

Научно-исследовательский журнал «Chemical Bulletin»

<https://cb-journal.ru>

2025, Том 8, № 3 / 2025, Vol. 8, Iss. 3 <https://cb-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

УДК 579.222.2

DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-3-1

## Адсорбция метиленового голубого активированными продуктами пиролиза лузги семян подсолнечника и бытовых отходов

<sup>1</sup> Раздобарин А.Е. \*,

<sup>1</sup> Везенцев А.И.,

<sup>2</sup> Труфанов Д.А.,

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

<sup>2</sup> ООО «Исследователь КМА»,

\* Ответственный автор E-mail: 1046335@bsuedu.ru

**Аннотация:** в условиях глобального экологического кризиса, вызванного стремительным ростом объёмов промышленных и бытовых отходов, поиск эффективных методов их переработки становится ключевой задачей устойчивого развития. Традиционные способы утилизации, такие как захоронение или сжигание, не только требуют значительных ресурсов, но и приводят к загрязнению атмосферы отрицательно биологически активными газами. В этом контексте пиролиз углеродсодержащих отходов представляет собой перспективную альтернативу, сочетающую экологическую безопасность и экономическую целесообразность. В отличие от сжигания, пиролиз протекает в среде с ограниченным содержанием кислорода, что минимизирует выбросы CO и CO<sub>2</sub>, а также позволяет получать ценные вторичные продукты – пиролизные газы, жидкие и твёрдые углеродные материалы. Последние пригодны для использования в качестве адсорбентов. Для увеличения адсорбционной способности используют активацию продуктов пиролиза химическими реагентами (щелочами, кислотами или водяным паром), что значительно повышает их пористость и адсорбционную ёмкость. В данной работе определены адсорбционные свойства активированных водным 2М раствором гидроксидом калия продуктов пиролиза лузги подсолнечника (КЛ-21(А)), продуктов пиролиза лузги подсолнечника совмещённых с бентонитовой глиной (КЛГ-21(А)) и продуктов пиролиза измельчённых изношенных автомобильных покрышек (КР-21(А)). Спектрофотометрическим методом изучена их эффективность в отношении адсорбции метиленового голубого (МГ) – модельного катионного красителя, широко применяемого в оценке поглощательной способности адсорбентов. Установлены кинетические зависимости адсорбции, определены предельные адсорбционные способности характеристики экспериментальных материалов в зависимости от концентрации МГ. Результаты экспериментальных исследований позволяют заключить, что активация продуктов пиролиза растительных и коммунальных отходов гидроксидом калия улучшает адсорбционные характеристики разработанного материала.

**Цели:** выявить адсорбционные свойства активированных водным 2М раствором гидроксида калия продуктов пиролиза лузги семян подсолнечника КЛ-21(А), продуктов пиролиза лузги семян подсолнечника совмещённых с бентонитовой глиной КЛГ-21(А) и продуктов пиролиза изношенных автомобильных покрышек КР-21(А).

**Методы.** Для исследования адсорбционных свойств спектрофотометрическим методом использовался спектрофотометр Nabi MicroDigital (Южная Корея), приборы и реактивы лабораторного назначения.

**Результаты.** Выявлены графические зависимости величины поглощающей способности от продолжительности и скорости адсорбции, построены, и проанализированы изотермы адсорбции.

**Выводы.** Получен адсорбционно-активный материал на основе продуктов пиролиза лузги семян подсолнечника и продуктов пиролиза изношенных автомобильных покрышек. Выявлена адсорбционная ёмкость образцов КЛ-21(А) – 474 мг/г, КЛГ-21(А) – 131 мг/г, КР-21(А) – 351 мг/г. Полученные изотермы детерминируются моделью Ленгмюра.

Установлено, что адсорбционное равновесие наступает через 6 часов у КЛ-21(А) и через сутки у КЛГ-21(А) и КР-21(А).

Выявлено, что наибольшая скорость адсорбции характерна для образца КЛ-21(А) и составила 0,00094 ммоль/мин или 0,300 мг/мин в первые 15 минут экспозиции.

**Ключевые слова:** утилизация, отходы агропромышленного комплекса, коммунальные отходы, лузга семян подсолнечника, изношенные автомобильные покрышки, адсорбция, метиленовый голубой, изотермы адсорбции

**Для цитирования:** Раздобарин А.Е., Везенцев А.И., Труфанов Д.А. Адсорбция метиленового голубого активированными продуктами пиролиза лузги семян подсолнечника и бытовых отходов // Chemical Bulletin. 2025. Том 8. № 3. 1. DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-3-1

Поступила в редакцию: 3 июня 2025 г.; Одобрена после рецензирования: 7 августа 2025 г.; Принята к публикации: 10 сентября 2025 г.

### Adsorption of methylene blue by activated pyrolysis products of sunflower seed husks

<sup>1</sup> Razdobarin A.E. \*,

<sup>1</sup> Vezentsev A.I.,

<sup>2</sup> Trufanov D.A.,

<sup>1</sup> Belgorod State National Research University,

<sup>2</sup> KMA Researcher LLC,

\* Corresponding author E-mail: 1046335@bsuedu.ru

**Abstract:** in the context of the global environmental crisis caused by the rapid growth of industrial and household waste, the search for effective methods of their recycling is becoming a key task of sustainable development. Traditional disposal methods, such as burial or incineration, not only require significant resources, but also lead to atmospheric pollution with negatively biologically active gases. In this context, pyrolysis of carbon-containing waste represents a promising alternative combining environmental safety and economic feasibility. Unlike combustion, pyrolysis takes place in an environment with a limited oxygen content, which minimizes CO and CO<sub>2</sub> emissions, and also allows for the production of valuable secondary products — pyrolysis gases, liquid and solid carbon materials. The latter are suitable for use as adsorbents. Activation of pyrolysis products by chemical reagents (alkalis, acids, or steam) is used to increase the adsorption capacity, which significantly increases their porosity and adsorption capacity. In this work, the adsorption properties of sunflower husk pyrolysis products activated with an aqueous 2 M solution of potassium hydroxide (KL-21(A)), sunflower husk pyrolysis products combined with bentonite clay (KL-21(A)) and pyrolysis products of crushed worn car tires (KR-21(A)) were determined. Their effectiveness in terms of adsorption of methylene blue (MG), a model cationic dye widely used in assessing the absorption capacity of adsorbents, has been studied by spectrophotometric method. Kinetic dependences of adsorption have been established, and the maximum adsorption capacities of experimental materials have been determined depending on MG concentration. The results of experimental studies allow us to conclude that the activation of pyrolysis products of crop and communal waste with potassium hydroxide improves the adsorption characteristics of the developed material.

**Objectives:** to identify the adsorption properties of pyrolysis products of sunflower seed husk KL-21(A) activated with an aqueous 2 M solution of potassium hydroxide, pyrolysis products of sunflower seed husk combined with bentonite clay KL-21(A) and pyrolysis products of worn-out automobile tires KR-21(A).

**Methods.** A Nabi MicroDigital spectrophotometer (South Korea), laboratory instruments and reagents were used to study the adsorption properties by the spectrophotometric method.

**Results.** Graphical dependences of the absorption capacity on the duration and rate of adsorption are revealed, and adsorption isotherms are constructed and analyzed.

**Conclusions.** An adsorption-active material based on pyrolysis products of sunflower seed husks and pyrolysis products of worn-out automobile tires was obtained. The adsorption capacity of CL-21(A) samples was 474 mg/g, CLG-21(A) – 131 mg/g, and KR-21(A) – 351 mg/g. The obtained isotherms are determined by the Langmuir model.

It was found that the adsorption equilibrium occurs after 6 hours in KL-21(A) and a day later in KL-21(A) and KR-21(A).

*It was found that the highest rate of adsorption is characteristic of the KL-21(A) sample and amounted to 0.00094 mmol/min or 0.300 mg/min in the first 15 minutes of exposure.*

**Keywords:** recycling, waste from the agro-industrial complex, municipal waste, sunflower seed husk, worn-out car tires, adsorption, methylene blue, adsorption isotherms

**For citation:** Razdobarin A.E., Vezentsev A.I., Trufanov D.A. Adsorption of methylene blue by activated pyrolysis products of sunflower seed husks. Chemical Bulletin. 2025. 8 (3). 1. DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-3-1

The article was submitted: June 3, 2025; Approved after reviewing: August 7, 2025; Accepted for publication: September 10, 2025.

## Введение

В современном мире происходит быстрое увеличение объемов сельскохозяйственных, промышленных и бытовых отходов, что негативно сказывается на экологии и здоровье населения. Один из современных методов переработки отходов это – пиролиз, также известный как сухая перегонка. Этот метод особенно актуален для утилизации отходов, содержащих органические соединения, такие как пластики и биомасса. В процессе пиролиза, т.е. без участия кислорода, в условиях высоких температур и отсутствия кислорода сложные органические молекулы подвергаются пиролизу. В ходе этого процесса происходит их деструкция с выделением горючего синтез-газа и ряда побочных веществ. Ключевыми факторами, определяющими состав продуктов, являются параметры исходного материала, температурный режим, давление, скорость нагрева и время экспозиции. Управление этими переменными является критически важным для оптимизации выхода целевых продуктов. Итогом термического разложения без доступа окислителя является превращение исходного вещества в простые летучие соединения и твердый углеродистый остаток. Этот остаток может использоваться как адсорбент или топливо, что делает процесс пиролиза более экологически целесообразным [1]. Полученный материал имеет высокоразвитую удельную поверхность благодаря наличию пористой структуры и отличается значительной адсорбционной способностью [2]. Пиролизу могут подвергаться органические отходы различного происхождения. Выбор исходного сырья во многом определяет адсорбционное сродство продуктов пиролиза и адсорбата. Авторами научной работы [3] использованы растительные органические отходы, например одним из наиболее распространённых является лигноцеллюлозное сырьё, включающее отходы лесопромышленного комплекса и сельского хозяйства [4], а также осадки ила, образующиеся при очистке сточных вод [5]. Помимо этого сырьём для получения углеродных адсорбентов служат отходы пищевой растительной промышленности, например пшеница,

овёс, рапс [6], сахарный тростник [7, 8]. Прямое сжигание является одним из методов утилизации, но этот подход имеет ограничения из-за высокой влажности сырья, а также значительного содержания серы и азота. Поэтому требуется дополнительная очистка дымовых газов перед их выбросом в атмосферу. Альтернативным эффективным способом утилизации является пиролиз отходов с последующей каталитической переработкой [9, 10]. В научной статье [11] методом пиролиза был получен углеродный адсорбент из лигнина, выделенного в процессе кислотной обработки древесины. В исследовании [12] продемонстрирована эффективность переработки изношенных автомобильных шин методом пиролиза с получением углеродного адсорбента.

Для открытия пор и увеличения удельной поверхности применяют парогазовую активацию, а также активацию с использованием щелочей или кислот. Среди применяемых реактивов для активации углеродных адсорбентов высокую эффективность демонстрирует гидроксид калия (КОН). В исследовании [13] древесное сырьё сначала подвергли пиролитическому разложению, а затем обработали полученный продукт гидроксидом калия. Другой подход, описанный в работе [14], заключался в использовании для модификации водно-спиртового раствора с концентрацией гидроксида калия 10% и этанола 5%.

В настоящее время адсорбционные процессы активно применяются в промышленности, особенно для разделения веществ и очистки промышленных выбросов. Эти технологии позволяют значительно сократить воздействие вредных веществ на окружающую среду, что особенно актуально в условиях ужесточения экологических стандартов. Разработка новых адсорбентов и изучение способов их применения является важной задачей с точки зрения как экологии, так и экономики. Повышение эффективности адсорбентов способствует снижению затрат на очистку выбросов и уменьшению потребления энергии, что в итоге положительно сказывается на общей производительности предприятий [15].

### Материалы и методы исследований

В данной работе использованы материалы, полученные в предыдущей работе [16], которые активировали гидроксидом калия. Активация проводилась в лабораторных условиях следующим образом: 10 г помещали в 100 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 2 М при температуре 20 °С. Обработка продолжалась от 60 минут до 4 часов. Полученным материалам дана маркировка: активированные продукты пиролиза лузги подсолнечника – КЛ-21(А), активированные продукты пиролиза лузги подсолнечника совмещённой с бентонитовой глиной – КЛГ-21(А) и активированные продукты пиролиза измельчённых изношенных автомобильных покрышек – КР-21(А). В качестве адсорбата использовали метиленовый голубой (МГ), выбор данного красителя обусловлен способностью углей эффективно поглощать органические молекулы, а также рядом других преимуществ:

хорошей растворимостью в воде, стабильностью в водных растворах, низкой токсичностью и безопасностью в работе. Кроме того, МГ является модельным соединением для изучения адсорбции, что позволяет сравнивать полученные результаты с литературными данными. Определение адсорбционных характеристик проведено по ГОСТ 30036.2-93. Каолин обогащенный. Метод определения показателя адсорбции (М.: Изд-во стандартов, 1994. С. 9). Концентрацию МГ определяли спектрофотометрически с использованием спектрофотометра Nabi MicroDigital (Южная Корея) при следующих условиях: температура 20 °С, масса навески 1 г, начальная концентрация раствора = 1 ммоль/л, толщина кюветы 1 см, длина волны 665 нм.

### Результаты и обсуждения

На рис. 1. Приведена графическая зависимость величины адсорбции от продолжительности экспозиции.

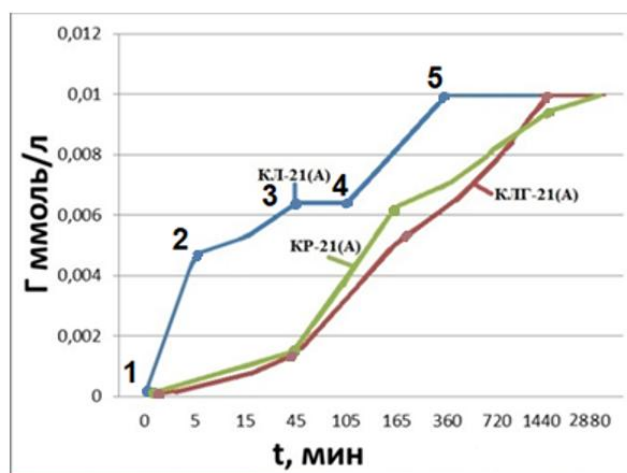


Рис. 1. Зависимость величины адсорбции от продолжительности адсорбции КЛ-21(А), КЛГ-21(А) и КР-21(А).

Fig. 1. Dependence of the adsorption value on the adsorption duration of KL-21(A), KLG-21(A) and KR-21(A).

На приведённом графике кривая КЛ-21(А) имеет перегибы, отмеченные номерами. На промежутке 1-2, наблюдается увеличение предельной адсорбции. В начальный момент времени на поверхности адсорбента много свободных активных центров, и молекулы адсорбата быстро занимают их. Адсорбция идёт преимущественно на внешней поверхности и в крупных порах. На промежутке 2-3, предельная адсорбция растёт медленнее, это объясняется тем, что большая часть легкодоступных центров уже занята, и молекулам приходится диффундировать в более узкие поры или конкурировать за оставшиеся места. На промежутке 3-4, не наблюдается увеличение предельной адсорбции. Адсорбция близка к равновесию – почти все ак-

тивные центры заполнены, система выходит на динамическое равновесие (скорость адсорбции = скорости десорбции). На промежутке 4-5 наблюдается последующее увеличение предельной адсорбции от продолжительности адсорбции, это связано с образованием нового адсорбционного слоя.

Для всех трех исследованных адсорбентов (КЛ-21(А), КЛГ-21(А), КР-21(А)) были получены одинаковые величины адсорбции, составившие 0,0995 ммоль/г МГ, однако различные продолжительности достижения адсорбционного равновесия (рис. 1). Адсорбционное равновесие между продуктами пиролиза лузги семян подсолнечника КЛ-21(А) и МГ достигается спустя 6 часов, в то время как для

продуктов пиролиза лузги семян подсолнечника и бентонитовая глины КЛГ-21(А) и продуктов пиролиза коммунальных отходов КР-21(А) адсорбционное равновесие установилось только через сутки.

На рис. 2 приведена зависимость скорости ад-

сорбции продуктов пиролиза лузги семян подсолнечника КЛ-21(А), продуктов пиролиза лузги семян подсолнечника, совмещённой с глиной КЛГ-21(А) и продукты пиролиза коммунальных отходов КР-21(А), от продолжительности процесса, при указанных условиях.

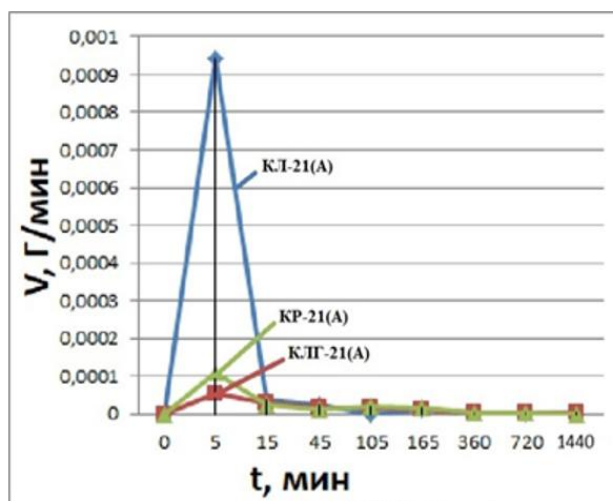


Рис. 2. Скорость адсорбции метиленового голубого, адсорбентом КЛ-21(А), КЛГ-21(А) и КР-21(А), как функция продолжительности процесса.

Fig. 2. The rate of adsorption of methylene blue by adsorbents KL-21(A), KLG-21(A) and KR-21(A) as a function of the process duration.

Исходя из данных рис. 2, установлено, что наибольшей скоростью адсорбции, составляющей 0,00094 ммоль/мин или 0,300 мг/мин на промежутке от 0 до 5 минут, обладают продукты пиролиза лузги семян подсолнечника КЛ-21(А). Эти результаты демонстрируют высокую эффективность данного материала в качестве адсорбента на начальных этапах процесса. Быстрая адсорбция в течение первых минут свидетельствует о хорошей доступности активных центров на поверхности углеродного материала. Кроме того, высокая скорость адсорбции на коротких временных интерва-

лах указывает на перспективность использования этого продукта в процессах, где требуются быстрые и эффективные методы очистки, такие как удаление загрязняющих веществ из газовых или жидких сред. Ближе к 12 часам скорость адсорбции становится постоянной и почти не изменяется с течением времени у всех продуктов.

Представленные изотермы адсорбции МГ на продуктах КЛ-21(А), КЛГ-21(А) и КР-21(А) обработаны с использованием модели Ленгмюра и изображены на рис. 3, и в линеаризованном виде на рис. 4.

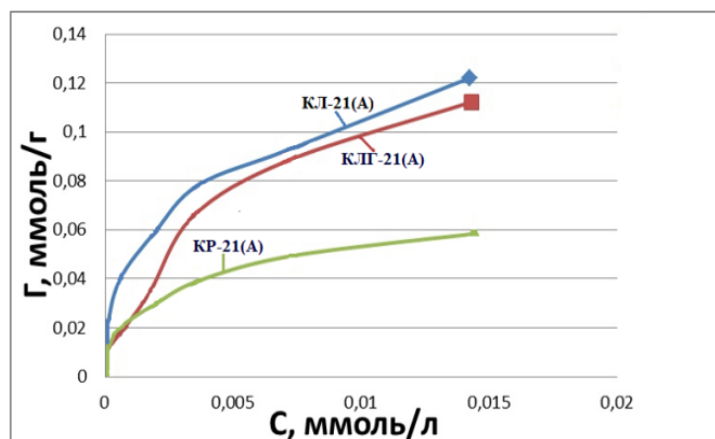


Рис. 3. Изотермы адсорбции метиленового голубого на адсорбентах КЛ-21(А), КЛГ-21(А), КР-21(А).  
Fig. 3. Adsorption isotherms of methylene blue on adsorbents KL-21(A), KLG-21(A), KR-21(A).

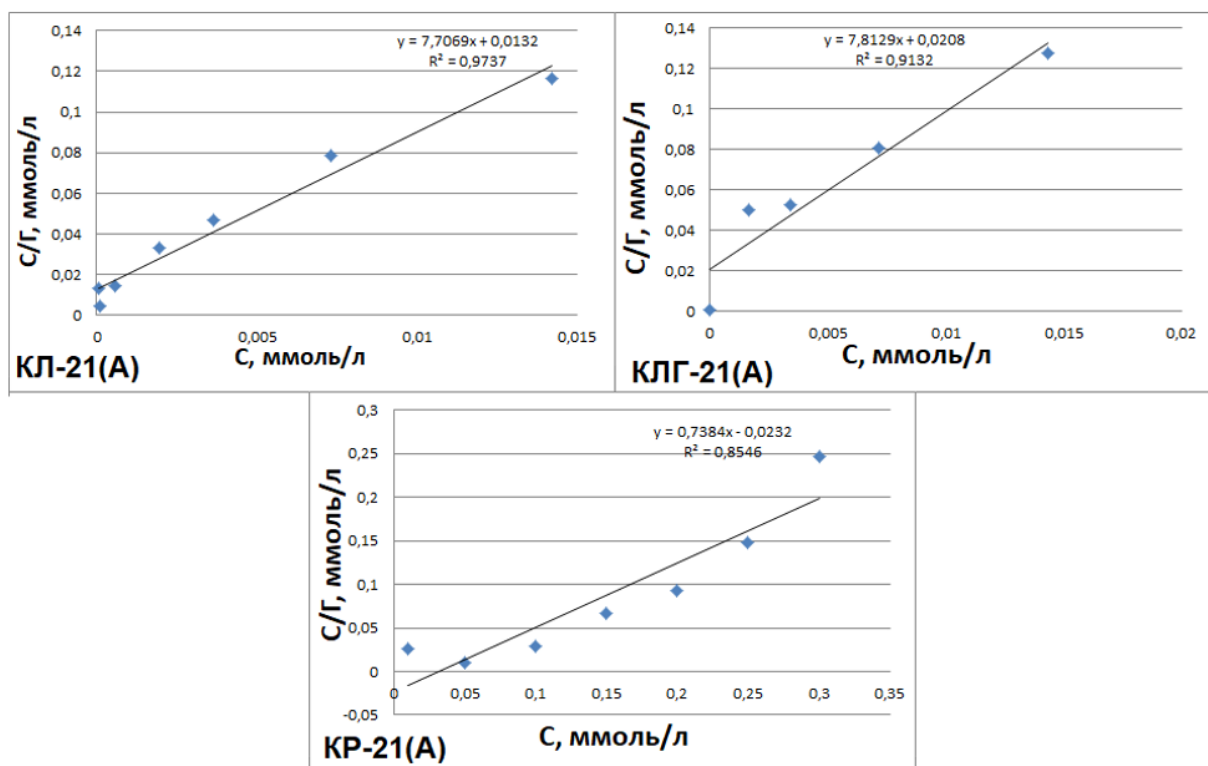


Рис. 4. Изотермы адсорбции метиленового голубого КЛ-21(А), КЛГ-21(А), КР-21(А) в линейном виде.  
Fig. 4. Adsorption isotherms of methylene blue KL-21(A), KLG-21(A), KR-21(A) in linear form.

Из данных полученных изотерм следует, что адсорбционная ёмкость КЛ-21(А) по метиленовому голубому равняется 1,48 ммоль/г или 0,474 г/г, КЛГ-21(А) – 0,411 ммоль/г или 0,131 г/г, а КР-21(А) – 1,098 ммоль/г или 0,351 г/г. Таким образом, установлено, что обработанные водным 2М раствором гидроксида калия продукты пиролиза лузги семян подсолнечника (КЛ-21(А)), характеризуются наибольшей величиной адсорбционной ёмкости, а величины адсорбционной ёмкости, КР-21(А) и КЛГ-21(А) оказались в 1,5 и 4 раза меньше

соответственно. Хотя все значения  $R^2$  превышают 0,85, что подтверждает применимость модели Ленгмюра, наибольшие коэффициенты детерминации получены для КЛ-21(А) ( $R^2 = 0,9737$ ) и КЛГ-21(А) ( $R^2 = 0,9132$ ).

В таблице систематизированы данные по адсорбционной ёмкости образцов КЛ-21, КЛГ-21 и КР-21, полученные в предыдущей работе, до и после химической активации КОН, демонстрирующие увеличение сорбционной способности в результате проведённой активации.



Таблица 1

Адсорбционная ёмкость продуктов пиролиза и их вариант, активированный гидроксидом калия по отношению к метиленовому голубому.

Table 1

Adsorption capacity of pyrolysis products and their variant activated with potassium hydroxide in relation to methylene blue.

Продукты пиролиза	Адсорбционная ёмкость, мг/г	Адсорбционная ёмкость, ммоль/г	Активированные продукты пиролиза	Адсорбционная ёмкость, мг/г	Адсорбционная ёмкость, ммоль/г
КЛ-21	417	1,304	КЛ-21(А)	474	1,482
КЛГ-21	129	0,403	КЛГ-21(А)	131	0,410
КР-21	299	0,935	КР-21(А)	351	1.097

Анализ экспериментальных результатов, приведённых в таблице позволил выявить, что наибольшее увеличение величины адсорбции МГ в результате щелочной обработки зафиксировано у продуктов пиролиза лузги семян подсолнечника (КЛ-21). Наибольшей адсорбционной ёмкостью характеризуется активированный продукт КЛ-21(А), адсорбционная ёмкость которого составила 474 мг/г, против – 131 мг/г и 351 мг/г для КЛГ-21(А) – КР-21(А) соответственно. Согласно ГОСТу 4453-74. Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия. 1976. С.18, адсорбционная ёмкость адсорбентов по метиленовому голубому должна составлять не менее 200 мг/г. Таким образом, продукты пиролиза КЛ-21(А) и КР-21(А) соответствуют стандартам адсорбционной ёмкости адсорбентов по метиленовому голубому.

### Выводы

Обработка продуктов пиролиза лузги семян подсолнечника водным 2М раствором гидроксида калия является эффективным и экономически целесообразным методом увеличения адсорбционной ёмкости. Установлена графическая зависимость скорости адсорбции от продолжительности процесса. Наибольшая скорость адсорбции характерна для образца КЛ-21(А) и составила 0,00094 ммоль/мин или 0,300 мг/мин в первые 15 минут экспозиции.

Основываясь на данных литературных источников и результатах эксперимента, сделан вывод о возможности применения полученного продукта для адсорбции крупных органических молекул, таких как метиленовый голубой, то есть использования, созданных адсорбционно-активных материалов для очистки технологической, сточной и питьевой воды от органических веществ.

### Финансирование

Работа выполнена в соответствии с координационным планом научного совета по физической химии Российской академии наук “Разработка коллоидно-химических основ технологии адсорбента, полученного методом пиролиза растительных отходов” Шифр темы 15.2.У

С использованием современного научного оборудования Центра коллективного пользования “Технологии и материалы” НИУ БелГУ

### Список источников

1. Muradov I., Toshmamatov B.M., Kurbanova N.M., Baratova S.R., Temirova L. Development of A Scheme For The Thermal Processing of Solid Household // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2019. Vol. 6. P. 10784 – 10787.
2. Томина Е.В., Ходосова Н.А., Тьен Н.А., Мануковская В.Е., Хай Н.Х. Особенности сорбции метиленового голубого биоуглями на основе карбонизатов сосны и березы // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. № 1. С. 44 – 55.
3. Assoc. Ph.D., Nistratov A.V., Prof. Dr., Klushin V.N. Preparation and properties of carbon adsorbents based on plant raw materials and polymeric wast // International scientific journal "machines. technologies. materials. 2019. P. 166 – 170.
4. Oasmaa A., Lehto J., Solantausta Y., Kallio S. Historical review on VTT fast pyrolysis Bio-oil production and upgrading // Journal of Siberian Federal University. Chemistry 2021 P. 489 – 501.
5. Xie Q., Peng P., Liu S., Min M., Cheng Y., Wan Y., Li Y., Lin X., Liu Y., Chen P., Ruan R. Fast microwave-assisted catalytic pyrolysis of sewage sludge for bio-oil production // Bioresource Technology 2014. Vol. 172. P. 162 – 168.

6. Мухин В.М. Активные угли из углеродосодержащих отходов // Физико-химические проблемы адсорбции, структуры и химии поверхности нанопористых материалов: Сборник трудов всероссийского симпозиума с международным участием, посвященный 150-летию российского физикохимика Н.А. Шиловой, Москва, 16-20 октября 2023 года. Москва: Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 2023. С. 29 – 31.
7. Нгуен Д.Т. Адсорбенты из отходов сахарного производства // Инновационные материалы и технологии – 2020: материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, Минск, 09-10 января 2020 года / Белорусский государственный технологический университет. Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2020. С. 461 – 463.
8. Еремин И.С. Разработка сорбирующего материала на основе сахарного тростника // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 10. С. 14 – 17.
9. Zhang L., Sosa A.C., Walters K.B. Impacts of thermal processing on the physical and chemical properties of pyrolysis oil produced by a modified fluid catalytic cracking pyrolysis process // Energy and Fuels 2016. Vol. 30. P. 7367 – 7378.
10. Mortensen P.M., Grunwaldt J.D., Jensen P.A., Knudsen K.G., Jensen A.D. A review of catalytic upgrading of bio-oil to engine fuels // Applied Catalysis A: General 2011. Vol. 407. P. 1 – 19.
11. Еремина А.О., Головина В.В., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н. Углеродные адсорбенты из гидролизного лигнина для очистки сточных вод от органических примесей // Journal of Siberian Federal University. С. 100 – 107.
12. Макаревич Е.А., Папина А.В., Черкасовой Е.В., Игнатовой А.Ю. Применение твёрдого углеродного остатка пиролиза автошин в качестве адсорбента для очистки вод от органических веществ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2019. № 2 (132). С. 96 – 100.
13. Томина Е.В., Ходосова Н.А., Тьен Н.А., Мануковская В.Е., Хай Н.Х. Особенности сорбции метиленового голубого биоуглями на основе карбонизатов сосны и березы // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. Т. 24. № 1. С. 44 – 55.
14. Кошелева А.В., Стоянова А.Д., Мухин В.М. Извлечение неорганических загрязнителей из водных растворов на модифицированном угле МеКС // Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37. № 14. С. 26 – 28.
15. Дробышев В.М., Ляшенко С.Е., Соболева И.В. Изучение зависимости свойств углеродных волокнистых адсорбентов от условий их получения // Успехи в химии и химической технологии. 2013. Т. 27. № 1. С. 102 – 109.
16. Vezentsev A.I., Sevastyanov V.S., Yaprntsev M.N., Razdobarin A.E. Study of the material composition of carbon black obtained as a result of MSW thermolysis // Innovations in life sciences. Digital Technologies in Construction Engineering. Selected Papers. Ser. "Lecture Notes in Civil Engineering". 2022. С. 375 – 376.

### References

1. Muradov I., Toshmamatov B.M., Kurbanova N.M., Baratova S.R., Temirova L. Development of a Scheme for the Thermal Processing of Solid Household. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2019. Vol. 6. P. 10784 – 10787.
2. Tomina E.V., Khodosova N.A., Tien N.A., Manukovskaya V.E., Hai N.Kh. Features of Methylene Blue Sorption by Biochars Based on Pine and Birch Carbonates. Sorption and Chromatographic Processes. 2024. No. 1. P. 44 – 55.
3. Assoc. Ph.D., Nistratov A.V., Prof. Dr., Klushin V.N. Preparation and properties of carbon adsorbents based on plant raw materials and polymeric waste. International scientific journal "machines. technologies. materials. 2019. P. 166 – 170.
4. Oasmaa A., Lehto J., Solantausta Y., Kallio S. Historical review on VTT fast pyrolysis Bio-oil production and upgrading. Journal of Siberian Federal University. Chemistry 2021 P. 489 – 501.
5. Xie Q., Peng P., Liu S., Min M., Cheng Y., Wan Y., Li Y., Lin X., Liu Y., Chen P., Ruan R. Fast microwave-assisted catalytic pyrolysis of sewage sludge for bio-oil production. Bioresource Technology 2014. Vol. 172. P. 162 – 168.



6. Mukhin V.M. Activated carbons from carbon-containing waste. Physicochemical problems of adsorption, structure and surface chemistry of nanoporous materials: Collection of papers of the All-Russian symposium with international participation dedicated to the 150th anniversary of the Russian physical chemist N.A. Shilov, Moscow, October 16-20, 2023. Moscow: A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences, 2023. P. 29 – 31.
7. Nguyen D.T. Adsorbents from sugar production waste. Innovative materials and technologies – 2020: proceedings of the International scientific and technical conference of young scientists, Minsk, January 9-10, 2020. Belarusian State Technological University. Minsk: Belarusian State Technological University, 2020. P. 461 – 463.
8. Eremin I.S. Development of a sorbing material on based on sugarcane. Ecology and Industry of Russia. 2017. Vol. 21. No. 10. P. 14 – 17.
9. Zhang L., Sosa A.C., Walters K.B. Impacts of thermal processing on the physical and chemical properties of pyrolysis oil produced by a modified fluid catalytic cracking pyrolysis process. Energy and Fuels 2016. Vol. 30. P. 7367 – 7378.
10. Mortensen P.M., Grunwaldt J.D., Jensen P.A., Knudsen K.G., Jensen A.D. A review of catalytic upgrading of bio-oil to engine fuels. Applied Catalysis A: General 2011. Vol. 407. P. 1 – 19.
11. Eremina A.O., Golovina V.V., Chesnokov N.V., Kuznetsov B.N. Carbon adsorbents from hydrolytic lignin for wastewater treatment from organic impurities. Journal of Siberian Federal University. P. 100 – 107.
12. Makarevich E.A., Papina A.V., Cherkassovoy E.V., Ignatova A.Yu. Use of solid carbon residue from tire pyrolysis as an adsorbent for water treatment from organic substances. Bulletin of Kuzbass State Technical University. 2019. No. 2 (132). P. 96 – 100.
13. Tomina E.V., Khodosova N.A., Tien N.A., Manukovskaya V.E., Hai N.Kh. Features of methylene blue sorption by biochars based on pine and birch carbonates. Sorption and Chromatographic processes. 2024. Vol. 24. No. 1. P. 44 – 55.
14. Kosheleva A.V., Stoyanova A.D., Mukhin V.M. Extraction of inorganic pollutants from aqueous solutions on modified MeCS carbon. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2023. Vol. 37. No. 14. P. 26 – 28.
15. Drobyshev V.M., Lyashenko S.E., Soboleva I.V. Study of the dependence of the properties of carbon fibrous adsorbents on the conditions of their preparation. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2013. Vol. 27. No. 1. P. 102 – 109.
16. Vezentsev A.I., Sevastyanov V.S., Yapyrintsev M.N., Razdobarin A.E. Study of the material composition of carbon black obtained as a result of MSW thermolysis. Innovations in life sciences. Digital Technologies in Construction Engineering. Selected Papers. Series: "Lecture Notes in Civil Engineering". 2022. P. 375 – 376.

### **Информация об авторах**

Везенцев А.И., доктор технических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, [vesentsev@bsu.edu.ru](mailto:vesentsev@bsu.edu.ru)

Раздобарин А.Е., аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, [1046335@bsuedu.ru](mailto:1046335@bsuedu.ru)

Труфанов Д.А., научный сотрудник, ООО «Исследователь КМА», [trufanovda@gmail.com](mailto:trufanovda@gmail.com)

© Везенцев А.И., Раздобарин А.Е., Труфанов Д.А., 2025

***Information about the authors***

Vezentsev A.I., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Belgorod State National Research University, [vesentsev@bsu.edu.ru](mailto:vesentsev@bsu.edu.ru)

Razdobarin A.E., Postgraduate Student, Belgorod State National Research University, [1046335@bsuedu.ru](mailto:1046335@bsuedu.ru)

Trufanov D.A., Researcher, Researcher KMA LLC, [trufanovda@gmail.com](mailto:trufanovda@gmail.com)

© Vezentsev A.I., Razdobarin A.E., Trufanov D.A., 2025