

Е.В. Ворсина, В.А. Михеев, Т.В. Москаленко

# ИЗМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ БУРЫХ УГЛЕЙ ХАРАНОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

**Аннотация.** Показана возможность интенсификации щелочной активации бурого угля Харанорского месторождения при воздействии электромагнитного излучения (ЭМИ) для получения сорбентов. Представлены данные по исследованию качественных и адсорбционных свойств сорбентов, полученных из бурого угля крупностью 0—2 мм, импрегнированного гидроксидом калия и подвергнутого термолизу в режиме термоудара. Авторами проведен детальный анализ трех вариантов термической обработки углещелочной смеси перед термолизом и приведена конструкция лабораторной микроволновой печи для термической обработки сырья. Выявлено, что воздействие электромагнитного микроволнового излучения частотой 2450 МГц позволяет увеличить адсорбционную активность по йоду на 4—6%, значительно сократить время предварительной термической обработки углещелочной смеси и сократить время термолиза при получении сорбентов.

**Ключевые слова:** бурый уголь, щелочная активация, углеродные сорбенты, адсорбционная активность по йоду, электромагнитное микроволновое излучение.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-13-20

В мировой практике накоплен обширный опыт производства сорбентов из ископаемых углей. Особенность структуры бурого угля, характеризующаяся повышенной пористостью по сравнению с каменными углями и антрацитами, а также его значительные разведанные запасы на территории России (103,11 млрд т) и относительно низкая цена создают приоритет бурым углям для использования их в качестве предшественника для производства сорбентов. Исследованиями показано, что эффективным способом получения сорбентов из бурых углей является щелочная активация [1—7]. Помимо развития пористой структуры, щелочь обеспечивает высокую долю микропор, узкое распределение пор по размерам

и значительно снижает зольность пористого материала за счет реакции с минеральными компонентами минерального сырья [7].

Проведенные экспериментальные исследования показали, что активация бурого угля Харанорского месторождения (Забайкальский край, Россия) гидроксидом калия с последующим термолизом позволяет получать углеродные материалы с высокими значениями адсорбционной активности по йоду (более 85%), соответствующими уровню лучших марок активных углей [8]. При этом проведение термолиза в режиме термоудара позволяет повысить адсорбционную активность по йоду в среднем на 4% [9]. Харанорский бурый уголь возможно рас-

смагивать как перспективное сырье региона для создания новых конкурентоспособных технологий, ориентированных на освоение и развитие минерально-сырьевой базы, в рамках Федеральной целевой программы «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г.» [10].

Перспективным методом воздействия на твердые горючие ископаемые, позволяющим в значительной степени интенсифицировать химико-технологические процессы и в большинстве случаев получать результаты, недостижимые при традиционных технологиях, является использование электромагнитного микроволнового излучения (ЭМИ) [11–13]. Множество неопровержимых преимуществ и уникальных возможностей обработки ЭМИ по сравнению с традиционным нагревом (высокая скорость процесса, объемный нагрев, высокий коэффициент полезного действия, возможность проводить процесс при постоянной и импульсной подаче энергии и др.) создает пред-

посылки для применения его в процессе получения сорбентов.

Существует ряд исследований, по изучению воздействия ЭМИ на бурый уголь, в том числе с целью повышения его адсорбционных свойств [14] и технологических качеств [15, 16], подтверждающих эффективность использования микроволнового воздействия. В данной работе исследовалась возможность интенсификации воздействием ЭМИ щелочной активации бурых углей Харанорского месторождения при получении сорбентов.

В качестве исходного сырья для получения сорбентов в работе использован бурый уголь Харанорского месторождения марки Б2 класса крупности 0–2 мм со следующими качественными характеристиками (%): лабораторная влага образца ( $W^l$ ) – 8,2; содержание влаги аналитической ( $W^a$ ) – 7,6; зольность на сухую массу ( $A^d$ ) – 7,9; выход летучих веществ на сухое беззольное состояние ( $V^{daf}$ ) – 45,5; адсорбционная активность по йоду ( $X$ ) – 16,9.

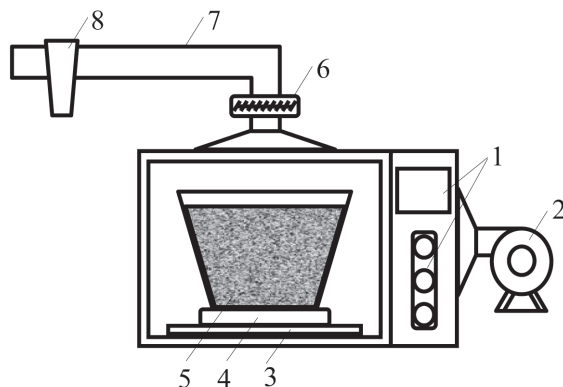


Рис. 1. Схема лабораторной электромагнитной микроволновой печи: 1 – блок управления и индикации режимов работы; 2 – центробежный вентилятор охлаждения магнетрона; 3 – вращающийся поддон; 4 – термоизолирующая подставка; 5 – емкость из жаропрочного стекла для загрузки сырья; 6 – осевой вентилятор газоотводящей магистрали; 7 – газоотводящая магистраль; 8 – гидрозатвор

Fig. 1. The diagram of a laboratory electromagnetic microwave oven: 1 – control unit and display modes of operation; 2 – centrifugal cooling fan for the magnetron; 3 – rotating pan; 4 – thermal insulation stand; 5 – capacity of heat-resistant glass for loading raw materials; 6 – axial fan of the gas exhaust line; 7 – gas exhaust line; 8 – water trap

Щелочная активация образцов ханорского угля проводилась по следующей методике. Гидроксид калия (50%-ный раствор) вводили в уголь импрегнированием при соотношении КОН/уголь равном 1 г/г, выраженному в граммах КОН на 1 г сухого угля. Навеску угля обрабатывали КОН, перемешивали вручную до однородной массы и выдерживали 2 ч.

Исследовалось три варианта подготовки угля, пропитанного гидроксидом калия (угольно-щелочной смеси), к термолизу:

1 вариант — сушка до постоянной массы;

2 вариант — обработка ЭМИ без предварительной сушки;

3 вариант — обработка ЭМИ с предварительной сушкой до постоянной массы.

Сушка угольно-щелочной смеси до постоянной (сухой) массы производилась в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С.

Предварительная обработка угольно-щелочной смеси ЭМИ осуществлялась в лабораторной микроволновой печи мощностью 900 Вт (рис. 1).

Принципиальная схема микроволновой печи включает генератор электромагнитного излучения (магнетрон), волновод, камеру нагрева, систему вентиляции и охлаждения магнетрона, систему защиты от избыточного излучения, блок управления [11]. Для безопасного проведения экспериментальных исследований в конструкцию бытовой микроволновой печи внесен ряд существенных изменений. Усилена система вентиляции и охлаждения магнетрона путем установки дополнительного вентилятора. Для эффективного выведения из камеры нагрева газообразных продуктов смонтирована вытяжная система, состоящая из центробежного вентилятора и газоотводящей магистрали. На газоотводящей магистрали установлен дополнительный

гидрозатвор, позволяющий улавливать парообразные летучие вещества, образующиеся при термической обработке сырья.

Обработка электромагнитным микроволновым излучением угольно-щелочной смеси производилась при частоте 2450 МГц до максимально возможной температуры. В данной работе под максимально возможной температурой понимается температура угольно-щелочной смеси при достижении которой происходит возгорание смеси без открытого огня, но с обильным газовыделением. Навеска угольно-щелочной смеси помещалась в микроволновую печь в открытой лабораторной посуде. С целью исключения возгорания смеси, процесс обработки ЭМИ производился при импульсной подаче энергии — циклами продолжительностью 3 мин, по истечению которых смесь перемешивали, производили замер ее температуры и снова подвергали обработке.

После предварительной подготовки угольно-щелочной смеси по указанным трем вариантам образцы подвергались термоудару при 800 °С в муфельной печи. Время изотермической выдержки ( $t$ ) в исследуемых вариантах получения сорбентов составляло 15, 30 и 60 мин. По истечению заданного времени образцы вынимали, охлаждали на воздухе, отмывали от щелочи на фильтрах дистиллированной водой до получения нейтральной среды промывных вод, высушивали до воздушно-сухого состояния и проводили лабораторное исследование качественных и адсорбционных свойств.

Усредненный график набора температуры при воздействии ЭМИ на влажную (вариант 2) и просушенную до постоянной массы (вариант 3) угольно-щелочную смесь представлен на рис. 2.

По рис. 2 видно, что для исключения возгорания влажной угольно-щелочной смеси достаточно воздействия ЭМИ в те-

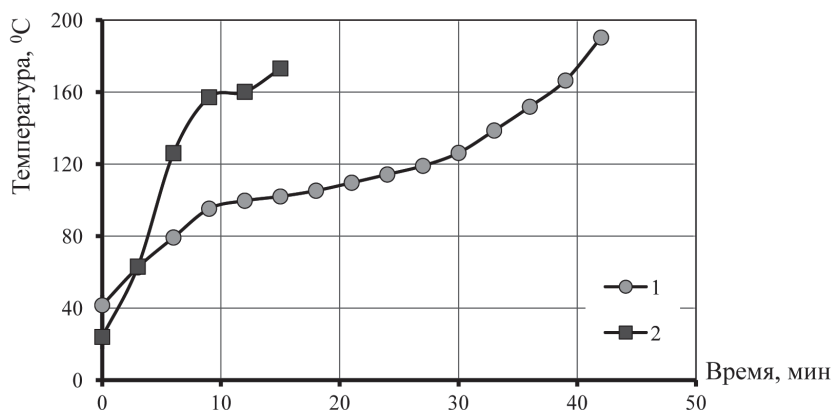


Рис. 2. Усредненный график набора температуры при воздействии ЭМИ на угольно-щелочную смесь: 1 – без предварительной сушки; 2 – с предварительной сушкой

Fig. 2. The average plot of temperature set when exposed to electromagnetic radiation on the coal-alkaline mixture: 1 – without pre-drying; 2 – with pre-drying

чение 14 циклов по 3 мин (всего 42 мин, с учетом времени, затрачиваемого на перемешивание пробы – 47 мин) при наборе максимально возможной температуры 190–191 °С. При воздействии ЭМИ на просушенную до постоянной массы угольно-щелочную смесь возгорание ее начинается при температуре 172–173 °С за 5 циклов нагрева по

3 мин (всего 15 мин, с учетом времени на перемешивание – 17 мин). Время сушки пробы (500 г) в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы составляло 16–18 ч. Таким образом, максимальное время, затрачиваемое на обработку угольно-щелочной смеси составило: 1 вариант – 18 ч; 2 вариант – 47 мин (что в 23 раза мень-

### Результаты экспериментов

#### The results of experiments

Время термоллиза при 800 °С t, мин	Характеристика сорбента				
	показатели технического анализа, %			X, %	Y, %
	W <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>		
<b>Вариант 1. Образцы высушены до постоянной массы перед термоллизом (без ЭМИ)</b>					
15	11,2	9,6	59,39	82,2	59,4
30	8,4	8,8	61,30	93,1	61,3
60	3,6	8,8	50,06	90,1	50,1
<b>Вариант 2. Образцы обработаны ЭМИ без предварительной сушки угольно-щелочной смеси перед термоллизом</b>					
15	4,5	7,5	55,78	87,0	61,2
30	4,0	7,2	64,05	97,1	64,1
60	3,5	9,1	61,01	95,8	61,0
<b>Вариант 3. Образцы высушены до постоянной массы и обработаны ЭМИ перед термоллизом</b>					
15	11,0	8,8	65,35	85,0	65,4
30	9,0	8,4	64,61	91,2	64,6
60	3,4	9,1	56,97	97,4	57,0

ше, чем в 1 варианте); 3 вариант — 18 ч 17 мин. Значения качественных и адсорбционных свойств, а также выход ( $Y$ , %) полученных образцов сорбентов приведены в таблице.

Анализируя данные таблицы можно утверждать, что при всех исследуемых вариантах подготовки образцов к термолизу были получены углеродные образцы с развитой пористой структурой, т.е. качественные сорбенты. Значения адсорбционной активности по йоду полученных образцов сорбентов  $X > 80\%$ , что соответствует требованиям к уровню качества таких марок активного угля как УАФ ( $X \geq 70\%$ ) и КАД-молотый ( $X \geq 80\%$ ). Выход готового продукта во всех случаях составил  $Y > 50\%$ . При этом применение обработки ЭМИ позволило увеличить выход сорбента в среднем на 9,8% по всем вариантам с разным временем изотермической выдержки (в варианте 2 — на 3–21,7%, в варианте 3 — на 5,4–13,8%).

График адсорбционной активности по йоду полученных сорбентов в исследуемых вариантах подготовки угольно-ще-

лочной смеси к термолизу в зависимости от времени изотермической выдержки приведен на рис. 3.

По графику видно, применение обработки ЭМИ в варианте 2 по сравнению с вариантом 1 позволило увеличить адсорбционную активность по йоду, составив при этом разницу между значениями в 4–6%.

При уже небольшом времени изотермической выдержки — 15 мин, значения адсорбционной активности по йоду сорбентов, полученных из образцов, обработанных ЭМИ, превышают значения  $X$  образцов, неподверженных такой обработке: в варианте 2 — на 5,8%, в варианте 3 — на 3,4%.

При изотермической выдержке в течение 60 мин обработка образцов ЭМИ перед термолизом позволила повысить адсорбционную активность по йоду до значений выше 95%, увеличив при этом результаты варианта 1: без предварительной сушки угольно-щелочной смеси (вариант 2) — на 6,3%, с предварительной сушкой (вариант 3) — на 8%.

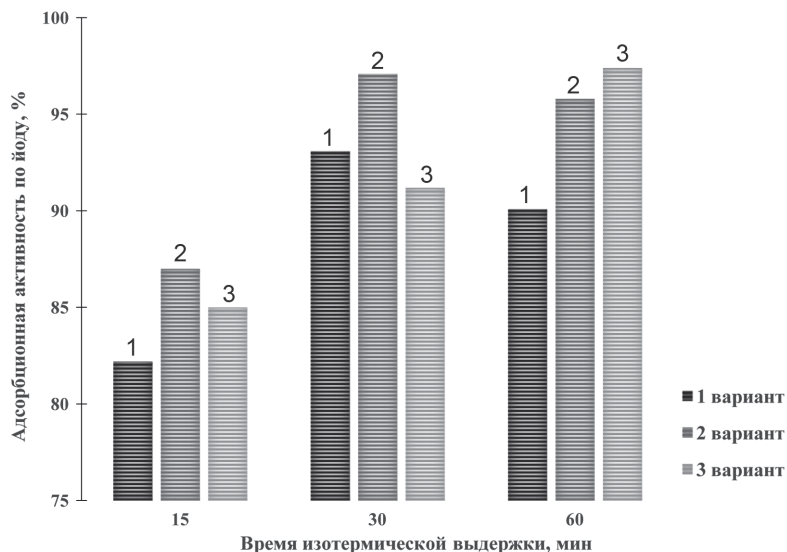


Рис. 3. Адсорбционная активность по йоду полученных образцов сорбентов в исследуемых вариантах подготовки угольно-щелочной смеси к термолизу

Fig. 3. Adsorption activity on iodine of the obtained sorbent samples in the studied variants of preparation of the coal-alkaline mixture for thermolysis

При получасовой выдержке образцов в муфельной печи при 800 °С значение адсорбционной активности по йоду образцов, высушенных до постоянной массы и обработанных ЭМИ перед термолизом (вариант 3) получено незначительно ниже (на 2%), чем образцов, не подвергаемых воздействию ЭМИ (вариант 1), что говорит о соизмеримости этих величин. Значение же  $X$  образцов, подверженных воздействию ЭМИ без предварительного высушивания до постоянной массы (вариант 2) при изотермической выдержке в течение 30 мин превышает значение  $X$  в вариантах 1 и 3 при той же продолжительности термолиза и соизмеримо со значением  $X$  в варианте 3 при 60 мин изотермической выдержки (с разницей всего в 0,3%).

Следовательно, обработка ЭМИ без предварительной сушки (вариант 2) позволяет получать сорбенты с высокой адсорбционной способностью по йоду (более 95%) при значительно меньших временных затратах на предварительную обработку (меньше в 23 раза) и непосредственно термолиз (меньше в 2 ра-

за) образца. Таким образом, из процесса получения сорбентов возможно исключить энерго- и времязатратную стадию просушивания угольно-щелочной смеси до постоянной массы и проводить химическую активацию гидроксидом калия при соотношении КОН/уголь 1 г/г в течение 30 мин.

Воздействие электромагнитного излучения частотой 2450 МГц на обработанный гидроксидом калия уголь (при соотношении КОН/уголь 1 г/г) с последующим термолизом в режиме термоудара при 800 °С позволяет получить образцы сорбентов с высоким выходом готового продукта (более 50%) и адсорбционной активностью по йоду 85–97%, что соответствует уровню этого показателя промышленно-выпускаемых активных углей.

Обработка электромагнитным микроволновым излучением позволяет увеличить адсорбционную активность по йоду на 4–6%, при этом значительно сократить время предварительной термической обработки угольно-щелочной смеси (более чем в 20 раз) и сократить время термолиза при получении сорбентов в 2 раза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kucherenko V.A., Shendrik T.G., Tamarkina Yu.V., Mysyk R.D. // Carbon. 2010. Vol. 48. no 15. pp. 45–56.
2. 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.
3. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. — М.: Металлургия, 2000. — 352 с.
4. 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.
5. Шендрик Т.Г., Тамаркина Ю.В., Хабарова Т.В. и др. Формирование пористой структуры бурого угля при термолизе с гидроксидом калия // Химия твердого топлива. — 2009. — № 5. — С. 51–55.
6. Щипко М.Л., Еремина А.О., Головина В.В. Адсорбенты из углеродсодержащего сырья Красноярского края // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. — 2008. — Т. 1. — № 2. — С. 166–180.
7. Тамаркина Ю.В., Цыба Н.Н., Кучеренко В.А., Шендрик Т.Г. Получение пористых материалов щелочной активацией ископаемых углей разной степени метаморфизма // Вопросы химии и химической технологии. — 2013. — № 3. — С. 132–137.
8. Ворсина Е.В., Москаленко Т.В., Михеев В.А. Получение углеродных сорбентов химической модификацией бурого угля Харанорского месторождения // Современные пробле-

мы науки и образования. — 2015. — № 2–3. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23990> (дата обращения: 3.10.2018).

9. Ворсина Е. В., Москаленко Т. В., Михеев В. А. Получение сорбентов из бурых углей Харанорского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — СВ 24 Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера. — С. 146–154.

10. 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.

11. Guiotoku M., Maia C. M. F., Rambo C. R., Hotza D. // Microwave Heating, 2011, P. 291.

12. Xin-Hui D., Jin-Hui P., Li-Bo Z. et al. // Fuel Processing Technology, 2011, Vol. 92, no 3, P. 394.

13. Рахманкулов Д. Л., Бикбулатов И. Х., Шулаев Н. С., Шавшукова С. Ю. Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов. — М.: Химия, 2003. — 220 с.

14. Данилов О. С., Михеев В. А., Москаленко Т. Е. Микроволновая обработка твердых горючих ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № 3. — С. 203–208.

15. Хайдунова А. А., Коновалов П. Н., Коновалов Н. П. СВЧ-обработка буроугольного концентрата из бурого угля Мугунского месторождения для получения губчатого железа // Химия твердого топлива. — 2008. — № 2. — С. 67–70.

16. Коновалов Н. П., Коновалов П. Н., Хайдунова А. А. Микроволновое излучение в технологии сушки угля // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. — 2015. — № 1(12). — С. 74–79. **ПИАБ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ворсина Елена Владимировна<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник,

Михеев Валерий Александрович<sup>1</sup> — кандидат технических наук, зав. лабораторией,

Москаленко Татьяна Владимировна<sup>1</sup> — кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

<sup>1</sup> Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, e-mail: labkiy@mail.ru.

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 12, pp. 13–20.

#### Change in Kharanor lignite sorption capacity under effect of electromagnetic microwaves

Vorsina E.V.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior Researcher,

Mikheev V.A.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory,

Moskalenko T.V.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,

<sup>1</sup> Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 677018, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, e-mail: labkiy@mail.ru.

**Abstract.** The article demonstrates stimulation of alkaline activation of Kharanor lignite by electromagnetic radiation with a view to producing sorbents. The data on quality and adsorption capacity of sorbents produced from lignite with a size of 0–2 mm impregnated with potassium hydroxide and subjected to thermolysis in the mode of thermal shock are present. Three variants of thermal treatment of alkaline-coal mixture before thermolysis are analyzed in detail, and the design of a lab-scale microwave oven for thermal treatment of test materials is presented. It is found that radiation of electromagnetic microwaves with a frequency of 2450 MHz increases lignite adsorption capacity relative to iodine by 4–6%,

considerably shortens the period of thermal pre-treatment of alkaline–coal mixture and reduces the time of thermolysis in production of sorbents.

**Key words:** Lignite, alkaline activation, carbon sorbents, adsorption activity relative to iodine, electro-magnetic microwave radiation.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-13-20

## REFERENCES

1. Kucherenko V.A., Shendrik T.G., Tamarkina Yu.V., Mysyk R.D. *Carbon*. 2010. Vol. 48. no 15. pp. 45–56.
2. Manina T.S., Fedorova N.I., Semenova S.A., Ismagilov Z.R. Vliyanie usloviy shchelochnoy obrabotki na svoystva adsorbentov na osnove prirodnookislennykh ugley Kuzbassa [Influence of alkaline environment on properties of adsorbents made of naturally oxidized coal of Kuzbass]. *Koks i khimiya*. 2013, no 5, pp. 25–28.
3. Mukhin V.M., Tarasov A.V., Klushin V.N. *Aktivnye ugli Rossii* [Active coals of Russia], Moscow, Metallurgiya, 2000, 352 p.
4. Chesnokov N.V., Mikova N.M., Ivanov I.P., Kuznetsov B.N. Poluchenie uglerodnykh sorbentov khimicheskoy modifikatsiy iskopayemykh ugley i rastitel'noy biomassy [Production of carbon sorbents by chemical modification of fossil coal and plant biomass]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya*. 2014, vol. 7, no 1, pp. 42–53.
5. Shendrik T.G., Tamarkina Yu.V., Khabarova T.V. Formirovanie poristoy struktury burogo uglya pri termolize s gidroksidom kaliya [Generation of porous structure in lignite under thermolysis with potassium hydroxide]. *Химия твердого топлива*. 2009, no 5, pp. 51–55.
6. Shchipko M.L., Eremina A.O., Golovina V.V. Adsorbenty iz uglerodsoderzhashchego syr'ya Krasnoyarskogo kraya [Adsorbents made of carbon-bearing raw materials in the Krasnoyarsk Territory]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya*. 2008, vol. 1, no 2, pp. 166–180.
7. Tamarkina Yu.V., Tsyba N.N., Kucherenko V.A., Shendrik T.G. Poluchenie poristyykh materialov shchelochnoy aktivatsiy iskopayemykh ugley raznoy stepeni metamorfizma [Production of porous materials by alkaline activation of different rank fossil coal]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*. 2013, no 3, pp. 132–137.
8. Vorsina E.V., Moskalenko T.V., Mikheev V.A. Poluchenie uglerodnykh sorbentov khimicheskoy modifikatsiy burogo uglya Kharanorskogo mestorozhdeniya [Production of carbon sorbents by chemical modification of Kharanor deposit lignite], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015, no 2–3. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23990> (accessed: 3.10.2018).
9. Vorsina E.V., Moskalenko T.V., Mikheev V.A. Poluchenie sorbentov iz burykh ugley Kharanorskogo mestorozhdeniya [Production of sorbents from lignite of the Kharanor deposit], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017. Special edition 24, pp. 146–154. [In Russ].
10. Cheban A.Yu., Sekisov G.V., Khrunina N.P., Sobolev A.A., Ugay S.M. Perspektivy razvitiya Dal'nevostochnogo regiona i ehkologicheskie aspekty vedeniya gornyykh rabot [Development prospects for Russian Far East and mining ecology]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2015, no 3 (27), pp. 156–161. [In Russ].
11. Guiotoku M., Maia C.M.M.F., Rambo C.R., Hotza D. *Microwave Heating*, 2011, P. 291.
12. Xin-Hui D., Jin-Hui P., Li-Bo Z. et al. *Fuel Processing Technology*, 2011, Vol. 92, no 3, P. 394.
13. Rakhmankulov D.L., Bikbulatov I.Kh., Shulaev N.S., Shavshukova S.Yu. *Mikrovolnovoe izluchenie i intensivatsiya khimicheskikh protsessov* [Microwave radiation and stimulation of chemical processes], Moscow, Khimiya, 2003, 220 p.
14. Danilov O.S., Mikheev V.A., Moskalenko T.E. Mikrovolnovaya obrabotka tverdykh goryuchikh iskopayemykh [Microwave treatment of solid combustible minerals], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 3, pp. 203–208. [In Russ].
15. Khaydurova A.A., Konovalov P.N., Konovalov N.P. SVCH-obrabotka burugol'nogo kontsentrata iz burogo uglya Mugunskogo mestorozhdeniya dlya polucheniya gubchatogo zheleza [High-frequency treatment of the Mugun lignite concentrates for the production of sponge iron], *tverdogo topliva*. 2008, no 2, pp. 67–70. [In Russ].
16. Konovalov N.P., Konovalov P.N., Khaydurova A.A. Mikrovolnovoe izluchenie v tekhnologii sushki uglya [Microwave radiation in coal drying technology], *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*. 2015, no 1(12), pp. 74–79. [In Russ].

