

Научная статья
УДК 661.183.2

АКТИВИРОВАННЫЙ УГОЛЬ, ПОЛУЧЕННЫЙ МЕТОДОМ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА, И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Андрей Владимирович Мамаев¹, Надежда Георгиевна Цыганкова²,
Татьяна Александровна Савицкая³, Дмитрий Давидович Гриншпан⁴

^{1, 3} Белорусский государственный университет, Минск,

Республика Беларусь

^{2, 4} Научно-исследовательский институт физико-химических проблем,

Минск, Республика Беларусь

^{1, 2} mamaev_a06@mail.ru

³ ta_savitskaya@mail.ru

⁴ grinshpan@bsu.by

Аннотация. Рассматривается способ получения активированного мезопористого угля по методу термохимической активации с использованием ортофосфорной кислоты из различного целлюлозо- и лигнинсодержащего сырья. Данный метод позволяет получать сорбенты с высокой сорбционной способностью по метиленовому голубому (до 620 мг/г), низкой зольностью и высоким выходом. Показана возможность использования полученного угля для очистки сточных вод от тяжелых металлов.

Ключевые слова: активированный уголь, целлюлозо- и лигнинсодержащее сырье, тяжелые металлы, адсорбция, сточные воды

Для цитирования: Активированный уголь, полученный методом термохимического синтеза, и его использование для очистки воды / А. В. Мамаев, Н. Г. Цыганкова, Т. А. Савицкая, Д. Д. Гриншпан // 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. 1071–1075.

Original article

ACTIVATED CARBON PRODUCED BY THERMOCHEMICAL SYNTHESIS AND ITS USE FOR WATER PURIFICATION

Andrey V. Mamaev¹, Nadezhda G. Tsygankova², Tatiana A. Savitskaya³,
Dmitry D. Grinshpan⁴

^{1,3} Belarussian State University, Minsk, Republic of Belarus

^{2,4} Research Institute for Physical and Chemical Problems, Minsk,
Republic of Belarus

^{1,2} mamaev_a06@mail.ru

³ ta_savitskaya@mail.ru

⁴ grinshpan@bsu.by

Abstract. This paper discusses a method for producing activated mesoporous carbon using thermochemical activation with orthophosphoric acid from various cellulose- and lignin-containing raw materials. This method enables the production of sorbents with high methylene blue sorption capacity (up to 620 mg/g), low ash content, and high yield. The potential for using the resulting carbon to remove heavy metals from wastewater is demonstrated.

Keywords: activated carbon, cellulose- and lignin-containing raw materials, heavy metals, adsorption, wastewater

For citation: Aktivirovannyj ugol', poluchennyj metodom termoximicheskogo sinteza, i ego ispol'zovanie dlya ochistki vody' [Activated carbon produced by thermochemical synthesis and its use in water purification] (2026) A. V. Mamaev, N. G. Tsygankova, T. A. Savitskaya, D. D. Grinshpan. Nauchnoe tvorчество 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. 1071–1075. (In Russ).

В настоящее время в мировой научной литературе и средствах массовой информации активно поднимаются вопросы экологического характера. Так, современная информационная повестка включает материалы, касающиеся таких проблем, как загрязнение окружающей среды, атмосферы, водных объектов, почв, воздействие антропологических изменений окружающей среды на здоровье и социально-трудовой потенциал населения, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, обращение с отходами и др.

Одними из наиболее важных экологических задач являются водочистка и водоподготовка. В мире существует большое количество предприятий, которые сбрасывают в природные водоемы огромное количество

сточных вод, загрязненных токсичными веществами. Например, в Республике Беларусь в 2016 г. количество тяжелых металлов в составе сточных вод составило: железо общее – 272,13 т, цинк – 27,63 т, медь – 5,30 т, хром общий – 2,81 т, никель – 2,22 т, свинец – 0,62 т [1]. Очистка воды для питьевых и промышленных целей является важной задачей, поэтому в настоящее время активно проводится поиск эффективных сорбентов для очистки воды. Одним из самых лучших сорбентов является активированный уголь (АУ) [2].

Активированный уголь – это универсальный продукт, который имеет множество сфер применения. В Республике Беларусь имеется широкая сырьевая база для его производства в виде древесины, гидролизного лигнина, отходов деревообработки, торфа, бурых углей. Так, только в цехах Минлесхоза РБ в 2020 г. образовалось 630 тыс. м³ опилок и коры. К сожалению, из-за высокой себестоимости производства по существующим технологиям АУ в нашей стране не выпускается, и поэтому для удовлетворения растущего спроса в основных отраслях народного хозяйства он импортируется из Российской Федерации (более 570 т в год). В связи с этим актуальной задачей является поиск, рассмотрение и комплексный анализ существующей научно-технической информации, касающейся новых технологий получения, свойств и областей применения активированных углей.

Мы предложили для получения активированного угля по методу термохимического синтеза использовать различное целлюлозо- и лигнинсодержащее сырье: торф, гидролизный лигнин, коровий навоз, картон, лен, молодой и старый бамбук, волокнистую целлюлозу, сосновые опилки, кору сосны, солому злаковых. Для этого указанное сырье измельчали и затем обрабатывали химическим активатором – раствором ортофосфорной кислоты. Далее проводили двухстадийную термическую обработку пропитанных H₃PO₄ образцов в муфельной печи при температурах 300 и 500 °С. Полученные угли отмывали дистиллированной водой от избытка ортофосфорной кислоты до нейтральной реакции промывных вод (оценивалась с помощью универсальной индикаторной бумаги), затем сушили при температуре 105 °С в течение 1 ч, оценивали зольность, выход и сорбционную способность по стандартному маркеру – красителю метиленовому голубому – с использованием общепринятых методик [3].

В качестве сорбента для очистки воды был взят активированный уголь, полученный методом термохимической активации ортофосфорной кислотой из опилок. Указанный уголь был испытан в качестве реагента для очистки модельных растворов от сульфата меди. Для этого к 25 мл раствора с содержанием Cu²⁺, равным 528 мг/л, добавляли навески угля различной массы (от 0,2 до 1,0 г) и встряхивали в течение 1 ч. Кроме этого, полученный сорбент был апробирован для очистки сточных вод Минского тракторного завода. Содержание меди в воде, а также перманганатную окисляемость

определяли титриметрическим методом (иодометрия и перманганатометрия), цветность и мутность – спектрофотометрически. Показатели исходных и очищенных сточных вод МТЗ определялись в лаборатории предприятия.

Характеристики активированных углей, полученных из различного сырья по методу термохимического синтеза с использованием ортофосфорной кислоты, представлены в табл. 1. Содержание ионов меди в исходном модельном растворе и после его очистки активированным углем из опилок различной массы представлено в табл. 2. Показатели сточных вод Минского тракторного завода до и после очистки на одной из стадий активированным углем приведены в табл. 3.

Таблица 1

Характеристики активированных углей, полученных из различного целлюлозо- и лигнинсодержащего сырья по методу термохимического синтеза

Вид АУ	Выход, %	Зольность, %	СС по МГ, мг/г
АУ из торфа	19±2	31,0±1,6	404±8
АУ из смеси гидролизный лигнин + навоз (1:1)	57±6	6,0±0,3	467±9
АУ из картона	17±2	20,9±1,0	583±12
АУ из льна	39±4	4,6 ±0,2	570±11
АУ из молодого бамбука (1–3 года)	28±3	5,9±0,3	618±12
АУ из старого бамбука (4–6 лет)	31±3	6,5±0,3	597±12
АУ из волокнистой целлюлозы	35±4	5,6±0,3	602±12
АУ из сосновых опилок	31±3	3,3±0,2	610±12
АУ из коры сосны	10±1	9,8±0,5	595±12
АУ из гидролизного лигнина	62±6	21,5±1,1	540±11
АУ из соломы	19±2	13,5±0,7	580±12

Таблица 2

Очистка модельного раствора сульфата меди с помощью активированного угля из опилок методом углевания

Масса угля, г	Начальная концентрация Cu^{2+} , мг/л	Конечная концентрация Cu^{2+} , мг/л
0,2	528,0±26,4	243,2±12,1
0,4		96,0±4,8
0,6		51,2±2,6
0,8		32,0±1,6
1,0		19,2±1,0

Таблица 3

Очистка сточных вод Минского тракторного завода
с использованием метода углевания

Загрязнитель	Концентрация в исходной воде, мг/л	Концентрация в очищенной воде, мг/л	ПДК, мг/л
Хром	8,46±0,34	0,01±0,01	0,50
Железо	50,00±2,00	0,49±0,02	2,00
Медь	18,56±0,74	0,01±0,01	0,80
Цинк	25,00±1,00	0,06±0,01	1,38
Никель	10,36±0,41	0,26±0,01	0,16

Из приведенных в табл. 1 экспериментальных данных можно сделать вывод, что термохимический метод с использованием ортофосфорной кислоты позволяет получать активированные угли с очень высокой сорбционной способностью, высоким выходом и низкой зольностью. Установлено, что для получения угольных сорбентов с наилучшими характеристиками целесообразно использовать в качестве сырья сосновые опилки (сорбционная способность полученных углей – 610 мг/г). Результаты, приведенные в табл. 2 и 3, подтверждают возможность использования полученных активированных углей для очистки воды от тяжелых металлов. Использование метода углевания позволило снизить содержание практически всех загрязняющих веществ в производственных сточных водах до показателей, соответствующих ПДК.

Список источников

1. Бардюкова А. В. Актуальные экологические проблемы водных ресурсов г. Гомеля, обусловленные сбросом сточных вод // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века : материалы 18-й Международной научной конференции, г. Минск, Республика Беларусь : в 3 ч. Ч. 3. Минск : ИВЦ Минфина, 2018. С. 18–19.

2. Юрьев Ю. Л., Василец А. Д., Василец В. А. Применение активных углей в процессах водоподготовки // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 534–540.

3. Адсорбция метиленового голубого энтеросорбентами различной природы / А. В. Лишай, Т. А. Савицкая, Н. Г. Цыганкова [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. 2021. № 1. С. 58–74.