

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ БУРОГО УГЛЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЩЕЛОЧНОЙ АКТИВАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СОРБЕНТОВ

Е. В. Ворсина¹, Т. В. Москаленко¹, В. А. Михеев¹

¹ Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия

Аннотация: Представлены данные по исследованию влияния способов подготовки харанорского бурого угля к проведению щелочной активации на адсорбционные свойства получаемых образцов. Описана методика проведения щелочной активации угля посредством импрегнирования гидроксидом калия и термолиза при 800 °С в режиме термоудара. В зависимости от природы воздействия выделены группы способов для подготовки сырья к процессу активации: химические, механические, термические, физические и комбинированные. Рассмотрено влияние на сорбцию полученных образцов предварительного воздействия на углещелочную смесь посредством термообработки, не приводящей к разложению сырья (термовыщелачивания) и механической обработки (механоактивации) как в отдельности, так и в комбинации друг с другом. Проведено сравнение качественных показателей сорбентов, полученных при щелочной активации харанорского бурого угля без предварительной подготовки и с применением термовыщелачивания и механоактивации. Применение термовыщелачивания на харанорском буром угле позволило увеличить адсорбционную активность по йоду на 15–20%, а в комбинации с последующим механическим активированием углещелочной смеси перед проведением термолиза – на 17–33% в сравнении с проведением щелочной активации без предварительной подготовки. Проведенные экспериментальные исследования позволили выделить термовыщелачивание (предварительный нагрев и выдержка при температуре 160 °С смеси угля со щелочью) как перспективный способ подготовки бурого угля к щелочной активации при получении сорбентов.

Ключевые слова: бурый уголь, щелочная активация, углеродные сорбенты, адсорбционная активность по йоду, изотермическая выдержка, термоудар.

Для цитирования: Ворсина Е. В., Москаленко Т. В., Михеев В. А. Исследование способов подготовки бурого угля к проведению щелочной активации при получении сорбентов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 59–68. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_59.

Methods of alkaline activation pretreatment of lignite for production of adsorbents

E. V. Vorsina¹, T. V. Moskalenko¹, V. A. Mikheev¹

¹ N. V. Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Abstract: The article presents studies into the influence exerted by the method of preparation of Kharanor lignite for alkaline activation on the adsorption properties of the resultant product. The alkaline activation procedure involves potassium hydroxide impregnation and thermolysis in the mode of thermal shock at 800 °C. Depending on the nature of the effect, the chemical, mechanical, thermal, physical and mixed-type methods of preparing coal for activation are distinguished. The influence exerted on adsorption properties of produced samples by preliminary thermal treatment of coal-alkaline mixture without decomposition (thermal leaching) and by mechanical treatment, both individually and in combination, is investigated. The qualitative properties of adsorbents produced in alkaline leaching of Kharanor lignite without preliminary treatment as well as with thermal leaching and physical treatment are compared. Thermal leaching of Kharanor lignite enhances its adsorbability relative to iodine by 15–20 %, while physical treatment of coal-alkaline mixture before thermolysis increases adsorbability by 17–33 % as against alkaline leaching without pretreatment. The experimental research proves that thermal leaching (preheating of coal and alkaline mixture and its holding at the temperature of 160 °C) is a promising method to prepare lignite for alkaline activation in production of adsorbents.

Key words: lignite, alkaline activation, carbon adsorbents, iodine adsorbability, isothermal exposure, thermal shock.

For citation: Vorsina E. V., Moskalenko T. V., Mikhhev V. A. Methods of alkaline activation pretreatment of lignite for production of adsorbents. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12-1):59–68. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_59.

Введение

Разработка новых методов углубленной переработки первичных ресурсов для модернизации и развития перерабатывающих производств в настоящее время является одним из перспективных направлений по обеспечению экономического и социального развития Дальнего Востока и Байкальского региона [1]. Регионы Восточной Сибири и Дальнего Востока совместно с Кузнецким угольным бассейном являются основной сырьевой базой угольной промышленности России как в настоящее время, так и на отдаленную перспективу. Учитывая значительные запасы ископаемых углей и развитые темпы угледобычи, внедрение здесь современных технологий по обогащению и глубокой переработке угля является основным направлением развития и повышения конкурентоспособности угольной отрасли страны.

Ископаемый уголь в качестве сырья для такого продукта высокого передела, как сорбенты, вызывает на сегодня

наш день значительный научный интерес [2]. Активные угли (АУ) обладают рядом свойств, обуславливающим обширный диапазон их применения: высокая удельная поверхность, оптимальная пористость, устойчивость, стабильная поглотительная способность, минимальное каталитическое воздействие на очищаемые среды, достаточная механическая прочность, гидрофобность [3–11].

Адсорбционная активность АУ зависит в первую очередь от их пористой структуры и химии поверхности, формируемые подбором оптимальных параметров при различных способах активации. Способ щелочной активации углей разной степени метаморфизма (от бурых для антрацитов) показал свою эффективность в процессе формирования высоких параметров, характеризующих пористую структуру АУ [12–16]. При этом универсальным активирующим агентом многими исследователями признан гидроксид калия [17], который приводит к боль-

шему образованию суммарного объёма пор в угле, чем гидроксиды других щелочных металлов [17–19].

Подбор условий протекания стадии щелочной активации углей конкретных месторождений с целью получения высококачественных сорбентов является актуальной научно-технической задачей. В тоже время стадия подготовки сырья к активации имеет важное значение, так как может привести те или иные изменения в его нативное состояние.

Методика экспериментальных исследований по получению сорбентов из бурого угля

Щелочная активация образцов бурого угля и последующий термолиз проводились по следующей методике. Гидроксид калия вводится в уголь импрегнированием при определенном соотношении КОН/уголь. Количество щелочи для пропитки угля определяется по соотношению щелочь/уголь, выраженному в граммах КОН на 1 г сухого угля. КОН (50% раствор) приливается к углю и перемешивается вручную до однородной массы. Затем угольно-щелочная смесь выдерживается в герметично закрытой таре 2 ч. Импрегнированный гидроксидом калия бурый уголь в закрытой лабораторной посуде помещается в муфельную печь. Термолиз проводится в режиме термоудара при заданных экспериментом температуре и времени. По истечении необходимого времени изотермической выдержки полученный твердый продукт вынимается из муфельной печи, охлаждается при комнатной температуре и отмывается от щелочи сначала 0,1N раствором соляной кислоты, затем дистиллированной водой до получения нейтральной реакции промывных вод и высушивается до воздушно-сухого состояния. После чего проводятся

лабораторные исследования по определению параметров технического анализа и адсорбционной активности по йоду образцов.

Ранее в ходе проведенных исследований [20–22] по получению сорбентов способом щелочной активации бурого угля были получены углеродные материалы с параметрами пористой структуры на уровне лучших марок активных углей для адсорбции из жидкой фазы.

С учетом предыдущих исследований были установлены оптимальные параметры щелочной активации для исследования влияния способов подготовки угля на сорбционную активность получаемых сорбентов: импрегнирование угольного сырья гидроксидом калия в соотношении 1 г/г, проведение термолиза в режиме термоудара при 800 °С с последующей изотермической выдержкой без доступа воздуха в течение 60 мин. В то же время эксперименты с предварительной обработкой проводились для проверки не только обработки при оптимальных параметрах режима щелочной активации, но и реакции на их снижение, поскольку предполагалось, что предварительная обработка может быть эффективна и при меньших значениях содержания щелочного реагента, температуры и времени изотермической выдержки.

Способы подготовки угля к проведению щелочной активации

По природе своего воздействия способы подготовки углесодержащего сырья к процессу активации можно разделить на следующие:

- химический способ (обработка сырья различными химическими органическими и неорганическими реагентами);
- механический способ (механическая обработка сырья — дробление и рассев по классам, механоактивация);

– термический способ (температурное воздействие до активации, не приводящее к разложению сырья);

– физический способ (воздействием физических полей, например, электромагнитным или ультразвуковым излучением);

– комбинированный способ (при сочетании нескольких способов подготовки).

В лаборатории комплексного использования углей Института горного дела Севера им. Н. В. Черского (ИГДС СО РАН) проводятся исследования по изучению вышеперечисленных способов подготовки угольного сырья к проведению его щелочной активации. Данная работа посвящена рассмотрению способов термовыщелачивания и механоактивации, а также их комбинации с различной последовательностью. Эти способы показали свою эффективность в наших исследованиях при выделении гуминовых веществ из бурых углей, что позволило предположить возможное влияние их воздействия на поровую структуру угля.

Механоактивация — это активирование твердых веществ механической обработкой. При измельчении твердых веществ образуются новые поверхности, которые, соприкасаясь с окисляющим реагентом, ускоряют реакции окисления. Механическая обработка исходных компонентов обеспечивает химическое взаимодействие между твердым телом и реагентами за счет ускорения процессов массопереноса и эффективного смешения компонентов. В процессах, связанных с переработкой и сжиганием угля, механоактивация применяется часто. Данный вид механического воздействия при измельчении определенным образом влияет на структурные и физико-химические свойства.

Термовыщелачивание. В ИГДС СО РАН разработан способ получения

гуминовых веществ из бурых углей (Патент РФ № 2174529). В соответствии с этой технологией бурый уголь определенной влажности и крупности перемешивается со щелочью. Смесь выдерживается при комнатной температуре 1 ч до полного растворения щелочи во влаге угля, а затем высушивается и подвергается термообработке при температуре 130–160°C в течение 4–7 ч.

В соответствии со способом подготовки сырья к щелочной активации в методику были внесены следующие дополнения.

Механоактивация проводилась измельчением бурого угля в мельнице в течение 5 мин при частоте вращения 300 об/мин. Эта операция проводилась в двух вариантах. Первый — механоактивация сырья до введения в него гидроксида калия (до импрегнирования), второй — механоактивация сырья после импрегнирования гидроксидом калия.

Термовыщелачивание проводилось после введения в сырье гидроксида калия импрегнированием при определенном соотношении КОН/уголь. После двухчасовой пропитки смесь подвергалась термическому воздействию в сушильном шкафу при температуре 160 °С до полного испарения влаги и после этого выдерживается при этой же температуре в течение 1 ч.

Комбинированные способы подготовки сырья проводились при сочетании перечисленных дополнений в методике.

Результаты

В качестве исходного сырья для получения сорбентов применялся бурый уголь Харанорского месторождения (Забайкальский край), качественные характеристики которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технический анализ и сорбционные свойства бурого угля Харанорского месторождения
Technical analysis and sorption properties of the Kharanor's lignite

Класс крупности	Показатели технического анализа, %				X, %
	W ^l	W ^a	A ^d	V ^{daf}	
0–2 мм	9,1	8,0	7,5	46,5	18,1

Примечание: W^l – лабораторная влага образца, %; W^a – содержание влаги аналитической, %; A^d – зольность на сухую массу, %; V^{daf} – выход летучих веществ на сухое беззольное состояние, %; X – адсорбционная активность по йоду, %.

Таблица 2

Основные результаты экспериментальных исследований
Key test results

Способ подготовки сырья	КОН/уголь, г/г	t, мин	Теханализ, %			X, %
			W ^a	A ^d	V ^{daf}	
Без предварительной подготовки	1:1	30	7,4	7,2	9,3	74,2
		60	6,5	8,4	9,6	75,3
Механический способ						
механоактивация	1:1	30	7,3	6,8	9,7	73,4
		60	7,0	7,5	9,9	77,1
Термический способ						
термовыщелачивание	0,5:1	30	5,6	7,9	9,1	70,0
		60	4,5	9,4	9,1	75,7
	1:1	30	7,0	7,8	9,9	88,1
		60	6,2	8,8	9,9	91,2
Комбинированный способ						
термовыщелачивание механоактивация	0,5:1	30	8,9	4,5	17,4	90,1
		60	8,2	3,8	14,4	93,8
	1:1	30	9,9	3,0	36,8	93,4
		60	9,2	4,0	41,4	100,5
механоактивация термовыщелачивание	0,5:1	30	4,9	8,3	9,7	72,9
		60	4,4	8,9	9,1	83,1
	1:1	30	5,8	6,0	8,8	79,3
		60	5,3	8,9	10,1	77,1

Примечание: t – время изотермической выдержки при 800 °С, мин.

Основные результаты экспериментальных исследований по изучению влияния способов подготовки бурого угля к проведению его щелочной активации на сорбционную активность получаемых образцов приведены в табл. 2. Для сравнения в табл. 2 представлены показатели технического анализа и адсорбционная активность по йоду образца, полученного без предварительной подготовки к щелочной активации угля из той же пробы при оптимальных параметрах.

Обсуждение результатов

По данным табл. 2 видно, что проведение механоактивации перед щелочной активацией угля с соотношением КОН/уголь 1:1 не оказало значимого эффекта на адсорбционную активность по йоду полученного образца, что наблюдалось также и при меньшем соотношении КОН/уголь (0,25:1, 0,5:1, 0,75:1). Также при применении механоактивации перед термовыщелачиванием полученные результаты стали сопоставимыми с ранними результатами щелочной активации бурого угля без предварительной подготовки (разница величины адсорбционной активности по йоду 2,4–7%). При этом применение для подготовки проб термовыщелачивания в чистом виде позволило увеличить величину X на 20%. Термовыщелачивание в комбинации с последующей механоактивацией позволило увеличить величину адсорбционной активности по йоду на 25–33% в сравнении с результатами щелочной активации без проведения дополнительной подготовки бурого угля. Увеличение величины X в среднем на 15 и на 17% также было получено при соотношении КОН/уголь 0,5:1, в экспериментах с предварительным термовыщелачиванием и комбинации термовыщелачивания

перед механоактивацией соответственно. При меньшем количестве щелочи в смеси с углем (0,25:1, и 0,75:1) такого явного эффекта уже не наблюдалось.

Таким образом, увеличение сорбционной активности по йоду достигается при применении в качестве подготовки к щелочной активации термовыщелачивания и термовыщелачивания с последующей механоактивацией.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования позволили выделить термовыщелачивание (предварительный нагрев и выдержка при температуре 160 °С смеси угля с щелочью) как перспективный способ подготовки бурого угля к щелочной активации при получении сорбентов.

Термовыщелачивание позволило увеличить сорбцию получаемых образцов как при использовании отдельно, так и в комбинации с механоактивацией. Комбинирование термического и механического способов подготовки показало влияние последовательности их воздействия. Так, применение термовыщелачивания на пробах харанорского бурого угля позволило увеличить адсорбционную активность по йоду на 15–20%, а в комбинации с последующим механическим активированием углещелочной смеси перед проведением термолитиза – на 17–33% в сравнении с проведением щелочной активации без предварительной подготовки.

По этой причине для получения сорбентов с наибольшей сорбционной активностью наряду с подбором оптимальных параметров проведения щелочной активации углей рационально проведение исследований по выбору эффективных способов подготовки углей к активации, по комбинированию способов подготовки при различной

последовательности их воздействия, на углях различного качества и конкрет-
а также по опробованию этих способов ных месторождениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чеван А. Ю., Секисов Г. В., Хрунина Н. П., Соболев А. А., Узай С. М. Перспективы развития Дальневосточного региона и экологические аспекты ведения горных работ // Системы. Методы. Технологии. — 2015. — № 3 (27). — С. 156–161.
2. Simate G. S., Maledi N., Ochieng A., Ndlovu S., Zhang J., Lubinda F. Walubita. Coal-based adsorbents for water and wastewater treatment // Journal of Environmental Chemical Engineering, 2016, Vol. 4, no 2, pp. 2291–2312. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.051> (дата обращения: 30.05.2021).
3. Loginov D. A., Islamov S. R., Stepanov S. G., Kochetkov V. N. Sorbent production from low-ash brown coal // Solid Fuel Chemistry, 2016, Vol. 50, no 2, pp. 115–119. DOI 10.3103/S0361521916020051.
4. Skripkina T., Bychkov A., Tikhova V., Smolyakov B., Lomovsky O. Mechanochemically oxidized brown coal and the effect of its application in polluted water // Environmental Technology & Innovation, 2018, Vol. 11, pp. 74–82. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.04.010> (дата обращения: 20.06.2021).
5. Мухин В. М., Тарасов А. В., Клушин В. Н. Активные угли России. Под общей редакцией проф. д-ра техн. наук А. В.Тарасова. М.: Metallurgy, 2000. — 352 с.
6. Jia J. B., Du H. H., Huang G. X., Liu Q. R., Xing B. L., Zhang C. X., Guo H. Y., Pan J. N. Research progress in non-energy utilization of lignite // Xiandai Huagong. Modern Chemical Industry, 2018, Vol. 38, No 6, pp. 24–27.
7. Buyantuev S. L., Kondratenko A. S., Shishulkin S. Y., Stebenkova Y. Y., Khmelev A. B. Research of a possibility of receiving sorbents for a sewage disposal from a wastage of coal preparation factory // Journal of Physics: Conference Series, 2017, Vol. 830, p. 012157. DOI 10.1088/1742–6596/830/1/012157.
8. Kah M., Sigmund G., Xiao F., Hofmann T. Sorption of ionizable and ionic organic compounds to biochar, activated carbon and other carbonaceous materials // Water Research, 2017, Vol. 124, pp. 673–692. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.070> (дата обращения: 12.06.2021).
9. Bouchenafa-Sai N., Chennouf-Abdellatif Z., Cheknane B., Zermane F., Gaigneaux E., Mohammedi O. Equilibrium and kinetic studies of methyl orange and Rhodamine B adsorption onto prepared activated carbon based on synthetic and agricultural wastes // Desalination and water treatment, 2017, Vol. 64., No 3, pp. 284–291.
10. Lin J. Q., Yang S. E., Duan J. M., Wu J. J., Jin L. Y., Lin J. M. and Deng Q. L. The Adsorption Mechanism of Modified Activated Carbon on Phenol // International Symposium on Materials Application and Engineering (SMAE 2016). MATEC Web Conf. 2016, Vol. 67 DOI: 10.1051/mateconf/20166703040
11. Tarasova A. I., Yegorov P. O., Netiaga O. B., Temchenko O. I. Technology of sorbents production from coal combustion products // Min. miner. Depos., 2014, Vol. 8(4) pp. 481–486 DOI 10.15407/mining08.04.481
12. Курилкин А. А., Мухин В. М., Киреев С. Г., Каргальцева Л. А. Углеродные адсорбенты, модифицированные гидроксидом калия // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2010. — Т. 10., Вып. 4. — С. 515–521.
13. Белецкая М. Г., Богданович Н. И. Формирование адсорбционных свойств нанопористых материалов методом термохимической активации // Химия растительного сырья. — 2013. — № 3. — С. 77–82.
14. Marsh H., Rodriguez-Reinoso F. Activated Carbon. Elsevier Ltd., 2006., 536 p.

15. Манина Т. С., Федорова Н. И., Семенова С. А., Исмагилов З. Р. Влияние условий щелочной обработки на свойства адсорбентов на основе природноокисленных углей Кузбасса // Кокс и химия. — 2013. — № 5. — С. 25–28.

16. Kucherenko V. A., Shendrik T. G., Tamarkina Yu. V., Mysyk R. D. // Carbon. — 2010. — V.48. — № 15.— pp. 45–56.

17. Кучеренко В. А., Шендрик Т. Г., Хабарова Т. В., Тамаркина Ю. В. Влияние температуры химической активации на формирование пористой структуры адсорбентов из бурого угля // Журн. Сиб. фед. ун-та. Химия. — 2009. — Т.2. — № 3. — С.223–231.

18. Lillo-Ródenas M. A., Cazorla-Amorós D., Linares-Solano A. Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH. An insight into the chemical activation mechanism // Carbon. — 2003. — V. 41. — pp. 267–275.

19. Чесноков Н. В., Микова Н. М., Иванов И. П., Кузнецов Б. Н. Получение углеродных сорбентов химической модификацией ископаемых углей и растительной биомассы // Журн. Сиб. фед. ун-та. Химия. — 2014. — Т.7. — № 1. — С. 42–53.

20. Ворсина Е. В., Москаленко Т. В., Михеев В. А. Получение углеродных сорбентов химической модификацией бурого угля Харанорского месторождения // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 2–3.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23990> (дата обращения: 30.04.2019).

21. Ворсина Е. В., Москаленко Т. В., Михеев В. А. Химическая модификация бурого угля Харанорского месторождения для получения активного угля // «Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия»: Материалы X международной научной конференции 17–18 февраля 2016 г. — Часть 1. Естественные и технические науки. — North Charleston, SC, USA: Create Space, 2016. — С. 13–17.

22. Ворсина Е. В., Москаленко Т. В., Михеев В. А. Получение сорбентов из бурых углей Харанорского месторождения // Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2017. — № 11 (специальный выпуск 24). — С. 146–154. **ПИАБ**

REFERENCES

1. Cheban A. Yu., Sekisov G. V., Hrunina N. P., Sobolev A. A., Ugaj S. M. Perspective for the development of the Far Eastern region and the environmental aspects of mining. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2015, no. 3 (27), pp. 156–161. [In Russ].

2. Simate G. S., Maledi N., Ochieng A., Ndlovu S., Zhang J., Lubinda F. Walubita. Coal-based adsorbents for water and wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2016, Vol. 4, no. 2, pp. 2291–2312., available at: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.051> (accessed 30.05.2021).

3. Loginov D. A., Islamov S. R., Stepanov S. G., Kochetkov V. N. Sorbent production from low-ash brown coal. *Solid Fuel Chemistry*, 2016, Vol. 50, no. 2, pp. 115–119. DOI 10.3103/S0361521916020051.

4. Skripkina T., Bychkov A., Tikhova V., Smolyakov B., Lomovsky O. Mechanochemically oxidized brown coal and the effect of its application in polluted water. *Environmental Technology & Innovation*, 2018, Vol. 11, pp. 74–82, available at: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.04.010> (accessed: 20.06.2021).

5. Muhin V. M., Tarasov A. V., Klushin V. N. *Aktivnye ugli Rossii* [Active coals of Russia], Moscow, Metallurgy, 2000, 352 p. [In Russ].

6. Jia J. B., Du H. H., Huang G. X., Liu Q. R., Xing B. L., Zhang C. X., Guo H. Y., Pan J. N. Research progress in non-energy utilization of lignite. *Xiandai Huagong. Modern Chemical Industry*, 2018, Vol. 38, no. 6., pp. 24–27.

7. Buyantuev S. L., Kondratenko A. S., Shishulkin S. Y., Stebenkova Y. Y., Khmelev A. B. Research of a possibility of receiving sorbents for a sewage disposal from a wastage of coal preparation factory. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, Vol. 830, p. 012157. DOI 10.1088/1742–6596/830/1/012157.
8. Kah M., Sigmund G., Xiao F., Hofmann T. Sorption of ionizable and ionic organic compounds to biochar, activated carbon and other carbonaceous materials. *Water Research*, 2017, Vol. 124, pp. 673–692, available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.070> (accessed 12.06.2021).
9. Bouchenafa-Sai N., Chennouf-Abdellatif Z., Cheknane B., Zermane F., Gaigneaux E., Mohammedi O. Equilibrium and kinetic studies of methyl orange and Rhodamine B adsorption onto prepared activated carbon based on synthetic and agricultural wastes. *Desalination and water treatment*, 2017, Vol. 64., no. 3, pp. 284–291.
10. Lin J. Q., Yang S. E., Duan J. M., Wu J. J., Jin L. Y., Lin J. M. and Deng Q. L. The Adsorption Mechanism of Modified Activated Carbon on Phenol. *International Symposium on Materials Application and Engineering (SMAE 2016)*. MATEC Web Conf. 2016, Vol. 67 DOI: 10.1051/mateconf/20166703040
11. Tarasova A. I., Yegorov P. O., Netiaga O. B., Temchenko O. I. Technology of sorbents production from coal combustion products. *Min. miner. Depos.*, 2014, Vol. 8(4) pp. 481–486 [In Russ]. DOI 10.15407/mining08.04.481
12. Kurilkin A. A., Muxin V. M., Kireev S. G., Kargal'ceva L. A. Carbon adsorbents modified with potassium hydroxide. *Sorbcionnye i xromatograficheskie process*, 2010, Vol.10., no. 4, pp. 515–521. [In Russ].
13. Beleckaya M. G., Bogdanovich N. I. Formation of adsorption properties of nanoporous materials by thermochemical activation. *Himiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 3, pp. 77–82. [In Russ].
14. Marsh H., Rodriguez-Reinoso F. *Activated Carbon*. Elsevier Ltd., 2006. 536 p.
15. Manina T. S., Fedorova N. I., Semenova S. A., Ismagilov Z. R. The influence of alkaline treatment conditions on the properties of adsorbents based on natural-oxidized Kuzbass coals. *Koks i himiya*. 2013, no. 5, pp. 25–28 [In Russ].
16. Kucherenko V. A., Shendrik T. G., Tamarkina Yu. V., Mysyk R. D. *Carbon*, 2010, Vol.48, no. 15, pp. 45–56.
17. Kucherenko V. A., Shendrik T. G., Habarova T. V., Tamarkina Yu. V. The effect of chemical activation temperature on the formation of the porous structure of adsorbents from brown coal. *Zhurn. Sib. fed. un-ta. Himiya*, 2009, Vol. 2, no. 3, pp. 223–231. [In Russ].
18. Lillo-Ródenas M. A., Cazorla-Amorós D., Linares-Solano A. Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH. An insight into the chemical activation mechanism, *Carbon*, 2003, Vol. 41, pp. 267–275.
19. Chesnokov N. V., Mikova N. M., Ivanov I. P., Kuznecov B. N. Production of carbon sorbents by chemical modification of fossil coal and vegetable biomass. *Zhurn. Sib. fed. un-ta. Himiya*. 2014, Vol. 7, no. 1, pp. 42–53. [in Russ].
20. Vorsina E. V., Moskalenko T. V., Miheev V. A. Production of carbon sorbents by means chemical modification of the Kharanor's lignite. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 2-3, available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23990> (accessed 30.04.2019). [In Russ].
21. Vorsina E. V., Moskalenko T. V., Miheev V. A. Khimicheskaya modifikatsiya burogo uglya Kharanorskogo mestorozhdeniya dlya polucheniya aktivnogo uglya [Chemical modification of brown coal from the Kharanor field to produce active coal]. «*Prioritety mirovoj nauki: ehksperiment i nauchnaya diskussiya*»: *Materialy X mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii 17–18 fevralya 2016 g. Chast' 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, North Charleston. 2016, pp. 13–17. [In Russ].
22. Vorsina E. V., Moskalenko T. V., Miheev V. A. Production of sorbents from brown coals of the Kharanor deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 11 (spetsial'nyy vypusk 24). pp. 146–154. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Ворсина Елена Владимировна*¹ — доцент, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории комплексного использования углей;

*Москаленко Татьяна Владимировна*¹ — канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории комплексного использования углей, labkiy@mail.ru;

*Михеев Валерий Александрович*¹ — канд. техн. наук, вед. науч. сотр., зав. лабораторией комплексного использования углей;

¹ Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43

Для контактов: *Ворсина Е. В.*, e-mail: labkiy@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Vorsina E. V.*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Worker of the Laboratory of Complex Use of Coals;

*Moskalenko T. V.*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Worker of the Laboratory of Complex Use of Coals, labkiy@mail.ru;

*Mikheev V. A.*¹, Cand. Sci. (Eng.), Leading Research Worker, acting Head of the Laboratory of Complex Use of Coals;

¹ N. V. Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Lenin Ave, 43, Yakutsk, Russia, labkiy@mail.ru.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 29.10.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 29.10.2021; accepted for printing 10.11.2021.

