

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЕНТОВ ПАРОГАЗОВОЙ АКТИВАЦИЕЙ ХАРАНОРСКОГО БУРОГО УГЛЯ

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

¹ ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского
Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия, e-mail: labkiy@mail.ru

Аннотация: Приведена схема лабораторной установки для термоокислительной обработки углеродсодержащего сырья в токе паров воды, позволяющая использовать термоудар в процессе получения сорбентов. Описана методика получения сорбентов в две стадии (карбонизация и парогазовая активация) и установлены оптимальные параметры для формирования пористой структуры образцов бурого угля Харанорского месторождения: температура проведения стадий карбонизации и активации составила 600 и 800 °С при времени изотермической выдержки 30 и 60 мин соответственно; расход воды для генерации пара составил 250–300 мл/ч. При оптимальных режимных параметрах процесса парогазовой активации на лабораторной установке получены образцы сорбентов с выходом около 40%, которые по показателю адсорбционной активности по йоду ($X \geq 50\%$) можно отнести к качественным активным углям. Проведено сравнение качественных показателей сорбентов, полученных при парогазовой и щелочной активации харанорского бурого угля. Показано, что активация гидроксидом калия позволяет из одного и того же сырья получать сорбенты с адсорбционной активностью по йоду почти в 2 раза выше, чем у образцов, полученных парогазовой активацией. Но преимущества парогазовой активации, связанные с отсутствием необходимости введения в сырье химических реагентов, и спрос на рынке на сорбенты с адсорбционной активностью по йоду около 50% определяют развитие дальнейшего научно-практического интереса к этой технологии получения сорбентов из бурых углей.

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

Для цитирования: Ворсина Е. В., Москаленко Т. В., Михеев В. А. Экспериментальные исследования процесса получения сорбентов парогазовой активацией харанорского бурого угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 152–159. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-152-159.

Experimental study of sorbent production in gas–steam activation of Kharanor lignite

E.V. Vorsina¹, T.V. Moskalenko¹, V.A. Mikhayev¹

¹ Federal Research Center «Yakut Scientific Center SB RAS»,
Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, e-mail: labkiy@mail.ru

Abstract: The article describes the structure diagram of a laboratory-scale plant for thermal oxidative treatment of carbon-bearing materials in steam with thermal shock in the process of sorbent production. The procedure of sorbent production in two stages (carbonization and gas–steam activation) is described, and the optimal parameters are determined for porous structure formation in lignite samples from the Kharanor deposit: the temperature of the carbonization and activation stages was 600 and 800 °C within isothermal cure for 30 and 60 min, respectively. The water flow rate for steam generation made 250–300 ml/h. Under the optimal operating conditions of gas–steam activation, on the laboratory plant, specimens of sorbents were produced at the yield of round 40%. These specimens can be assumed as active carbon by the criterion of the iodine adsorption number ($X \geq 50\%$). The quality factors of sorbents produced by gas–steam and alkaline activation of Kharanor lignite were compared. It is shown that activation by potassium hydroxide allows production of sorbents with twice as high iodine adsorption number as against gas–steam activation of the same feedstock. On the other hand, gas–steam activation needs no chemical agents. The market demand for sorbents with iodine adsorption number round 50% predetermines the scientific and commercial interest in this technology of sorbent production from lignite.

Key words: lignite, gas–steam activation, alkaline activation, carbonaceous sorbents, iodine adsorption number, isothermal cure, thermal shock.

For citation: Vorsina E. V., Moskalenko T. V., Mikheev V. A. Experimental study of sorbent production in gas–steam activation of Kharanor lignite. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(11):152-159. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-152-159.

Введение

Современные технологии получения сорбентов из твердых углеродосодержащих предшественников базируются на термической обработке сырья в соответствующих условиях, в результате которой образуются многочисленные поры, щели и трещины и увеличивается площадь поверхности пор на единицу массы [1–7]. При этом широко применяются два способа активации: парогазовая и химическая. Парогазовая активация заключается в термоокислительной обработке при 500–1000 °C в токе паров воды, CO₂ или воздуха, химическая — в пропитке углеродсодержащего материала специальными химическими реагентами (KOH, NaOH, H₃PO₄, ZnCl₂, K₂S, K₂CO₃, MgCl₂, NH₄Cl и др.) [8].

В соответствии с федеральной целевой программой «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г.» предусматривается ориентир инвестиционных проектов на ряд направлений, в том числе на углубленную

переработку первичных ресурсов, включающую модернизацию и развитие новых перерабатывающих производств [9]. Поэтому актуальной задачей становится разработка новых методов получения сорбентов с требуемым комплексом свойств из дешевых видов местного углеродсодержащего сырья. В качестве такого сырья перспективен бурый уголь. Так в Забайкальском крае основной эксплуатируемой топливно-энергетической базой является Харанорское бурогольное месторождение. Уголь Харанорского месторождения марки Б2 стал объектом исследований по получению сорбентов в данной работе.

Как известно, свойства получаемых сорбентов в большей степени зависят как от типа исходного сырья, так и условий активации. Ранее в ходе проведенных исследований [10–12] по получению сорбентов методом химической активации Харанорского бурого угля были получены углеродные материалы с параметрами пористой структуры на уровне лучших марок активных углей

для адсорбции из жидкой фазы. Так, при импрегнировании Харанорского угля гидроксидом калия при весовом соотношении КОН/уголь 1 г/г, термоллизе до 800 °С и изотермической выдержке в течении 1 ч были получены сорбенты с адсорбционной активностью по йоду более 95%, что соответствует требованиям к этому показателю для высококачественного промышленно выпускаемого активного угля марки СКТ-0, который применяется для осветления и очистки жидкостей и растворов, для флотации руд цветных металлов, а также в сельскохозяйственном производстве [12].

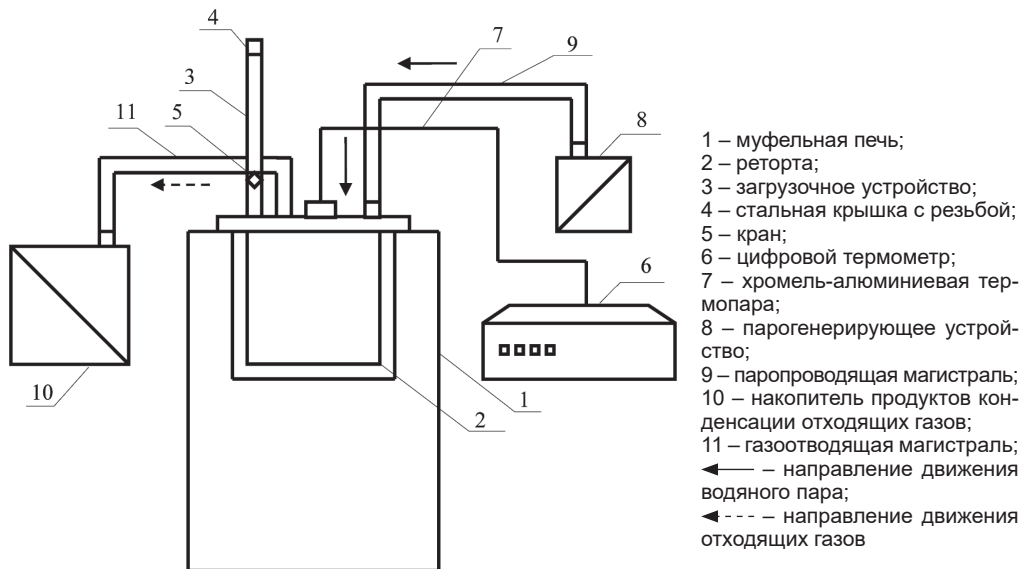
Несмотря на такие преимущества химической активации, как сокращение продолжительности процесса, снижение температуры и потерь на газификацию, она обладает существенными недостатками: необходимость введения больших количеств катализатора, дополнительная стадия отмывки, проблемы с повторным использованием катализатора [13]. Поэтому наряду с химической активацией нами исследован процесс получения сорбентов из харанорского бурого угля

при парогазовой активации без введения в сырье химических катализаторов.

Лабораторная установка для получения сорбентов способом парогазовой активации

Экспериментальные исследования процесса парогазовой активации угольного сырья при получении сорбентов проводились на лабораторной установке (рисунок). Целью проведенного ряда экспериментов являлось определение оптимальных параметров процесса получения сорбентов, основанного на принципе действия установки.

Лабораторная установка состоит из муфельной печи 1, в которую вставляется реторта 2, выполненная в виде полого цилиндра из нержавеющей стали с крышкой. В верхней части реторты расположено загрузочное устройство 3, выполненное из стальной трубы с крышкой 4 и краном 5. Установка позволяет производить загрузку сырья при заданной температуре, регистрация которой осуществляется посредством цифрового термометра 6, соединенного с термопа-



Установка для получения сорбентов способом парогазовой активации
 Equipment for the production of sorbents by the method of steam-gas activation

рой 7, установленной в центре реторты. При достижении заданной температуры исходная проба посредством открытия крана 5 сбрасывается в нагретую реторту 2, то есть реализуется так называемый «термоудар». Образующиеся в процессе нагревания угля газы отводятся через газоотводящую магистраль 11 в накопитель продуктов конденсации 10. Подвод водяного пара в процессе активации осуществляется из парогенерирующего устройства 8 по паропроводящей магистрали 9.

Методика получения сорбентов

Исходные характеристики Харанорского бурого угля следующие (%): лабораторная влага образца (W^l) — 10,6; содержание влаги аналитической (W^a) — 11,1; зольность на сухую массу (A^d) — 7,5; выход летучих веществ на сухое беззольное состояние (V^{daf}) — 45,7; адсорбционная активность по йоду (X) — 16,6.

Экспериментальные исследования процесса получения сорбентов способом парогазовой активации проводились по следующей методике. Исходный уголь дробился до крупности 0–2 мм. Загрузка угля осуществлялась в уже нагретую до заданной температуры реторту, то есть в режиме термоудара. Стадии карбонизации и активации производились в изотермическом режиме по вариантам: продолжительность каждой стадии составляла 30 или 60 мин.

Исследуемая температура воздействия на уголь изотермического режима (T) в процессе карбонизации составляла 600–900 °С (с шагом 100 °С). По истечению времени карбонизации, без изъятия реторты из муфельной печи производилась активация путем подачи парогазового реагента (водяного пара) при поддержании в реторте температуры 800 °С. По истечению заданного времени парогазовой активации реторта извлекалась из муфельной печи и охлаждалась

до комнатной температуры. Полученный продукт подвергался исследованию качественных и адсорбционных свойств.

В ходе проведения экспериментов выявлено, что увеличение температуры на стадии карбонизации свыше 600 °С не оказывает существенного влияния на адсорбционные свойства полученных образцов. По опыту предыдущих исследований [10–12] и с учетом технических характеристик лабораторной установки стадия активации проводилась при температуре 800 °С. Увеличение температуры в реторте на стадии парогазовой активации выше 800 °С технически трудно осуществимо на установке подобного типа. Кроме того, температура в реторте напрямую зависит от расхода воды (Q) для процесса парообразования. С увеличением подачи пара температура в реторте понижается до величин, не приводящих к образованию пористой структуры углеродсодержащего материала. Оптимальный расход воды для генерации пара был выявлен экспериментальным путем и составил 250–300 мл/ч. Такой объем воды, используемый в процессе парообразования, позволяет поддерживать температуру в реторте постоянной, не допуская значительных ее понижений.

Результаты и обсуждение

Результаты лабораторного определения качественных и адсорбционных свойств образцов, полученных в две стадии при температуре карбонизации 600 °С, активации — 800 °С и различном сочетании времени изотермической выдержки в стадиях приведены в таблице. Для сравнения в таблице приведены свойства образцов, полученных из бурого угля Харанорского месторождения щелочной активацией с термоударом при 800 °С при соотношении КОН/уголь (r) равном 0,25 и 1.

В таблице: t — время изотермической выдержки образца, мин; Y — выход полу-

Технический анализ и сорбционные свойства сорбентов, полученных из бурого угля Харанорского месторождения парогазовой и щелочной активацией
Technical analysis and sorption properties of sorbents derived from the Kharanor's brown coal by steam and alkaline activation

| № образца | t, мин | | Соотношение КОН/уголь (r), г/г | Теханализ, % | | | X, % | Y, % | L, % |
|------------------------------|--------------|-----------|--------------------------------|----------------|----------------|------------------|------|------|------|
| | карбонизация | активация | | W ^a | A ^d | V ^{daf} | | | |
| Парогазовая активация | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 30 | - | 10,8 | 11,6 | 11,7 | 20,3 | 44,3 | 45,1 |
| 2 | 30 | 60 | - | 11,8 | 20,1 | 12,3 | 54,2 | 40,7 | 48,7 |
| 3 | 60 | 30 | - | 11,6 | 19,0 | 13,4 | 21,7 | 42,1 | 47,3 |
| 4 | 60 | 60 | - | 11,2 | 19,2 | 9,9 | 53,6 | 40,9 | 48,5 |
| Щелочная активация | | | | | | | | | |
| 5 | 30 | 0,25 | 16,2 | 7,6 | 9,3 | 49,9 | 41,7 | 47,7 | |
| 6 | 60 | | 14,9 | 10,9 | 10,3 | 52,7 | 44,0 | 45,4 | |
| 7 | 30 | 1 | 20,4 | 11,7 | 12,1 | 94,9 | 42,9 | 46,5 | |
| 8 | 60 | | 20,9 | 11,4 | 14,1 | 99,9 | 44,2 | 45,2 | |

ченного сорбента, %; L — потеря органической массы при получении сорбента (степень обгара), %.

Кроме показателей технического анализа и адсорбционной активности по йоду определялся выход полученного углеродного сорбента с пересчетом на сухую массу:

$$Y = \frac{m_c^d}{m^d} \cdot 100, \%$$

где m_c^d — масса сорбента сухая, г; m^d — сухая масса навески угля, г.

Степень обгара (доля угля, выгоревшего при активации), определялась как:

$$L = 100 - W^r - Y, \%$$

По данным таблицы видно, что парогазовая активация в течение 30 мин не влияет на увеличение адсорбционной активности, а при активации в течение 60 мин адсорбционная активность по йоду полученных образцов (№ 2, 4) превышает 50%. При этом продолжительность стадии карбонизации не влияет на адсорбционные свойства полученных образцов. Учитывая соизмеримости значений адсорбционной активности по йоду образцов № 2 и № 4 считаем, что доста-

точным временем проведения стадии карбонизации является 30 мин.

Таким образом, оптимальные параметры стадий парогазовой активации на описанной выше лабораторной установке следующие:

- карбонизация: $T = 600 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 30$ мин.
- парогазовая активация: $T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 60$ мин, $Q = 250\text{--}300$ мл/ч.

Сравнение адсорбционной активности по йоду образцов, полученных при оптимальных параметрах парогазовой активации, с адсорбционной активностью образцов, полученных при щелочной активации, показывает, что при $r = 0,25$ величины X соизмеримы; при $r = 1$ величины X, полученные щелочной активацией превышают X парогазовой почти в 2 раза.

Следует отметить, что рациональное соотношение КОН/уголь для формирования пористой структуры бурого угля при температуре $800 \text{ }^\circ\text{C}$ находится в пределах 1–1,5 [12, 14–18], а, следовательно, при $r = 0,25$ не полностью используется потенциал щелочной активации.

Выход готового продукта и степень обгара при рассматриваемых вариантах

активации находятся на одном уровне: Y — около 40%, L — менее 50%. Степень обгара до 75% указывает на то, что полученные продукты представляют собой разнороднопористые активные угли с достаточно развитой микро- и макроструктурой [1].

Выводы


Преимущество влияния химической активации на формирование пористой структуры буроугольных образцов над парогазовой активацией неоспоримо. Химическая активация позволяет получать сорбенты из харанорского бурого угля с существенно большей адсорбционной активностью по йоду, достигающей значений более 90%. Тем не менее, на рынке существует высокий спрос на марки активного угля с меньшей адсорбционной активностью по йоду. Парогазовая активация имеет значимые преимущества по сравнению с химической — отсутствие необходимости использования химических реагентов и стадии промывки

полученного продукта. За счет этого может достигаться снижение себестоимости готовой продукции и времени его производства, а также уменьшение экологической нагрузки за счет экономного использования водных ресурсов и отсутствия загрязнения сточных вод химическими реагентами.

Таким образом, можно утверждать, что технология получения сорбентов способом парогазовой активации остается востребованной на сегодняшний день. При оптимальных режимных параметрах процесса парогазовой активации на лабораторной установке получены образцы сорбентов с выходом около 40%, которые по показателю адсорбционной активности по йоду можно отнести к качественным активным углям (X не менее 50%). Такие значения X удовлетворяют требованиям (ГОСТ, ТУ) к величине этого показателя промышленно-выпускаемых активных углей марок ДАК, ДАК-5 (X не менее 30%); КДС, ОУ-ВК, БАУ, БАУ-К (X не менее 45%), БАУ-Ац (X не менее 50%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение / Пер. с нем. — Л.: Химия, 1984. — 216 с.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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/matec-conf/20166703040.
7. 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.

8. Мухин В. М., Тарасов А. В., Клушин В. Н. Активные угли России / Под ред. А.В. Тарасова. — М.: Металлургия, 2000. — 352 с.
9. Чебан А. Ю., Секисов Г. В., Хрунина Н. П., Соболев А. А., Угай С. М. Перспективы развития Дальневосточного региона и экологические аспекты ведения горных работ // Системы. Методы. Технологии. — 2015. — № 3 (27). — С. 156–161.
10. 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).
11. 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. Ч. 1. Естественные и технические науки. — North Charleston, SC, USA: Create Space, 2016. — С. 13–17.
12. Ворсина Е. В., Москаленко Т. В., Михеев В. А. Получение сорбентов из бурых углей Харанорского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. СВ 24. — С. 146–154.
13. Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002. 414 с.
14. Marsh H., Rodriguez-Reinoso F. Activated Carbon. Elsevier Ltd., 2006. 536 p.
15. Кучеренко В. А., Шендрик Т. Г., Хабарова Т. В., Тамаркина Ю. В. Влияние температуры химической активации на формирование пористой структуры адсорбентов из бурого угля // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. — 2009. Т. 2. — № 3. — С. 223–231.
16. 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.
17. Чесноков Н. В., Микова Н. М., Иванов И. П., Кузнецов Б. Н. Получение углеродных сорбентов химической модификацией ископаемых углей и растительной биомассы // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. — 2014. — Т. 7. — № 1. — С. 42–53.
18. Kucherenko V. A., Shendrik T. G., Tamarkina Yu. V., Mysyk R. D. // Carbon. 2010. Vol. 48. No 15, pp. 45–56. 

REFERENCES

1. Kinle KH., Bader E. *Aktivnyye ugli i ikh promyshlennoe primenenie*. Per. s nem. [Active coals and their industrial application. German–Russian translation], Leningrad, Khimiya, 1984, 216 p.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.

8. Mukhin V. M., Tarasov A. V., Klushin V. N. *Aktivnyye ugli Rossii*. Pod red. Tarasova [Active coals of Russia. Tarasov A. V. (Ed.)], Moscow, Metallurgiya, 2000, 352 p.
9. Cheban A. Yu., Sekisov G. V., Khrunina N. P., Sobolev A. A., Ugay S. M. Perspective for the development of the Far Eastern region and the environmental aspects of mining. *Systems. Methods. Technologies*. 2015, no 3 (27), pp. 156–161. [In Russ].
10. Vorsina E. V., Moskalenko T. V., Mikheev V. A. Production of carbon sorbents by means chemical modification of the Kharanor's lignite. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015, no 2–3. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id = 23990> (accessed 30.04.2019). [In Russ].
11. Vorsina E. V., Moskalenko T. V., Mikheev V. A. Chemical modification of brown coal from the Kharanor field to produce active coal. *Prioritety mirovoy nauki: eksperiment i nauchnaya diskussiya: Proceedings of the X international scientific conference 17–18 February 2016*. Part 1. Estestvennyye i tekhnicheskiye nauki. North Charleston, SC, USA: Create Space, 2016, pp. 13–17. [In Russ].
12. Vorsina E. V., Moskalenko T. V., Mikheev V. A. Production of sorbents from brown coals of the Kharanor deposit. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017. Special edition 24, pp. 146–154. [In Russ].
13. Fenelonov V. B. *Vvedenie v fizicheskuyu khimiyu formirovaniya supramolekulyarnoy struktury adsorbentov i katalizatorov* [Introduction to the physical chemistry of the formation of the supramolecular structure of adsorbents and catalysts], Novosibirsk, Izdatel'stvo SO RAN, 2002, 414 p.
14. Marsh H., Rodriguez-Reinoso F. *Activated Carbon*. Elsevier Ltd., 2006. 536 p.
15. Kucherenko V. A., Shendrik T. G., Khabarova T. V., Tamarkina Yu. V. The effect of chemical activation temperature on the formation of the porous structure of adsorbents from brown coal. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya*. 2009. Vol. 2, no 3, pp. 223–231. [In Russ].
16. 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 khimiya*. 2013, no 5, pp. 25–28. [In Russ].
17. Chesnokov N. V., Mikova N. M., Ivanov I. P., Kuznetsov B. N. Production of carbon sorbents by chemical modification of fossil coal and vegetable biomass. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya*. 2014. Vol. 7, no 1, pp. 42–53. [In Russ].
18. Kucherenko V. A., Shendrik T. G., Tamarkina Yu. V., Mysyk R. D.. *Carbon*. 2010. Vol. 48. No 15, pp. 45–56.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ворсина Елена Владимировна¹ — канд. техн. наук, доцент,
старший научный сотрудник,

Москаленко Татьяна Владимировна¹ — канд. техн. наук,
старший научный сотрудник,

Михеев Валерий Александрович¹ — канд. техн. наук,
зав. лабораторией,

¹ ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», Институт горного дела Севера
им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.

Для контактов: Михеев В.А., e-mail: labkiy@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E. V. Vorsina¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Senior Researcher,

T. V. Moskalenko¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

V. A. Mikheev¹, Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory,

¹ Federal Research Center «Yakut Scientific Center SB RAS»,

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
677018, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Corresponding author: V. A. Mikheev, e-mail: labkiy@mail.ru.