

На основе анализа полученных данных, а также сведений, полученных от предприятий химического комплекса Республики Беларусь; сведений международных баз данных, как источников информации для идентификации опасных свойств химической продукции, сформирована и официально зарегистрирована национальная база данных «Информационная база данных, содержащая сведения об опасных свойствах для здоровья населения химической продукции, имеющей обращение на территории Республики Беларусь». В нее включены 137 опасных химических веществ, входящих в состав 5 видов химической продукции: промышленные химикаты – 93 вещества, лакокрасочные материалы – 12, дезинфицирующие средства – 8, средства защиты растений – 12, средства бытовой химии – 18.

Все вещества, приведенные в разработанной информационной базе данных, классифицированы по опасным для здоровья свойствам в соответствии с СГС. В составе маркировки приведены символ опасности (пиктограмма) в зависимости от вида и класса опасности вещества; сигнальное слово – слово, используемое для акцентирования внимания на степени опасности химической продукции; краткая характеристика опасности (H-фразы) – набор стандартных фраз, позволяющих установить степень опасности химической продукции; меры по предупреждению опасности (P-фразы) – набор стандартных фраз, позволяющих установить меры предосторожности и меры защиты от опасности химической продукции, включая меры первой помощи и средства защиты.

Для нормируемых в Республике Беларусь веществ приведены гигиенические нормативы в объектах среды обитания.

В информационной базе данных содержится перечень нормативных документов и базовых источников информации по каждому химическому веществу.

Информационная база данных является инструментом для усиления контроля за гигиенической безопасностью химической продукции и повышения информированности населения об опасных для здоровья свойствах химической продукции.

Разработанные перечни химических веществ и информация об опасных свойствах химической продукции, имеющей обращение на территории Республики Беларусь, будут положены в основу формирования национальной части Реестра химических веществ и смесей Евразийского экономического союза, во исполнение требований технического регламента Евразийского экономического союза «О безопасности химической продукции» (ТР ЕАЭС 041/2017), утвержденного Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 3 марта 2017 года № 19.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции [Электронный ресурс]. – 6-е пересмотр. изд. / Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк - Женева, 2015 год. – Режим доступа: [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev06/Russian/ST\\_SG\\_AC\\_10\\_30\\_Rev\\_6r.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev06/Russian/ST_SG_AC_10_30_Rev_6r.pdf). – Дата доступа: 21.02.2022.
2. Национальные регистры и перечни химических веществ: преимущества и подходы к созданию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/373689/National-chemicals\\_Content\\_WHO\\_RUS\\_WEB4.pdf/](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/373689/National-chemicals_Content_WHO_RUS_WEB4.pdf/). – Дата доступа: 20.02.2020.
3. Ситуационный анализ национального потенциала для осуществления Роттердамской конвенции в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : Обзор / подготовлен рабочей группой, созданной в республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены», при поддержке Министерства здравоохранения Республики Беларусь и содействии Специальной программы доверительного фонда ЮНЕП ; под редакцией: С. И. Сычика, И. И. Ильюковой. – 89 с. – Режим доступа: <http://chemsafety.rspch.by/> – Дата доступа: 21.02.2022.

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОАКТИВНОГО МЕЗОПОРИСТОГО УГЛЯ ИЗ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### OBTAINING HIGHLY ACTIVE MESOPOROUS COAL FROM WASTE OF THE WOOD PROCESSING INDUSTRY

**А. В. Мамаев<sup>1</sup>, Д. Д. Гриншпан<sup>2</sup>, Н. Г. Цыганкова<sup>2</sup>, Т. А. Савицкая<sup>2</sup>**  
**A. V. Mamaev<sup>1</sup>, D. D. Hrynshpan<sup>2</sup>, N. G. Tsygankova<sup>2</sup>, T. A. Savitskaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Национальный Детский Технопарк», НДТП

<sup>2</sup>Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»,  
НИИ ФХП БГУ

г. Минск, Республика Беларусь  
[grinshpan@bsu.by](mailto:grinshpan@bsu.by), [mamaev\\_a06@mail.ru](mailto:mamaev_a06@mail.ru)

<sup>1</sup>Educational institution «National Children's Technopark», NCTP

<sup>2</sup>Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, RI PCP BSU

Рассмотрен способ получения мезопористого активированного угля с высокой удельной поверхностью, равной 1289 м<sup>2</sup>/г. Получаемый уголь имеет очень высокую сорбционную способность по метиленовому

голубому, равную 610 мг/г, а также проявляет ионообменные свойства по отношению к ионам тяжёлых металлов. Уголь, получаемый по данному способу, по своим показателям значительно превосходит лучшие мировые аналоги, но его себестоимость в 4 раза ниже стоимости импортного активированного угля. Благодаря наличию мезопор активированный уголь имеет широкий спектр применения, а его производство на территории Беларуси будет прибыльным и поможет снизить количество образующихся древесных отходов.

A method for producing of mesoporous activated carbon with a high specific surface area equal to 1289 m<sup>2</sup>/g is considered. The resulting coal has a very high sorption capacity for methylene blue, equal to 610 mg/g, and also exhibits ion-exchange properties with respect to heavy metal ions. Coal obtained in this method, in terms of its performance, significantly exceeds the best world analogues, but its cost is 4 times lower than the cost of imported activated carbon. Due to the presence of mesopores, activated carbon has a wide range of applications, and its production in Belarus will be profitable and help reduce the amount of wood waste generated.

*Ключевые слова:* сорбент, активация, древесные отходы, мезопоры.

*Keywords:* sorbent, activation, wood waste, mesopores.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-304-307>

В настоящее время в результате работы деревообрабатывающей промышленности образуется большое количество отходов: кора, стружка, опилки и др. Переработка этого сырья с получением экономической выгоды является важной задачей.

В цехах Минлесхоза Республики Беларусь за 2020 г. образовалось 630 тыс. куб. метров коры и опилок. Концерном «Беллесбумпром» в 2020 г. было экспортировано 243,4 тыс. т древесной щепы и стружки по цене 21 \$ за тонну, 11 361 т опилок по цене 70,3 \$ за тонну. По данным государственного лесного учреждения «Рогачевский лесхоз», кора отдельно не собирается, её учёт не ведётся. Отходы лесоматериалов в виде опилок древесных, стружки древесной и щепы в полном объеме реализуются потребителям по ценам: опилки – 4 руб. 37 коп., отходы древесные – 5 руб. 25 коп., стружка древесная – 1 руб. 44 коп., щепа топливная – 34,98 руб. за тонну.

Сегодня древесные отходы имеют несколько путей практического применения. Измельчённую кору используют садоводы для мульчирования почвы. Из древесных опилок получают топливные гранулы и пеллеты. Щепа также используется для получения тепловой энергии. Из древесной стружки производят древесно-стружечные плиты, которые используются при строительстве и при изготовлении мебели.

Нам представилось целесообразным получить из вышеперечисленных отходов пористые углеродные адсорбенты (активированные угли). Реализация производства адсорбентов на базе дешевых отходов возобновляемого растительного сырья потенциально может способствовать не только вовлечению в материальный оборот мало утилизируемых отходов, но и решению природоохранных проблем.

В мире существует большое количество предприятий, которые сбрасывают в природные водоёмы огромное количество сточных вод, загрязнённых токсичными веществами и радионуклидами. 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).

Новизна работы заключается в том, что мы предлагаем сегодня начать производство активированного угля не из качественной древесины (берёзы), а из отходов деревообрабатывающей промышленности. Производство активированного угля по существующей технологии, т.е. парогазовой активацией древесины берёзы, на территории Беларуси является неконкурентоспособным, т.к. себестоимость получаемого по такой методике продукта в 5 раз превышает стоимость аналогичного импортного сорбента из России.

Для получения активированного угля был использован метод термохимического превращения растительной биомассы. Для этого навеска 5 г. древесных отходов пропитывалась растворами специального химического активатора различной концентрации в течение различного времени. Полученная масса переносилась в тигель и подвергалась двухстадийной термической обработке в муфельной печи при температурах 300 °С и 500 °С в течение различного времени. Уголь, образовавшийся после термической обработки, отмывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и отрицательной пробы на фосфат-ионы и высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Далее спектрофотометрически определяли сорбцию полученными активированными углями одного из главных калибрантов – красителя метиленового голубого (МГ) – по следующей методике. Навеску 0,1 г угля, взвешенную на аналитических весах с точностью до 0,0001 г, помещали в колбы вместимостью 50 см<sup>3</sup>, прибавляли 25 см<sup>3</sup> раствора МГ с концентрацией 2500 мг/дм<sup>3</sup>, перемешивали содержимое колб с помощью мешалки IKA KS 130 basic со скоростью 240 об/мин в течение 180 мин. По прошествии указанного времени исследуемые образцы отделяли центрифугированием в течение 10 мин при 7000 об/мин. Центрифугат объёмом 1 см<sup>3</sup> помещали в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup>, доводили дистиллированной водой до метки и перемешивали. Измерения оптической плотности проводили на спектрофотометре Metertech SP-830 plus при длине волны 590 нм. Используя калибровочный график, определяли конечную концентрацию красителя в растворе и рассчитывали сорбционную способность АУ с учетом различия концентраций раствора МГ до

и после сорбции. Для образцов АУ исследовали также сорбцию ионов тяжёлых металлов (меди, железа и цинка) и ионов кальция и магния при помощи ионного хроматографа Metrohm 850 Professional IC. Сканирующие микрофотографии поверхности АУ были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа “LEO-1420”. Препараты для просмотра готовили путем нанесения 1 см<sup>3</sup> суспензии угля на предметное стекло 1,5×1,5 см с последующей сушкой на воздухе. Перед просмотром на поверхность препаратов напыляли золото на установке K550 (EMITESH). Соотношение мезопор и микропор и удельную поверхность по ВЕТ определяли по данным низкотемпературной адсорбции азота.

Полученные результаты представлены в таблицах 1–4.

*Таблица 1 – Сорбционная способность по МГ активированных углей, полученных по разным методикам из коры и опилок в качестве растительного сырья*

Образец сорбента	Время химической обработки, ч	Выход, %	СС по МГ, мг/г
АУ из коры сосны (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 2 ч – 500 °С)	1	9,9	420
АУ из коры сосны (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	24	–	490
АУ из коры сосны (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	72	9,0	595
АУ из опилок (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	1	26	610
АУ из опилок (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	24	–	610
АУ из опилок (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	72	–	600

*Таблица 2 – Зависимость сорбционной способности и выхода АУ из опилок от массовой доли активатора*

Концентрация активатора, % (время обработки 1 ч)	Выход, %	Сорбционная способность, мг/г
50	18	540
68	26	610
75	21	530
80	26	500

*Таблица 3 – Сорбционная способность по метиленовому голубому экспериментальных и промышленных АУ*

Название препарата АУ (производитель)	МГ, мг/г
Таблетки (Natur Product), Франция	15±5
Гранулы «Карболонг», Украина	90±5
Таблетки «Norit», Нидерланды	170±10
Chim. Toppel NS 45	180±10
Таблетки «Carbo medicinalis 0,3 g», Польша	140±10
Таблетки АО «Медисорб», Россия	190±10
Таблетки Борщоговский ХФЗ, Украина	195±10
Таблетки ПО «Курский КЛС», Россия	230±10
Порошок «Белосорб-П», Беларусь	300±10
Активированный уголь (Несвиж), Беларусь	320±10
Обычный древесный уголь, Беларусь	190±10
Таблетки «Kohle-Compretten», (Merck), Германия	320±10
Таблетки «Ultracarbon» (Merck), Германия	250±10
Гранулы «Карбовит-КУ-II», Украина	250±10
Порошок АУТ-МИ, Светлогорск, Беларусь	470±10
Таблетки «Углесорб», НИИ ФХП БГУ, г. Минск (Беларусь)	540±10
АУ из коры (1 мм)	595±10
АУ из опилок	610±10
АУ из опилок	610±10

Таблица 4 – Содержание ионов в растворе после фильтрации через слой АУ, полученных из различного растительного сырья

Уголь, полученный из следующего сырья	Катионы, мг/л							Анионы, мг/л			
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sub>общ.</sub>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Кора крупная	27,3	1	15,6	9,7	0,18	0,9	1,4	17,5	90,1	8,1	0,0
Кора, размер частиц 1 мм	1,0	0,5	34,1	14,0	0,29	0,1	1,4	15,6	44,1	78,1	0,0
Лигнин	48,4	0,8	6,8	5,3	0,12	0,2	1,1	15,8	101,5	5,3	3,6
Бамбук	373,9	19,9	11,5	9,2	0,14	0,0	1,2	19,2	258,0	0,0	10,0
Исходный р-р	0,2	0,0	9,2	9,8	0,59	0,9	1,9	15,7	45,6	0,0	0,0

Как следует из таблиц 1–3, наилучшую сорбционную способность по метиленовому голубому имеет АУ из опилок – 610 мг/г. Он имеет высокую удельную поверхность, равную 1289 м<sup>2</sup>/г, из них 578 м<sup>2</sup>/г составляет поверхность микропор, 770 м<sup>2</sup>/г – мезопор. Суммарный объём пор составляет 0,83 см<sup>3</sup>/г. Установлено, что лучшие показатели активированный уголь достигаются при массовой доле активатора, равной 68 %. Оптимальное время химической обработки для коры составляет 72 ч, а для опилок – 1 ч. Показано, что получаемый АУ обладает катионообменными свойствами. Так, в процессе фильтрации модельного раствора через слой АУ из коры удалось достичь снижения концентрации ионов железа в 2 раза, а меди более чем в 8 раз (таблица 4).

По характеристикам сорбционной активности полученный АУ значительно превосходит лучшие мировые аналоги (таблица 3) и при этом имеет высокий выход, равный 26 %, и низкую зольность – меньше 0,5 %.

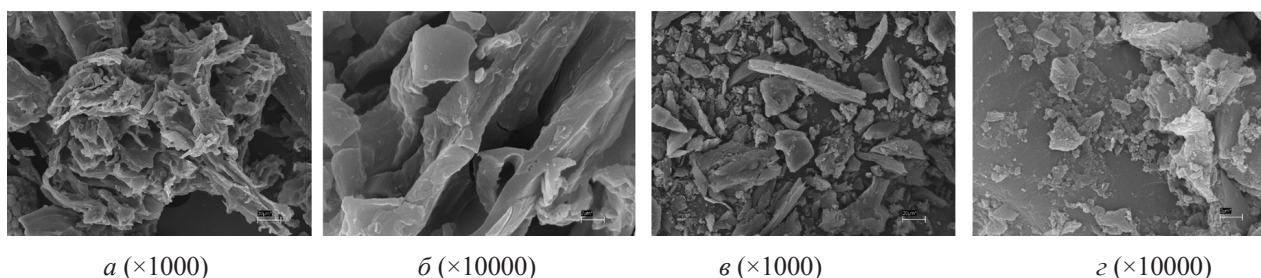


Рисунок 1 – СЭМ-снимки образцов АУ, полученных из коры (а, б) и опилок (в, г) при различных увеличениях

На рисунке 1 приведены сканирующие электронные микрофотографии поверхности углей из коры и опилок. Как было установлено по данным низкотемпературной адсорбции азота, получаемый АУ является мезопористым. Это означает, что он содержит поры размером 2 – 50 нм, которые способны сорбировать крупные молекулы. Адсорбцию в мезопорах характеризует последовательное формирование на их стенках слоев адсорбируемых молекул (полимолекулярная адсорбция), завершаемое заполнением этих пор по механизму капиллярной конденсации.

Полученные мезопористые АУ можно использовать в следующих целях:

- очистки воздуха от радиоактивных газов, легколетучих неорганических соединений и паров органических растворителей;
- очистки сточных вод АЭС от средне- и низкоактивных радионуклидов;
- очистки сточных вод фармацевтической промышленности от антибиотиков, гормональных препаратов, поверхностно-активных веществ;
- очистки спиртосодержащих продуктов в ликёро-водочной промышленности.

Согласно предварительному расчету, себестоимость полученного нами мезопористого активированного угля, произведенного из отходов, составляет менее \$5 000 за тонну, что равно стоимости закупаемого сегодня из-за рубежа обычного мезопористого активированного угля. Мезопористый уголь, импортируемый сегодня, стоит более \$20 000 за тонну. При сравнении указанных величин нетрудно рассчитать, какую выгоду будет получать Республика Беларусь при организации производства АУ из древесных отходов.

Таким образом, разработан новый способ получения высокоактивного мезопористого угля, имеющего высокие сорбционную способность по МГ, удельную поверхность и ионообменные свойства. Получаемый АУ значительно лучше мировых аналогов. Его производство на территории Беларуси будет прибыльным и поможет эффективно использовать древесные отходы. Поэтому целесообразно масштабировать производство АУ из коры и опилок и организовать опытно-промышленное и промышленное производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кинле, Х. Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле, Э. Бадер; пер. с нем. Т.Б.Сергеевой; под ред. Т.Г. Плаченова, С.Д. Колосенцева. – Л:Химия, Ленин. Отд-ние, 1984. – 215 с.
2. Левданский В.А., Полежаева Н.И., Макиевская А.И., Кузнецов Б.Н. Безотходная переработка коры пихты // Химия растительного сырья. – 2000. – №4. – С. 21–28.