludge and coals

obtained by carbonization of birch and pine sawdust was carried out. It was found that biochars obtained from various wastes (sawdust of woody plants and sewage sludge) exhibit comparable sorption capabilities with respect to the organic dye methylene blue.

**Ключевые слова:** осадок сточных вод, древесины березы, древесина сосны, сорбция, краситель метиленовый синий.

**Keywords:** sewage sludge, birch wood, pine wood, sorption, methylene blue dye.

Быстрый рост количества осадков сточных вод на очистных сооружениях является серьезной проблемой современности. Все более востребованными становятся рациональные и эффективные методы обработки и утилизации осадков [1]. Опыт исследователей показывает [2, 3] показывают, что осадок сточных вод пригоден для повторного использования, поскольку содержит набор органических веществ, различные отходы биомассы, содержащие микроэлементы. Утилизация осадка сточных вод включает два основных направления: органическая переработка, связанная с возможностью использования осадка сточных вод для удобрения, например, в сельском хозяйстве, и термическая обработка осадка, например, сжигание, пиролиз и др. для получения топлива и других материалов [2].

При переработке древесины ежегодно образуется значительное количество отходов, утилизация которых становится серьезной экологической проблемой, поскольку приводит к ухудшению состояния атмосферы, выбросам парниковых газов и уничтожению водных и органических продуктов. Использование отходов деревоперерабатывающей промышленности для получения новых углеродных сорбентов представляется удачным решением. Биоуголь является эффективным биосорбентом для множества загрязняющих веществ из сточных вод благодаря своим физико-химическим характеристикам и экономическим преимуществам. Таким образом, превращение осадка сточных вод и отходов лесопиления в новые ресурсы, позволяющие использовать данный материал как сорбент, является востребованной технологией, имеющей тенденции к распространению повсеместно.

Цель исследования состояла в получении образцов биоугля из осадков сточных вод, определении физико-химических и сорбционных характеристик, а также в сравнительном анализе с образцами биоуглей, полученными из опилок древесины березы и сосны.

Методика получения и предварительной модификации биоуглей, а также определения сорбционной способности описана в источнике [4]. Карбонизацию исходного сырья осуществляли в идентичных условиях.

Исследования показывают [5], что если загрязнитель имеет гидрофобные функциональные группы, например, метильные, то сорбция биоуглем будет протекать посредством гидрофобного взаимодействия. Чем выше температура пиролиза ( $> 500^{\circ}\text{C}$ ), тем выше гидрофобность и ароматичность биоугля, тем больше удельная площадь поверхности, и, таким образом, тем легче поглощать гидрофобные и неполярные органические загрязнители.

В ранее проведенных нами исследованиях [4] установлено, что карбонизация при 500<sup>0</sup>С позволяет достичь большего выхода продукта. Подъем температуры пиролиза до 600 °С способствует снижению содержания летучих веществ в биоугле и обогащению его связанным углеродом, а также приводит к увеличению рН биоугля значительно выше 7, вероятно, за счет обогащения не подвергающимися пиролизу неорганическими элементами, такими как калий и кальций. На основе результатов [4,6] карбонизация осадков сточных вод также осуществлялась при 500<sup>0</sup>С. При данной температуре выход продукта карбонизации составил 36% в случае березового угля, 25% для соснового биоугля и 65% при получении биоугля из осадков сточных вод.

Для образцов биоуглей определены физико-химические параметры (табл. 1).

Таблица 1 Физико-химические характеристики исходных и активированных биоуглей

Образец	Влажность, W, %	Насыпная плотность, г/л	рН
Б	4,3	141,48	7,1
Б+КОН	5,7	334,6	7,3
С	3,4	197,64	6,8
С+КОН	3,9	335,4	6,8
ОСВ	3,5	324,50	7,8
ОСВ+КОН	6,2	345,8	7,8
Примечание: Б, С, ОСВ – биоуголь береза, сосна, осадок сточных вод; Б, (С, ОСВ) +КОН – биоуголь, модифицированный раствором КОН			

Все исследуемые исходные образцы биоуглей имеют похожие значения влажности. Значение рН для образцов углей, полученных на основе древесных опилок, имеет близкую к нейтральному значению величину. Для образца ОСВ можно отметить сдвиг рН в щелочную область. Модификация раствором КОН способствует значительному увеличению насыпной плотности биоугля в 1,1-2,6 раза, так как приводит к получению материалов с большей удельной поверхностью и объемом микропор [7], данные РЭМ свидетельствуют, что модификация приводит к уменьшению размера частиц биоуглей.

Изотермы сорбции красителя метиленового синего представлены на рис. 1.

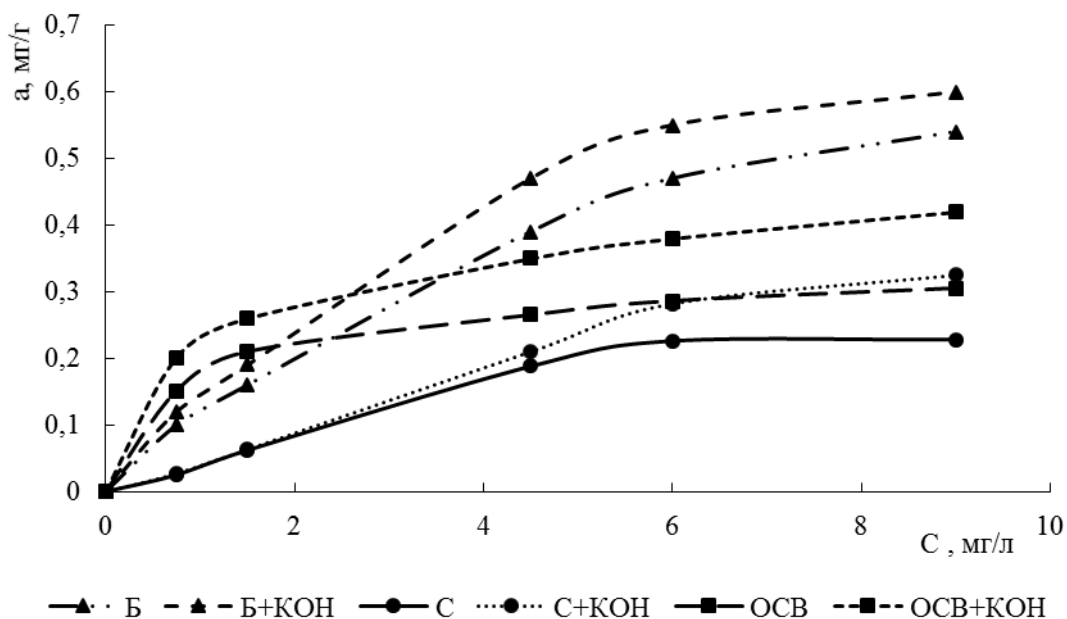


Рисунок 1 Изотермы сорбции на образцах биоуглей

Изотермы сорбции красителя на образцах биоугля из осадка сточных вод относятся к первому типу, характерному для микропористых тел. Схожая форма изотерм для березового и соснового биоуглей, их отличительная особенность - более пологий начальный участок в области низких концентраций. Значения сорбции метиленового синего на исходных и модифицированных биоуглях (попарно) близки в области низких концентраций (рис. 1). Щелочная обработка стимулирует сорбцию красителя в 1.1 – 1.4 раза в зависимости от образца. Подобную тенденцию можно объяснить несколькими факторами: уменьшением размера частиц, пористостью и отрицательным зарядом на поверхности активированного образца в сравнении с исходным биоуглем. Березовый уголь проявляет большее сродство к красителю, сорбция которого на образце выше чем на других биоуглях.

### Список литературы

1. Lei Zhao, Zhong-Fang Sun et al. Sewage sludge derived biochar for environmental improvement: Advances, challenges, and solutions. *Water Research X*. V. 18, 2023, 100167. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100167>
2. M. Kacprzak, E. Neczaj, K. Fijałkowski, A. Grobelak, A. Grosser, M. Worwag, A. Rorat, H. Brattebo, A. Almås, B.R. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development Singh, *Environ. Res.* 2017. V. 156, P. 39-46
3. Les Levidow, Sujatha Raman. Metamorphosing waste as a resource: Scaling waste management by ecomodernist means. *Geoforum*. V. 98, 2019, p.108-122.
4. Томина Е.В., Ходосова Н.А., Нгуен А.Т., Мануковская В.Е., Нгуен Х.Х. Особенности сорбции метиленового голубого биоуглями на основе карбонизатов сосны и березы. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2024. Т. 24. № 1. С. 44-55.

5. Y.J. Dai, N.X. Zhang, C.M. Xing, Q.X. Cui, Q.Y. Sun. Sewage sludge derived biochar for environmental improvement: Advances, challenges, and solutions. 2019. *Chemosphere*, V. 223, P. 12-27.

6. Томина Е.В., Ходосова Н.А., Мануковская В.Е., Жужукин К.В. Влияние физико-химической активации на сорбционную активность биоугля из опилок сосны. *Экология и промышленность России*. 2023. Т. 27. № 6. С. 67-71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-6-67-71>.

7. Carrot P.J.M, Ribeiro Carrot M.M.L., Mourao P.A.M. Pore size control in activated carbons obtained by pyrolysis under different conditions of chemically impregnated corc. // *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 2006. V.73. P. 120-127

### References

1. Lei Zhao, Zhong-Fang Sun et al. Sewage sludge derived biochar for environmental improvement: Advances, challenges, and solutions. *Water Research X*. V. 18, 2023, 100167. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100167>

2. M. Kacprzak, E. Neczaj, K. Fijałkowski, A. Grobelak, A.Grosser, M. Worwag, A. Rorat, H. Brattebo, A. Almås, B.R. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development Singh, *Environ. Res*. 2017. V. 156, P. 39-46

3. Les Levidow, Sujatha Raman. Metamorphosing waste as a resource: Scaling waste management by ecomodernist means. *Geoforum*. V. 98, 2019, p.108-122.

4. Tomina E.V., Khodosova N.A., Nguyen A.T., Manukovskaya V.E., Nguyen H.H. Specific features of the sorption of methylene blue by biochars based on pine and birch carbonizates. *Sorption and Chromatographic Processes*. 2024. V. 24. № 1. P. 44-55. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/10600>

5. Y.J. Dai, N.X. Zhang, C.M. Xing, Q.X. Cui, Q.Y. Sun. Sewage sludge derived biochar for environmental improvement: Advances, challenges, and solutions. 2019. *Chemosphere*, V. 223, P. 12-27.

6. Tomina E.V., Khodosova N.A., Manukovskaya V.E., Zhuzhukin K.V. Effect of physico-chemical activation on sorption activity of bio-coal from pine sawdust. *Ecology and industry of Russia*. 2023. V. 27. № 6. P. 67-71. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-6-67-71>.

7. Carrot P.J.M, Ribeiro Carrot M.M.L., Mourao P.A.M. Pore size control in activated carbons obtained by pyrolysis under different conditions of chemically impregnated corc. // *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 2006. V.73. P. 120-127.