

Научная статья
УДК 543.544

АКТИВАЦИЯ БИОУГЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ И АПАВ

Георгий Михайлович Фомичев¹, Евгения Александровна Труфанова²,
Наталья Анатольевна Ходосова³, Елена Викторовна Томина⁴

¹⁻⁴ Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия

¹ georgriifomichev202@gmail.com

² trufik890@gmail.com

³ nhodosova@vgtu.ru

⁴ tomina-e-v@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность использования биоуглей на основе древесных опилок в качестве сорбентов нефтепродуктов и поверхностно-активных веществ. Биоугли получены карбонизацией при 500 °С и активированы растворами КОН и CaCl₂. Определены физико-химические характеристики и степень очистки сточных вод от нефтепродуктов и АПАВ.

Ключевые слова: древесный биоуголь, нефтепродукты, АПАВ, степень очистки

Для цитирования: Активация биоуглей для очистки сточных вод от нефтепродуктов и АПАВ / Г. М. Фомичев, Е. А. Труфанова, Н. А. Ходосова, Е. В. Томина // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1113–1117.

Original article

ACTIVATION OF BIOCHARS FOR WASTEWATER TREATMENT FROM OIL PRODUCTS AND ANIONIC SURFACTANTS

Georgy M. Fomichev¹, Evgenya F. Trufanova², Natalia A. Khodosova³,
Elena V. Tomina⁴

¹⁻⁴ Voronezh State Forest Engineering University, Voronezh, Russia

¹ georgriifomichev202@gmail.com

² trufik890@gmail.com

³ nhodosova@vgtu.ru

⁴ tomina-e-v@yandex.ru

Abstract. The possibility of using wood sawdust-based biochars as sorbents for petroleum products and surfactants was examined. The biochars were obtained by carbonization at 500°C and activated with KOH and CaCl₂ solutions. The physicochemical properties and the degree of wastewater purification from petroleum products and anionic surfactants were determined.

Keywords: wood biochar, petroleum products, anionic surfactants, degree of purification

For citation: Aktivaciya biuglej dlya ochistki stochny`x vod ot nefteproduktov i APAV [Activation of biochars for wastewater treatment from oil products and anionic surfactants] (2026) G. M. Fomichev, E. A. Trufanova, N. A. Khodosova, E. V. Tomina. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1113–1117.

Значительное изменение социально-экономических условий жизни людей по всему миру способствовало ускорению темпа и росту качества жизни. Обратной стороной процесса является глобальное потепление, нехватка и загрязнение воды, загрязнение почвы, истощение природных ресурсов [1]. Загрязнение воды нефтепродуктами может происходить в результате разлива топлива при транспортировке нефтепродуктов (НП), утечек из резервуаров и трубопроводов, мойки автомобилей в гаражах, на парковках, несанкционированного слива масел и топлива в ливневую канализацию. Нефтепродукты, будучи легче воды, образуют на ее поверхности пленку, что препятствует газообмену между водой и атмосферой, приводя к дефициту кислорода и гибели водных организмов. Присутствие жировых пленок приводит к нарушению работы очистных сооружений. При смешивании с водой и под действием турбулентности нефтепродукты образуют стойкие эмульсии, которые крайне сложно разделить.

Еще одним распространенным компонентом бытовых сточных вод являются анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ). Основным источником АПАВ – это моющие средства: стиральные порошки, гели для мытья посуды, шампуни, жидкое мыло. АПАВ создают обильную устойчивую пену, которая мешает работе очистных сооружений, снижает эффективность аэрации и может вызывать видимые загрязнения водоемов, токсичность ПАВ приводит к гибели водных организмов. АПАВ содержат фосфаты, которые служат пищей для водорослей, вызывая «цветение» воды. Остро стоит и проблема биоразлагаемости: даже современные «мягкие» АПАВ в водоемах могут распадаться на еще более токсичные промежуточные продукты. Методы очистки сточных вод от АПАВ и нефтепродуктов включают несколько этапов, одним из которых является сорбция [2, 3]. В качестве сорбентов возможно использование биоуглей, полученных при карбонизации древесных опилок. Сорбционная способность биоуглей может быть увеличена проведением предварительной химической активации [4].

Цель работы заключалась в анализе сорбционной способности биоугля, полученного карбонизацией древесных опилок, с последующей химической активацией по отношению к нефтепродуктам и АПАВ.

Образцы биоугля получены методом карбонизации отходов лесопиления, размер которых находился в интервале 5–10 мм. Карбонизацию опилок проводили в закрытом реакторе при температуре 500 °С и остаточном давлении 13,3 Па в течение 3 ч. Скорость нагрева составляла 15 °С/мин. Химическую активацию проводили раствором гидроксида калия с молярной концентрацией 2 моль/дм³ в соотношении объемных частей 1:4 и 30 % раствором CaCl₂ в соотношении 1:3. Активацию образцов проводили идентично при постоянном перемешивании в течение 2 ч и последующей пропиткой в течение 24 ч. После пропитки была проведена промывка деионизированной водой до реакции промывных вод, равной pH = 7 с последующим высушиванием при температуре 105–110 °С до постоянной массы.

Выход продукта при пиролизе опилок составил 23,0 %. Выход продукта после активации биоугля составил 78–89 %, в зависимости от модификатора.

Определение содержания НП и АПАВ в сточных водах до и после сорбции на образцах биоуглей проводили согласно общеизвестным методикам.

Для образцов биоугля определены физико-химические характеристики, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические характеристики биоуглей

Образец	Насыпная плотность, г/дм ³	pH	Влажность, %
БД	201	8,24	5,94
БД+КОН	348	6,99	7,87
БД+CaCl ₂	314	7,01	7,94
<i>Примечание:</i> БД – биоуголь древесный; БД+КОН – биоуголь, модифицированный КОН; БД+CaCl ₂ – биоуголь, модифицированный CaCl ₂ .			

Установлено [5], что при модификации происходит уменьшение размера частиц фракции биоугля, способствующее увеличению величины плотности. Химическая активация способствует росту влажности образцов. Повышение влажности биоугля после обработки CaCl₂ – это прямое и ожидаемое следствие гигроскопичности самой соли.

Определена степень очистки сточных вод от нефтепродуктов (НП) и АПАВ образцами биоуглей. Величина допустимой концентрации в сточных водах для исследуемых загрязнителей составляет ПДК_{НП} = 0,3 мг/дм³, ПДК_{АПАВ} = 0,1 мг/дм³.

Поскольку сорбенты применяют на стадии доочистки воды, то использование угля является обоснованным решением. Активированный биоуголь с развитой пористостью способен улавливать отдельные молекулы и мелко-дисперсные частицы нефтепродуктов. Нефтепродукты гидрофобны и стремятся прилипнуть к гидрофобной поверхности биоугля. Эффективность очистки зависит от величины удельной поверхности и пористой структуры биоугля. Для сорбции АПАВ механизм сложнее: гидрофобная «хвостовая» часть молекулы АПАВ прикрепляется к поверхности биоугля, а гидрофильная «голова» может оставаться в воде. Возможно протекание электростатической сорбции, например, если поверхность биоугля имеет положительный заряд, он будет притягивать отрицательно заряженные группы АПАВ.

Результаты по определению способности биоуглей улавливать НП и ПАВ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Степень очистки воды

Образец	Степень очистки, %	
	НП	АПАВ
БД	18,4	75,6
БД+КОН	78,75	77,83
БД+CaCl ₂	49,59	67,75

Очистка воды от АПАВ достаточно хорошо протекает на всех образцах, достигая максимального значения на биоугле, обработанном КОН. Активация раствором КОН способствует существенному возрастанию степени

очистки воды от загрязнителей, особенно от нефтепродуктов. Несмотря на то, что воздействие щелочи приводит к росту гидрофильности поверхности биоугля за счет увеличения карбоксильных и других кислородсодержащих групп, нельзя забывать, что КОН является мощным активатором в создании порового пространства угля. Гидроксид калия вступает в реакцию с аморфным углеродом, «поглощая» его, создает огромное количество новых микропор и мезопор. Раствор CaCl_2 действует в основном как модификатор поверхности и слабый активатор, основная роль которого сводится к увеличению гидрофобности. Поэтому в случае активации биоугля раствором КОН выигрыш от роста площади поверхности для адсорбции перевешивает проигрыш от селективности (снижение гидрофобности).

Список источников

1. Kumar A., Bhattacharya T. Biochar: a sustainable solution // *Environmental, Development and Sustainability*. 2020. No. 23. P. 6642–6680. DOI: 10.1007/s10668-020-00970-0
2. Removal of diesel oil from water using biochar derived from waste banana peels as adsorbent / Jeffrick Jun Daniel T. Urgel, Justin Marwin A. Briones, Emmanuel B. Diaz Jr. [et al.] // *Carbon Research*. 2024. № 3 (1):13. DOI: 10.1007/s44246-024-00100-9
3. Removal of anionic surfactant from residential laundry wastewater using jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seeds / Solomon Deressaa, Hailu Endalea, Dessalegn Dadia, Shimeles Addisu Kitte // *Advances in Environmental Technology*. 2019. No. 1. P. 47–53.
4. Biochar: A Review of its History, Characteristics, Factors that Influence its Yield, Methods of Production, Application in Wastewater Treatment and Recent Development // Nur Salsabila Kamarudin, Farrah Aini Dahalan, Azizah Parmin [et al.] // *Biointerface research in Applied chemistry*. 2022. Vol. 12 (6). P. 7914–7926. DOI: 10.33263/BRIAC126.79147926
5. Specific features of the sorption of methylene blue by biochars based on pine and birch carbonizates / E. V. Tomina, N. A. Khodosova, A. T. Nguyen [et al.] // *Sorption and chromatographic processes*. 2024. Vol. 24, No. 1. P. 44–55. DOI: 10.17308/sorpchrom.2024.24/12020