

УДК 661.183.2

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-181-189

ФОРМИРОВАНИЕ АДсорбЦИОННЫХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ШЛАМ-ЛИГНИНА

К.Б. Воронцов, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID:* [P-2313-2019](https://orcid.org/0000-0001-6369-7245),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6369-7245>

Н.И. Богданович, д-р техн. наук, проф.; *ResearcherID:* [A-4662-2013](https://orcid.org/0000-0002-5374-2943),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5374-2943>

Е.Л. Седова, аспирант; *ResearcherID:* [AАН-6774-2020](https://orcid.org/0000-0003-0903-7304),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0903-7304>

П.В. Соловьева, аспирант; *ResearcherID:* [AАН-4645-2020](https://orcid.org/0000-0002-6102-4810),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6102-4810>

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: k.vorontsov@narfu.ru, n.bogdanovich@narfu.ru, lelenasedova@mail.ru, p.solovjeva@narfu.ru

Аннотация. Эффективным способом переработки отходов целлюлозно-бумажной промышленности, в частности шлам-лигнина, является пиролиз, посредством которого получают товарный продукт – углеродный адсорбент. Наиболее распространенный метод – метод термохимической активации с использованием гидроксидов натрия и калия, позволяющий производить углеродные наноструктурированные материалы с высокими адсорбционными свойствами, особенно при адсорбции из жидкой фазы. Исследовано влияние условий синтеза углеродных адсорбентов из шлам-лигнина на их адсорбционные свойства с использованием в качестве активирующего агента гидроксида натрия. Шлам-лигнин выделяли в лабораторных условиях путем обработки лигнинсодержащей сточной воды коагулянтном оксихлоридом алюминия. Применили метод планированного эксперимента – ротатбельный центральный композиционный план второго порядка. Изучено действие основных факторов, определяющих адсорбционные свойства углей: температуры, продолжительности пиролиза и дозировки гидроксида натрия, – на выходные параметры, характеризующие эффективность адсорбции из жидкой фазы, т. е. иодное число и осветляющую способность по метиленовому голубому. Получили экспериментальные данные, по которым построили поверхности отклика, иллюстрирующие влияние перечисленных факторов на выходные параметры. Установлено положительное влияние температуры пиролиза и дозировки щелочи на адсорбционные свойства синтезированных углей. Адсорбционная активность по иоду составила 300 %, по метиленовому голубому – 1000 мг/г, что свидетельствует о развитой микро- и мезопористой поверхности и возможности использования данных соединений для адсорбции как газов и паров, так и органических веществ из растворов. Образцы синтезированных из шлам-лигнина активных углей были испытаны в качестве адсорбентов лигнина из сточной воды. Полученные зависимости коррелируют с данными, характеризующими влияние параметров пиролиза на осветляющую способность углей по метиленовому голубому. Показана высокая эффективность адсорбентов из шлам-лигнина при удалении лигнина из растворов – значение удельной адсорбции составило около 1500 мг/г.

Для цитирования: Воронцов К.Б., Богданович Н.И., Седова Е.Л., Соловьева П.В. Формирование адсорбционных свойств углеродных наноструктурированных материалов термохимической активации шлам-лигнина // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 4. С. 181–189. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-181-189

Ключевые слова: шлам-лигнин, углеродный адсорбент, термохимическая активация, гидроксид натрия, адсорбционные свойства.

Введение

Шлам-лигнин – отход коагуляционной обработки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий. В промышленных масштабах коагуляционная очистка всегда осуществляется после биологической (например, стоки Байкальского целлюлозно-бумажного комбината). Технология же локальной очистки заключается в обработке лигнинсодержащих вод до стадии смешения их с другими стоками предприятия, т. е. перед стадией биологической очистки. Такой способ имеет достаточно высокую эффективность [1]. Применение данной технологии возможно только при условии переработки образующегося шлам-лигнина. На Байкальском целлюлозно-бумажном комбинате шлам-лигнин закачивался в карты-накопители или подвергался высушиванию и сжиганию. В первом случае значительное количество лигнинных веществ попадало в почву и водоемы, нанося вред экосистеме [5]; во втором – зола, являющаяся продуктом сгорания шлам-лигнина, также загрязняла окружающую среду. В дальнейшем были предложены различные методы использования данного осадка: в качестве сорбента [4], для производства буровых растворов [12], цемента [6], получения оксидов алюминия и железа [18] и др. – но они не нашли широкого применения.

Одним из перспективных путей переработки шлам-лигнина можно считать его пиролиз с последующим изготовлением товарного продукта – активированного угля [7]. Органо-минеральные сорбенты с развитой пористой структурой были получены в совмещенном процессе пиролиза – активации шлам-лигнина в среде водяного пара. Установлена возможность их применения для очистки сточных вод [7]. В настоящее время появилось много исследований, описывающих методы получения углеродных адсорбентов, в том числе из технических лигнинов, с использованием термохимической активации, преимуществом которой является образование углей с более высокими характеристиками поверхности и адсорбционными свойствами [17]. Эффективным активирующим реагентом для пиролиза углеродных материалов, имеющих неупорядоченную структуру, считается гидроксид натрия [16]. Термохимическая активация с его использованием позволяет получить материалы, имеющие высокую эффективность при адсорбции в жидкой фазе [19]. В России первые серьезные исследования термохимической активации гидроксидом натрия проводились в начале 2000-х г. коллективом ученых под руководством Н.И. Богдановича [8, 9]. В настоящее время значительная часть исследований процессов термохимической активации отходов переработки древесины проводится в Северном (Арктическом) федеральном университете имени М.В. Ломоносова [2, 11].

Целью данной работы являлся синтез углеродных адсорбентов термохимической активации шлам-лигнина и изучение их адсорбционных свойств.

Объекты и методы исследования

Шлам-лигнин получали в лабораторных условиях путем коагуляционной очистки модельной сточной воды оксихлоридом алюминия, исходя из оптимальных условий и режимных параметров обработки, установленных в [14]. Шлам-лигнин высушивали и проводили пиролиз с термохимической активацией, в качестве активирующего агента применяли гидроксид натрия. Исследова-

ния проводили методом планированного эксперимента, который, как известно из [2, 11], может быть реализован с использованием трехфакторного ротационного центрального композиционного плана второго порядка. Методика проведения опыта и математической обработки полученных данных приведены в [10]. Факторами, оказывающими решающее влияние на адсорбционные свойства углей, являются температура пиролиза ($T_{\text{пир}}$), его продолжительность (τ) и дозировка гидроксида натрия (D_{NaOH}). Они выбраны входными параметрами, уровни которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни варьирования входных параметров

Уровни параметров	Входные параметры		
	$T_{\text{пир}}, ^\circ\text{C}$	τ , мин	$D_{\text{NaOH}}, \%$
– α	650	30	120
–1	670	42	144
0	700	60	180
+1	730	78	216
+ α	750	90	240

Адсорбционные свойства активных углей (выходные параметры) оценивали по иодному числу (адсорбции иода – A_{I_2}) в соответствии с ГОСТ 33618–2015 и адсорбции метиленового голубого ($A_{\text{МГ}}$) по методике [3]. Иодное число характеризует микропористую структуру угля, а величина осветляющей способности по метиленовому голубому позволяет судить об объеме мезопор и, соответственно, о способности активных углей сорбировать из водных растворов крупные молекулы органических веществ.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные данные использованы для разработки статистических моделей, устанавливающих связь между значениями выходных характеристик и условиями пиролиза. Проверка моделей по критерию Фишера показала, что все они верны. Получены уравнения регрессии, описывающие данные математические модели. По уравнениям построены поверхности отклика, иллюстрирующие влияние перечисленных факторов на выходные параметры (рис. 1, 2).

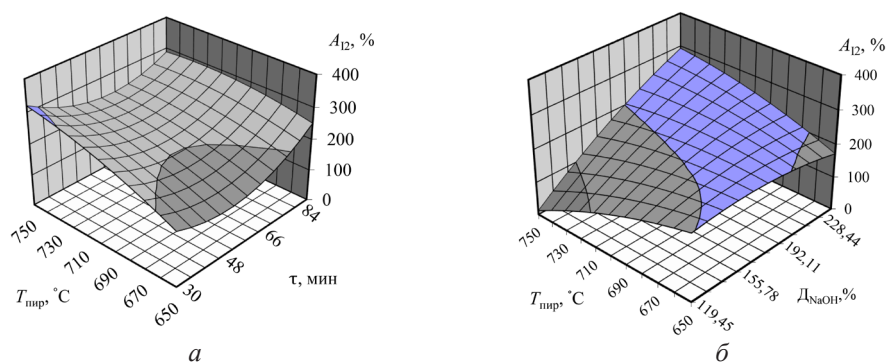


Рис. 1. Влияние режимных параметров на адсорбцию иода: *а* – при постоянной дозировке NaOH (180 %); *б* – при постоянной продолжительности пиролиза (60 мин)

Fig. 1. Influence of regime parameters on iodine adsorption: *a* – at a constant NaOH dosage (180 %); *b* – with constant pyrolysis duration (60 min)

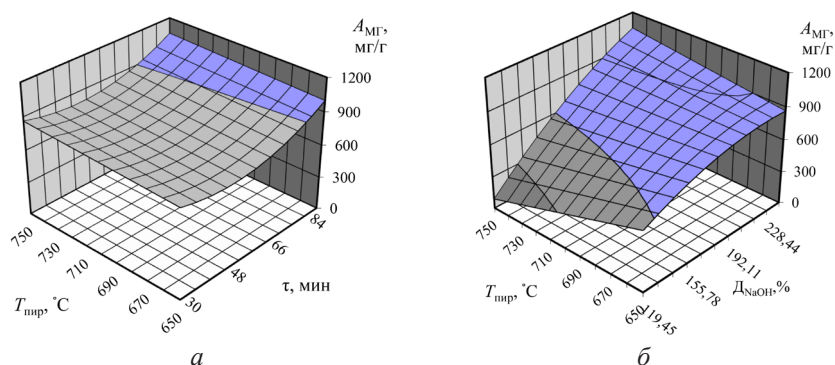


Рис. 2. Влияние режимных параметров на осветляющую способность по метиленовому голубому: *a* – при постоянной дозировке NaOH (180 %); *б* – при постоянной продолжительности пиролиза (60 мин)

Fig. 2. Influence of regime parameters on the adsorption capacity of methylene blue removal: *a* – at a constant NaOH dosage (180 %); *б* – with constant pyrolysis duration (60 min)

Все факторы оказывают определенное влияние на процесс формирования адсорбционных свойств полученных образцов: увеличение дозировки гидроксида натрия приводит к росту адсорбционных свойств, особенно при температуре пиролиза выше 700 °С (рис. 1, *б*; 2, *б*); зависимость от продолжительности процесса менее выражена, на 60...70-й мин от начала она минимальна (рис. 1, *a*; 2, *a*). Увеличение температуры пиролиза положительно сказывается на адсорбционных свойствах при дозировках гидроксида натрия 180 % и выше, при меньших долях щелочи с ростом температуры пиролиза адсорбционные свойства снижаются (рис. 1, *б*; 2, *б*).

Свойства сорбентов, полученных из шлам-лигнина путем пиролиза в среде водяного пара, имели относительно невысокие показатели: A_{I_2} – 37 %, A_{MG} – 35 мг/г [7]. Синтезированные нами методом термохимической активации с NaOH сорбенты обладают высокими значениями адсорбционной активности по иоду, которая достигает 300 %, и осветляющей способности по метиленовому голубому – до 1000 мг/г. Таким образом, угли из шлам-лигнина имеют развитую микро- и мезопористую структуру поверхности и могут быть использованы для адсорбции паров, газов и молекул органических веществ из растворов. При этом влияние режимных параметров пиролиза имеет схожий характер по отношению к адсорбции как иода, так и метиленового голубого.

Синтезированные нами образцы по своим адсорбционным свойствам не уступают углям, полученным тем же методом термохимической активации гидроксидом натрия, но из других видов технических лигнинов. Углеродные адсорбенты из гидролизного лигнина имеют адсорбционную активность по иоду 250 % и осветляющую способность по метиленовому голубому 600 мг/г [2], адсорбенты из черного щелока – 90 % и 550 мг/г соответственно [11, 21]. Активные угли из сульфатного лигнина характеризуются: A_{I_2} – 55...120 % [15, 22], A_{MG} – 650...950 мг/г [20, 23]. Следует отметить, что вышеперечисленные адсорбенты были получены при сравнительно меньших дозировках гидроксида натрия – 130...160 %. Это связано с наличием в составе шлам-лигнина определенного количества соединений алюминия, на реакции с которыми затрачи-

вается часть щелочи: происходит их растворение с образованием алюминатов натрия.

Образцы адсорбентов из шлам-лигнина были использованы нами для доочистки лигнинсодержащей сточной воды по технологии, ранее описанной в [13]. Эффективность оценивали по количеству удаленного из воды лигнина на 1 г угля ($A_{л}$, мг/г). Полученные зависимости (рис. 3) коррелируют с данными, характеризующими влияние параметров пиролиза на адсорбционные свойства углей по метиленовому голубому (рис. 2). Удельная адсорбция лигнина из сточной воды при ее доочистке составила около 1500 мг/г.

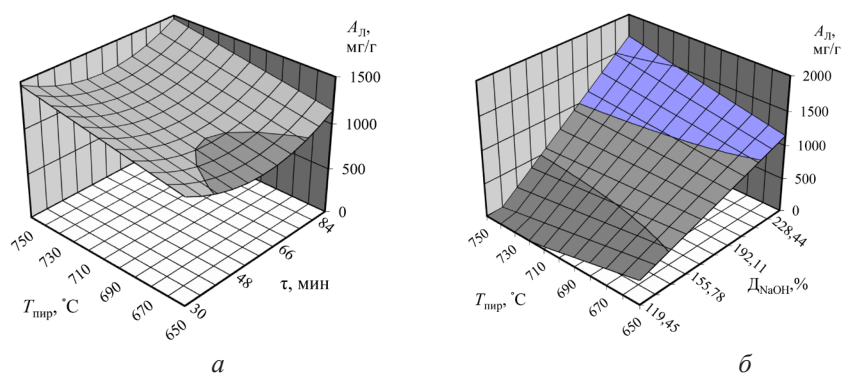


Рис. 3. Влияние режимных параметров на удельную адсорбцию лигнина: *а* – при постоянной дозировке NaOH (180 %); *б* – при постоянной продолжительности пиролиза (60 мин)

Fig. 3. Influence of regime parameters on specific adsorption of lignin: *a* – at a constant NaOH dosage (180 %); *b* – with constant pyrolysis duration (60 min)

Заключение

Углеродные адсорбенты, полученные из шлам-лигнина методом термохимической активации с гидроксидом натрия, обладают высокими адсорбционными свойствами: A_{12} – 300 %, $A_{МГ}$ – 1000 мг/г – и применимы при удалении лигнинных веществ из сточных вод. На формирование указанных свойств влияют температура, продолжительность пиролиза и дозировка щелочи. Для синтеза адсорбентов из шлам-лигнина можно рекомендовать следующие параметры пиролиза: температура – 730 °С, продолжительность – 80 мин, дозировка щелочи – 220 %. Особенностью получения данных активных углей является несколько более высокий расход гидроксида натрия по сравнению с сорбентами из гидролизного и сульфатного лигнина. В целом адсорбенты термохимической активации шлам-лигнина эффективны для очистки сточных вод от органических соединений, в том числе лигнина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Байбородин А.М., Воронцов К.Б., Богданович Н.И. Разработка системы локальной очистки сильнозагрязненных сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий // Вода: химия и экология. 2011. № 8. С. 16–21.

Bayborodin A.M., Vorontsov K.B., Bogdanovich N.I. Local Treatment of Heavily Polluted Sewage Waters of Pulp and Paper Industry. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2011, no. 8, pp. 16–21.

2. Белецкая М.Г., Богданович Н.И. Формирование адсорбционных свойств нанопористых материалов методом термохимической активации // Химия растит. сырья. 2013. № 3. С. 77–82.

Beletskaya M.G., Bogdanovich N.I. The Formation of Adsorption Properties of Nanoporous Materials by Thermochemical Activation. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw material], 2013, no. 3, pp. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.1303077>

3. Белецкая М.Г., Богданович Н.И., Макаревич Н.А. Технология углеродных адсорбентов // Физико-химический анализ активных углей. Архангельск: САФУ, 2015. 96 с.

Beletskaya M.G., Bogdanovich N.I., Makarevich N.A. *Carbon Adsorbent Technology. Physical and Chemical Analysis of Active Carbon*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2015. 96 p.

4. Богданов А.В. Исследование сорбционно-коагуляционных свойств золы шлам-лигнина // Успехи современного естествознания. 2004. № 10. С. 22–26.

Bogdanov A.V. Examination Sorption-Coagulation of Properties of Ashes Ofstimes-Lignine. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2004, no. 10, pp. 22–26.

5. Богданов А.В., Шатрова А.С., Качор О.Л. Разработка экологически безопасной технологии утилизации отходов ОАО «Байкальский ЦБК» // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2017. № 2. С. 47–53.

Bogdanov A.V., Shatrova A.S., Kachor O.L. Development of Environmentally Friendly Technology of Waste Utilization at the Baikal Pulp and Paper Mill. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geosryology], 2017, no. 2, pp. 47–53.

6. Богданов А.В., Левченко Е.А., Шатрова А.С., Качор О.Л., Воробчук В.А. Получение сульфатсодержащего цемента из отходов ОАО «Байкальский ЦБК» // Перспективы науки. 2016. № 2(77). С. 18–22.

Bogdanov A.V., Levchenko E.A., Shatrova A.S., Kachor O.L., Vorobchuk V.A. Production of Sulfate-Containing Cement from Waste Products of ОАО Baikal Pulp and Paper Mill. *Perspektivy nauki* [Science Prospects], 2016, no. 2(77), pp. 18–22.

7. Богданович Н.И. Пиролиз технических лигнинов // Изв. вузов. Лесн. журн. 1998. № 2-3. С. 120–132.

Bogdanovich N.I. Pyrolysis of Technical Lignins. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1998, no. 2-3, pp. 120–132. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/d70/120_131.pdf

8. Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Добеле Г.В. Новые реагенты термохимической активации углеродных материалов в синтезе адсорбентов // Углеродные адсорбенты: материалы Второго междунар. семинара. Кемерово: ИУУ СО РАН, 2000. С. 16–18.

Bogdanovich N.I., Kuznetsova L.N., Dobelev G.V. New Reagents of Thermochemical Activation of Carbon Materials in the Synthesis of Adsorbents. *Carbon Adsorbents: Proceedings of the Second International Seminar*. Kemerovo, Institute of Coal and Coal Chemistry SB RAS Publ., 2000, pp. 16–18.

9. Богданович Н.И., Труфанова Н.В., Фадеев С.М. Термохимическая активация измельченных древесных материалов гидроксидом натрия // Актуальные проблемы теории адсорбции, модифицирования поверхности и разделения веществ: материалы VII Всерос. симп. М.: ИФХ РАН, 2002. С.158.

Bogdanovich N.I., Trufanova N.V., Fadeev S.M. Thermochemical Activation of Crushed Wood Materials with Sodium Hydroxide. *Current Problems of Adsorption, Surface Modification and Separation of Substances: Proceedings of the VII All-Russian Symposium*. Moscow, Institute of Physical Chemistry RAS Publ., 2002, p. 158.

10. Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Третьяков С.И., Жабин В.И. Планирование эксперимента в примерах и расчетах. Архангельск: САФУ. 2010. 126 с.
- Bogdanovich N.I., Kuznetsova L.N., Tret'yakov S.I. *Planning Experiment in Examples and Calculations*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2010. 126 p.
11. Лагунова Е.А., Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н. Влияние гидроксида натрия на процесс пиролиза черного щелока // Евразийский Союз Ученых. 2014. № 7-1. С. 85–87.
- Lagunova E.A., Bogdanovich N.I., Kuznetsova L.N. Effect of Sodium Hydroxide on the Process of Black Liquor Pyrolysis. *Evraziyskiy Soyuz Uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2014, no. 7-1, pp. 85–87.
12. Прончин К.В., Щербин С.А. Буровые растворы на основе крупнотоннажного отхода целлюлозного производства // Вестн. Ангар. гос. техн. акад. 2008. Т. 2, № 1. С. 21–23.
- Pronchin K.V., Shcherbin S.A. Drilling Muds Based on Large-Capacity Pulp Waste. *Vestnik Angarskoy gosudarstvennoy tekhnicheskoy akademii*, 2008, vol. 2, no. 1, pp. 21–23.
13. Седова Е.Л., Воронцов К.Б. Коагуляционно-адсорбционная очистка лигнинсодержащих сточных вод // Наука-RASTUDENT.RU. 2014. № 7. Режим доступа: <https://readera.org/koagulyacionno-adsorbcionnaja-ochistka-ligninsoderzhashhih-stochnyh-vod-14329735> (дата обращения: 09.06.21).
- Sedova E.L., Vorontsov K.B. Coagulation – Adsorption Lignin-Containing Waste Water. *Nauka-Rastudent.ru*, 2014, no. 7.
14. Седова Е.Л., Воронцов К.Б., Буркова С.А. Влияние условий коагуляционной обработки на эффективность очистки лигнинсодержащей сточной воды по данным планированного эксперимента // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 4. С. 159–167.
- Sedova E.L., Vorontsov K.B., Burkova S.A. Influence of Coagulation Treatment on the Efficiency of Lignin Containing Wastewater Purification. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 4, pp. 159–167. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.4.159>
15. Bedmohata M.A., Chaudhari A.R., Singh S.P., Choudhary M.D. Adsorption Capacity of Activated Carbon Prepared by Chemical Activation of Lignin for the Removal of Methylene Blue Dye. *International Journal of Advanced Research in Chemical Science (IJARCS)*, 2015, vol. 2, iss. 8, pp. 1–13.
16. Carrott P.J.M., Ribeiro Carrott M.R. Lignin – from Natural Adsorbent to Activated Carbon: A Review. *Bioresource Technology*, 2007, vol. 98, iss. 12, pp. 2301–2312. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.008>
17. Chistyakov A.V., Tsodikov M.V. Methods for Preparing Carbon Sorbents from Lignin (Review). *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2018, vol. 91, iss. 7, pp. 1090–1105. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070427218070054>
18. Fedyaeva O.N., Vostrikov A.A., Artamonov D.O., Shishkin A.V., Sokol M.Ya. Combustion of Sludge-Lignin in Water-Oxygen Mixture. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2020, vol. 29, iss. 1, pp. 26–41. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1810232820010038>
19. Hayashi J., Kazehaya A., Muroyama K., Watkinson A.P. Preparation of Activated Carbon from Lignin by Chemical Activation. *Carbon*, 2000, vol. 38, iss. 13, pp. 1873–1878. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(00\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(00)00027-0)
20. Khezami L., Chetouani A., Taouk B., Capart R. Production and Characterisation of Activated Carbon from Wood Components in Powder: Cellulose, Lignin, Xylan. *Powder Technology*, 2005, vol. 157, iss. 1-3, pp. 48–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2005.05.009>
21. Ragan S., Megonnell N. Activated Carbon from Renewable Resources–Lignin. *Cellulose Chemistry and Technology*, 2011, vol. 45, no. 7-8, pp. 527–531.

22. Sarkar M., Tian C., Jahan M.S. Activated Carbon from Potassium Hydroxide Spent Liquor Lignin Using Phosphoric Acid. *TAPPI Journal*, 2018, vol. 17, no. 2, pp. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.32964/TJ17.02.63>

23. Torné-Fernández V., Mateo-Sanz J.M., Montané D., Fierro V. Statistical Optimization of the Synthesis of Highly Microporous Carbons by Chemical Activation of Kraft Lignin with NaOH. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2009, vol. 54, iss. 8, pp. 2216–2221. DOI: <https://doi.org/10.1021/je800827n>

FORMATION OF ADSORPTION PROPERTIES OF CARBON NANOSTRUCTURED MATERIALS BY THERMOCHEMICAL ACTIVATION OF SLUDGE-LIGNIN

Konstantin B. Vorontsov, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [P-2313-2019](https://orcid.org/0000-0001-6369-7245), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6369-7245>

Nikolay I. Bogdanovich, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [A-4662-2013](https://orcid.org/0000-0002-5374-2943),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5374-2943>

Elena L. Sedova, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAH-6774-2020](https://orcid.org/0000-0003-0903-7304),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0903-7304>

Polina V. Solovyova, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAH-4645-2020](https://orcid.org/0000-0002-6102-4810),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6102-4810>

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: k.vorontsov@narfu.ru, n.bogdanovich@narfu.ru, lelenasedova@mail.ru, p.solovjeva@narfu.ru

Abstract. Pyrolysis is an effective way to process waste of the pulp and paper industry, in particular, sludge-lignin, which makes it possible to obtain a commercial product – a carbon adsorbent. The method of thermochemical activation using sodium and potassium hydroxides is now widely used in pyrolysis of wood waste processing. This method enables the production of carbon nanostructured materials with high adsorption properties, especially when adsorbed from the liquid phase. The paper studies the influence of conditions for the synthesis of carbon adsorbents of sludge-lignin on their adsorption properties using sodium hydroxide as an activating agent. Sludge-lignin was obtained under laboratory conditions by treating lignin-containing wastewater with aluminum oxychloride coagulant. We applied the method of the planned experiment: a rotatable central composite design of the second order for three factors. We studied the influence of the main factors determining the adsorption properties of coals, namely, temperature, pyrolysis duration and sodium hydroxide dosage, on the values of output parameters characterizing the adsorption efficiency from the liquid phase, i.e. the iodine number and the adsorption capacity of methylene blue removal. We obtained experimental data, which were used to construct response surfaces illustrating the influence of the experimental factors on the output parameters. The positive effect of pyrolysis temperature and alkali dosage on the adsorption properties of the synthesized coals was found. The following results were obtained: the adsorption activity for iodine – 300 %, for methylene blue – 1000 mg/g; indicating a developed micro- and mesoporous surface and the possibility of using these compounds for adsorption of both gases and vapors, and organic substances from solutions. Therefore, samples of activated carbons synthesized from sludge-lignin were tested as lignin adsorbents of lignin-containing wastewater. The obtained dependences correlate well with the data describing the influence of pyrolysis

parameters on the coal adsorption capacity of methylene blue removal. The high efficiency of adsorbents of sludge-lignin in the removal of lignin from solutions was shown. The value of the specific adsorption was about 1500 mg/g.

For citation: Vorontsov K.B., Bogdanovich N.I., Sedova E.L., Solovyova P.V. Formation of Adsorption Properties of Carbon Nanostructured Materials by Thermochemical Activation of Sludge-Lignin. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 4, pp. 181–189. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-181-189

Keywords: sludge-lignin, carbon adsorbent, thermochemical activation, sodium hydroxide, adsorption properties.