

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 3, Number 423 (2017), 103 – 108

UDC 665.7.032.54:547.271

S.D. Fazylov^{1*}, Zh.B. Satpaeva¹, G.Zh. Karipova², A.B. Tateyeva²,
M.Z. Muldachmetov¹, A.E. Arinova¹, Z.S. Dautova³

¹Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda

²E.A.Buketov Karaganda State University, Kazakhstan

³S.Amanzholov East Kazakhstan state University, Kazakhstan

*e-mail: iosu8990@mail.ru, satpaeva_zh@mail.ru

INFLUENCE OF MICROWAVE IRRADIATION ON THE EXTRACTION OUTPUT OF HUMIN AND BITUMINOUS SUBSTANCES FROM BROWN COALS

Abstract. The article presents the results of the investigation of the effect of microwave treatment on the extraction yield of humic and bituminous substances from brown coals. It is shown that preliminary microwave irradiation of brown coal samples in an aqueous alkaline medium leads to the activation of destructural processes in the organic mass of coal. It is established that the use of microwave treatment promotes the efficiency of extraction of humates, bitumen, waxes and resins. At the same time, the amount and composition of products passing into solution can vary within wide limits, depending on the irradiation power, the ratio of components, and the concentration of alkali. The use of microwave coal activation can involve low-bituminous coals into processing, or radically improve existing technologies for complex processing of coal products. The obtained data showed the possibility of combining the processes of alkaline dissolution of humic substances and extraction of bitumen from brown coals in a microwave field, which can lead to simplification of the technological process of processing of coal products.

Key words: brown coal, microwave irradiation, bitumen, humate.

УДК 665.7.032.54:547.271

С.Д. Фазылов^{1*}, Ж.Б. Сатпаева¹, Г.Ж. Карипова²,
А.Б. Татеева², М.З.Мулдахметов¹, А.Е. Аринова¹, З.С.Даутова³

¹Институт органического синтеза и углехимии РК, Караганда;

²Карагандинский государственный университет имени Е.А. Букетова, Казахстан;

³Восточно-Казахстанский государственный университет им.С.Аманжолова, Казахстан

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭКСТРАКЦИОННЫЙ ВЫХОД ГУМИНОВЫХ И БИТУМИНОЗНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния микроволновой обработки на экстракционный выход гуминовых и битуминозных веществ из бурых углей. Показано, что предварительное микроволновое облучение образцов бурого угля в водно-щелочной среде приводит к активации деструктурных процессов в органической массе угля. Установлено, что использование микроволновой обработки способствует эффективности извлечения гуматов, битумов, восков и смол. При этом количество и состав переходящих в раствор продуктов может изменяться в широких пределах в зависимости от мощности облучения, соотношения компонентов, концентрации щелочи. Применение микроволновой активации углей может вовлечь в переработку низкобитуминозные угли, либо кардинально улучшить существующие техно-

логии комплексной переработки углепродуктов. Полученные данные показали возможность совмещения процессов щелочного растворения гуминовых веществ и экстракции битума из бурых углей в микроволновом поле, что может привести к упрощению технологического процесса переработки углепродуктов.

Ключевые слова: бурый уголь, микроволновое облучение, битум, гумат.

Введение

В настоящее время уголь в основном применяется в качестве источника энергии, промышленная переработка его в ценные химические продукты остается все еще достаточно низкой. Казахстан располагает значительными запасами углей различных марок [1]. В балансовых запасах более половины приходится на каменно-коксовые угли, меньше половины – на бурые угли, которые сосредоточены, главным образом, в крупнейшем бурогольном Майкубенском месторождении. Комплексный химико-технологический подход к освоению этих ископаемых обеспечивает получение широкого класса химических веществ, которые могут использоваться в различных отраслях промышленности [1-4].

Одним из важных продуктов экстракционной обработки низкосортных углей является горный воск [5-8]. Крупнейший производитель восков в мире – Германия выпускает до 50 тыс. т восков в год, что составляет 80% мирового производства. В Бразилии ежегодно производится 10 тыс. т этого продукта, получаемой из карнаубской пальмы [9]. В России и других угольных странах, в том числе и Казахстане, воски не производятся, хотя их дефицит в стране, по экспертным оценкам составляет около 5 тыс. т в год. Сырой бурогольный воск, извлекаемый из битуминозных бурых углей путем экстракции органическими растворителями (бензол, толуол, спирты и др.), представляет собой смесь собственно восковых компонентов и смол [5-8]. В зависимости от способа извлечения различают «битум А», извлекаемый холодным или кипящим растворителем при нормальном давлении, «битум Б», извлекаемый растворителями при повышенной температуре и давлении, «битум С», полученный из сырья, освобожденного от «битума А» и обработанного соляной кислотой. Собственно, битумами общепринято считать только «битум А». Количественный выход сырого воска (битум А) из угля, выраженный в процентах к массе угля, обозначается термином «битуминозность». Содержание восковых и смоляных составляющих в битуме колеблется в широких пределах в зависимости от многих факторов – применяемых при экстракции растворителей, условий экстракции, видов сырья и др. [6-8].

Во многом это обусловлено низкой степенью превращения органического вещества твердых топлив в углехимических технологиях. Следовательно, необходимо решать проблему внедрения перспективных технологий по комплексной переработке углей, увеличивая экономическую отдачу от применения угольного сырья. Практическое решение данной проблемы в настоящее время лежит в поисках легкодоступных, активных реагентов и катализаторов и способов физико-химического воздействия на угольное вещество при минимальных энергетических и капитальных затратах [9-13].

Для повышения степени извлечения битуминозных восков из бурых углей применяют различные органические растворители и добавки к ним [5-9]. Согласно данным работ [10-15], предварительная активация углей методами физико-химического воздействия (плазмохимия, механоактивация, суперкритическая экстракция и др.) приводит к изменению их состава, структуры и увеличению выхода низкомолекулярных продуктов в ходе их переработки. К числу этих новых разделов современной химии в последние 10-15 лет присоединилась и микроволновая (МВ) химия [16-18]. Поэтому исследование и создание новых процессов получения различных продуктов из угля являются важнейшими задачами углехимической науки.

Целью работы является исследование процессов, протекающих в органической массе бурого угля в водно-щелочном растворе в условиях микроволнового облучения, установление влияния данных процессов на глубину экстракционной переработки и получение из угольного сырья гуминовых веществ и битуминозного воска.

Экспериментальная часть

Для исследования влияния физико-химических методов на выход получаемых битумов изучен образец бурого угля марки БЗ Майкубенского месторождения со следующими характеристиками, %: A^{daf} 23, W^{af} 18, V^{daf} 48.0, S^{daf} 0.82, C^{daf} 34.8, H^{daf} 4.7, N^{daf} 1.0, Q^f 14867 кДж/кг.

Для увеличения реакционной способности при экстракционной переработке исходный бурый уголь подвергали механической активации в лабораторной мельнице МЛ-1. Для экстракции бралась фракция угля до 0,2 мм в количестве 5 г. Микроволновое воздействие осуществлялось на СВЧ-печи марки LG-MS2022G (частота 2,45 ГГц). Продолжительность воздействия электромагнитного микроволнового воздействия (МВВ) на бурый уголь составила 1 час с шагом в 1 минуту, мощность микроволнового воздействия варьировалась от 70 до 750 Вт. Экстракционное выделение битумов, из подвергшихся микроволновому облучению образцов угля, проводилось аналогично описанному ранее.

Концентрация раствора щелочи (NaOH) составила от 2 до 8%. После микроволновой обработки раствор подвергали экстракционной обработке смесью этанол-бензол (1:1). Процесс экстракции органической массы угля (ОМУ) угля проводили в аппарате Сокслета в течение 2 часов, доводя растворитель до температуры кипения. Раствор, после экстракции ОМУ, подвергали центрифугированию и вакуумную фильтрацию (водяной насос), затем остаточный уголь промывали водой от остатков катализатора и высушивали в вакуумном шкафу при температуре $95 \pm 1,0^\circ\text{C}$. Выходы экстрагируемых веществ измерялись как по уменьшению органической массы угля, так и по массе веществ, перешедших в экстракт. За окончательный результат принимали среднее арифметическое значение трех параллельных определений, погрешность измерений составила $\pm 1,0\%$.

Выделенные из водно-щелочного раствора спирто-бензольной экстракцией битумы подвергали фракционированию на воски и смолы методом колоночной хроматографии. Условия разделения: стеклянная колонка диаметром 1 см, высота слоя силикагеля (70-230 мкм) 80 см, последовательное элюирование фракций гексаном, 5%-ным раствором диэтилового эфира в гептане, четыреххлористым углеродом и бензолом, а остаточные продукты снимали смесью бензола и хлороформа (1:4). Постепенный рост элюирующих свойств растворителей способствует количественному разделению битумов на углеводороды, спирты, кислоты и не хроматографируемый остаток (смолы). Об этом свидетельствуют результаты ТСХ, элюент – смесь бензол:уксусная кислота (95:5). Хромато-масс-спектрометрический (ХМС) анализ индивидуального состава битуминозного экстракта осуществляли на приборе Agilent Technologies 7890А с масс-спектрометрическим детектором 5975С. Хроматограммы и масс-спектры обрабатывались с помощью программы MSD Chem Station E-02.00.493, колонка капиллярная HP-5MS (30 м x 0,25 мм x 0,25 мкм), газ-носитель – гелий (1 мл/мин). Для идентификации веществ по масс-спектрам использовалась база данных масс-спектров NIST-8. Качественный и количественный анализ содержания минеральных компонентов углепродуктов проводился на лазерном атомно-эмиссионном спектрометре Matrix Continuum с дифракционной решёткой 2400 штр/мм и 5 ПЗС детекторами фирмы Toshiba, диапазон длин волн от 190 до 420 нм.

Результаты и обсуждения

В научной литературе получению битума, горного воска посвящено много работ [5-8]. Например, в работе описан способ переработки угля в низкипящих растворителях при повышенной температуре под давлением в присутствии катализатора [19]. Однако необходимость проведения экстракции при повышенном давлении усложняет технологический процесс. Авторы [20] предлагают способ переработки бурого угля, заключающийся в том, что исходный уголь нагревают в водном растворе едкого натра при 200°C в автоклаве, затем отфильтровывают нерастворившуюся часть угля. Последнюю сушат и растворителем экстрагируют из нее горный воск (2, патент Германии №433364, кл. 12 г 3/01, опублик. 1924). Эти способы характеризуются многостадийным технологическим процессом, когда на каждой стадии при выделении из сырья отдельного компонента происходит нагрев до 200°C в течение долгого времени (2ч).

В данном сообщении нами приведены результаты исследования влияния микроволнового облучения на процессы извлечения гуминовых веществ и битума (сырого буроугольного воска) из бурого угля. При проведении экспериментов основное внимание уделено влиянию МВО на эффективность извлечения гуминовых соединений и битуминозного воска в зависимости от следующих факторов: мощности облучения (Вт); времени проведения выщелачивания в условиях МВО (мин); соотношению жидкой и твердой фаз.

Как следует из данных рисунка 1, использование предварительной микроволновой обработки щелочного раствора угольного образца приводит к сокращению времени выщелачивания и увеличению выходов целевых продуктов. Применение МВО в химических процессах связано на

его способности в десятки и сотни раз ускорять скорости химических реакции, вызывать быстрый объемный нагрев жидких и твердых образцов [10, 11]. Величина выхода гуматов существенно зависит от концентрации щелочного раствора в отличие от битуминозного воска. Оптимальным является интервал концентрации раствора щелочи от 4 до 6%. Тем не менее, оптимальная концентрация должна определяться из величины значений остальных факторов. При максимальных значениях основных факторов (W , $J:T$, t , $C_{щел.}$) наблюдается снижение как гуматов, так и битуминозного воска.

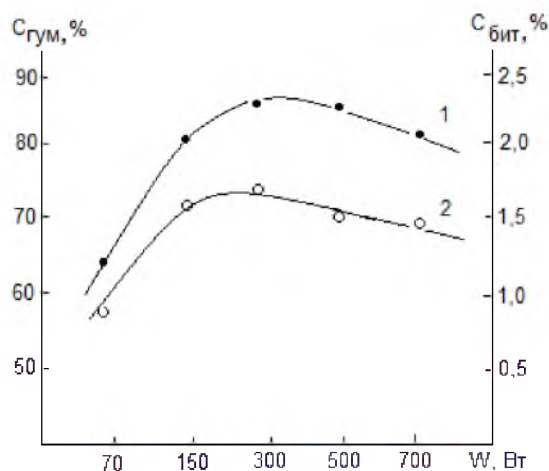


Рисунок 1 – Зависимость выходов гуматов (1) и битуминозного воска (2) от мощности облучения ($J:T = 5:1$; $C_{щел.} = 4\%$; $t = 30$ мин)

Согласно результатам анализа полученных данных, наиболее оптимальными условиями проведения процесса являются мощность облучения 150-300 Вт. Протекающая при МВО деструкция органоминеральных связей приводит к деполимеризации угольного вещества и росту выхода целевых продуктов, в данных условиях содержание смол в полученных битумах снижается до минимума. Использование электромагнитного микроволнового облучения способствует увеличению выхода битуминозного продукта в среднем 1.5-2 раза, чем по классической технологии. Как показали результаты ХМС анализа, увеличение мощности МВО выше 500 Вт приводит к увеличению смолистых веществ в составе извлекаемого битума. При высоких мощностях МВО повышается температура реакционной среды, и, соответственно, увеличивается скорости полимеризационных процессов.

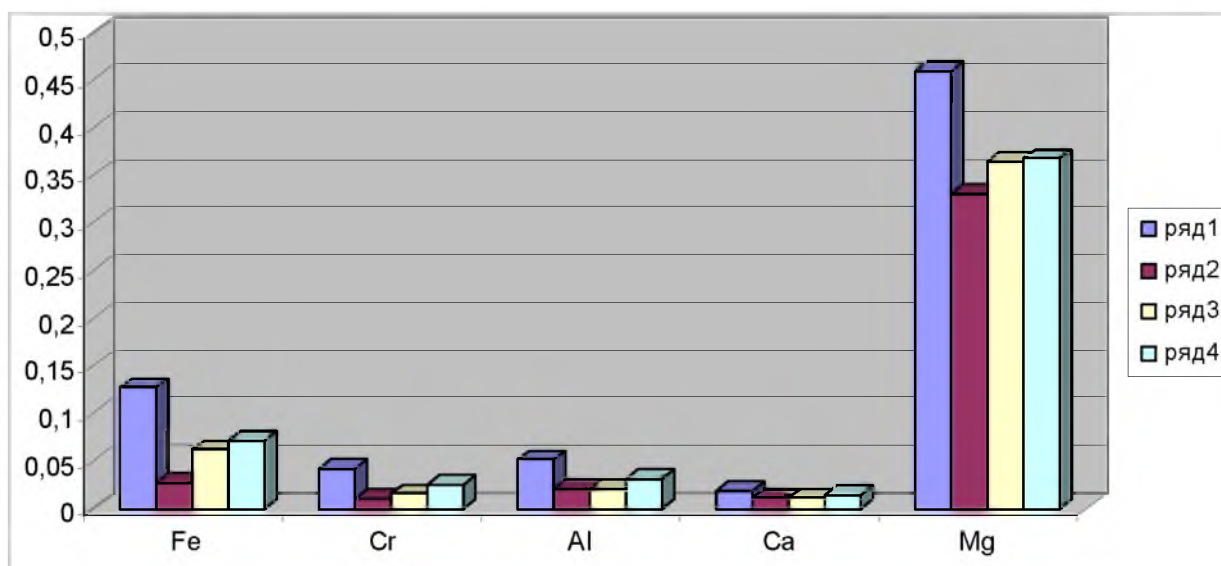


Рисунок 2 - Относительное содержание элементов в образцах углепродуктов: ряд 1 – уголь-проба; ряд 2 - остаток угля после экстракции; ряд 3 - воск угольный; ряд 4 - битуминозная смола

По данным хромато-масс-спектрометрического анализа спирто-бензольный экстракт восковых веществ содержит кислородсодержащие углеводороды (сложные эфиры) (28.3%), ароматические углеводороды (37.1%) и алканы (27.5%).

В ходе исследований проведена количественная оценка содержания некоторых элементов в исходном образце бурого угля и продуктах его переработки. На рисунке 2 приведены данные анализов углеобразцов, снятых на лазерном атомно-эмиссионном спектрометре Matrix Continuum. Как следует из интерпретации интенсивностей линии проявления каждого элемента в исходных, промежуточных и конечных продуктах, обработка углеобразца в условиях микроволновой активации приводит к снижению содержания минеральных веществ в составе продуктов переработки [21]. Возможно, в этих условиях происходит разрушение надмолекулярной структуры углематериала, что приводит к увеличению выхода гуматов и экстрактивного буроугольного воска. Таким образом, в результате процессов активации методом направленного физико-химического воздействия на органические и минеральные компоненты бурого угля, происходит его преобразования в биологически и химически активный материалы.

Таким образом, полученные в работе результаты показывают возможность совмещения процессов щелочного растворения гуминовых веществ и экстракции битума из бурых углей, что может привести к упрощению технологического процесса переработки углепродуктов. Такая комплексная химическая переработка углей позволит получать из них значительное количество гуматов, битумов (смола и восков), а также минеральных солей.

Выводы

Проведено сравнительное исследование влияния микроволнового облучения на экстракционный выход гуминовых и битуминозных веществ из бурых углей. Показано, что использование микроволновой обработки образцов бурого угля в водно-щелочной среде приводит к повышению выхода гуматов и экстрагируемости битуминозной смолы. Установлено, что предварительная активация угля в микроволновом поле способствует углублению процесса экстракции, росту извлечения гуматов, битумов, восков и смол. Применение микроволновой активации углей в целях повышения выхода или получения обогащенных экстракционных продуктов может вовлечь в переработку низкобитуминозные угли, либо кардинально улучшить существующие технологии.

Работа выполнена в рамках научного гранта № 0613/ГФ4 «Исследование и разработка технологии получения буроугольного воска из углей низких стадий метаморфизма Центрального Казахстана»

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Концепция развития угольной промышленности Республики Казахстан на период до 2020 года / Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2008 года № 644.
- [2] Кричко А.А., Лебедев В.В., Фарберов И.Л. Нетопливное использование углей. - М.: Недра, 1978. -215 с.
- [3] Коробецкий И.А. Уголь – химическое сырье XXI века // ТЭК и ресурсы Кузбасса. – 2007. – № 3. – С. 32.
- [4] Липович В.Г. Химия и переработка угля. - М.: Химия, 1988. -336с.
- [5] Жеребцов С.И. Экстракционные технологии и продукты переработки бурых и некондиционных углей // Уголь. – 2007. –№ 9. – С. 30-34.
- [6] Родэ В.В., Жарова М.Н., Костюк В.А. и др. Основные проблемы получения и использования буроугольного воска // Химия твердого топлива. – 1974. – № 6. – С. 105-118.
- [7] Родэ В.В., Новаковский Е.М. Получение горного воска из битуминозных бурых углей // Химия твердого топлива. – 1995. – № 3. – С. 43-49.
- [8] Носкова Л. П., Сорокин А. П. Метилирование - метод углубления экстракционной переработки угля // Химия твердого топлива. – 2014. – № 5. – С.3-8.
- [9] Шумейко М.В. Производство углещелочных реагентов и гуминовых стимуляторов роста растений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – № 10. – С. 373-376.
- [10] Хренкова Т.М. Механохимическая активация углей. - М: Недра, 1993. -176с.
- [11] Zhang H., Mo Y., Sun M. The influence of acid treatment on structure and property of coals // Proceed. Int. Conf. Coal Sci. & Technol. Okinawa. - Japan, 2005. – P. 102-104.
- [12] Полубенцев А.В., Пройдаков А.Г., Кузнецова Л.А. Интенсификация процессов ожижения бурых и каменных углей методами механического воздействия // Химия в интересах устойчивого развития. - 1999. - № 7. – С. 203-217.
- [13] Саранчук В.И., Бутузова Л.Ф., Дружд М.А. Влияние химической модификации углей на их поведение в процессе переработки // Химия твердого топлива. - 1995. - № 3. – С. 32-37.
- [14] Бутузова Л.Ф., Коштонь А., Саранчук В.П. Структурно-химические превращения бурого угля при пиролизе и гидрогенизации // Химия твердого топлива. - 1998. - № 4. – С. 36-45.

- [15] Mochida I., Sakata R., Sakanishi K. Effects of deashing and low-pressure hydrogen on hydrogen transferring liquefaction at reduced solvent-coal ratio // *Fuel*. - 1989. - V. 68. - № 3. - P. 306-310.
- [16] Фазылов С.Д., Мулдахметов З.М., Болдашевский А.В. Реакции органического синтеза в условиях микроволнового облучения. - Караганда-Павлодар. 2010. 324с.
- [17] Бердонос С.С., Бердоносова Д.Г., Знаменская И.В. Микроолновое излучение в химической практике // *Химическая технология*. - 2000. - № 3. - С. 2-8.
- [18] Nuchter M., Ondruschka B., Bonrath W., Gum A. Microwave assisted synthesis – a critical technology overview // *Green Chem.* – P. 128 – 141.
- [19] Патент Германии №714909, кл. 12 г 3/01, опубл. 1935.
- [20] Патент RU 2304161. Способ переработки бурого угля / Савченко И.Ф., Ковшик П.И., Носкова Л.П. опубл. 10.08.2007.
- [21] Zhang H., Mo Y., Sun M. The influence of acid treatment on structure and property of coals // *Proceed. Int. Conf. Coal Sci. & Technol. Okinawa, Japan*. - 2005. - P. 102–104.

REFERENCES

- [1] Концепция развития угольной промышленности Республики Казахстан на период до 2020 года / Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2008 года № 644.
- [2] Krichko A.A., Lebedev V.V., Farberov I.L. *Netoplivnoe ispol'zovanie uglej*. M.: Nedra, 1978. 215 p. (in Russ.).
- [3] Korobeckij I.A. *TJeK i resursy Kuzbassa*, 2007, 3, 32 (in Russ.).
- [4] Lipovich V.G. *Himija i pererabotka uglja*. M.: Himija, 1988. 336 p. (in Russ.).
- [5] Zherebcov S.I. *Ugol'*, 2007, 9, 30-34. (in Russ.).
- [6] Rodje V.V., Zharova M.N., Kostjuk V.A. *Himija tverdogo topliva*, 1974, 6, 105-118. (in Russ.).
- [7] Rodje V.V., Novakovskij E.M. *Himija tverdogo topliva*, 1995, 3, 43-49. (in Russ.).
- [8] Noskova L. P., Sorokin A. P. *Himija tverdogo topliva*, 2014, 5, 3-8. (in Russ.).
- [9] Shumejko M.V. *Gornij informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*, 2008, 10, 373-376. (in Russ.).
- [10] Hrenkova T.M. *Mehanohimicheskaja aktivacija uglej*. M: Nedra, 1993. 176 p. (in Russ.).
- [11] Zhang H., Mo Y., Sun M. *Proceed. Int. Conf. Coal Sci. & Technol. Okinawa, Japan*, 2005, 102-104. (in Eng.).
- [12] Polubencev A.V., Projdakov A.G., Kuznecova L.A. *Himija v interesah ustojchivogo razvitiya*, 1999, 7, 203-217. (in Russ.).
- [13] Saranchuk V.I., Butuzova L.F., Druzhd M.A. *Himija tverdogo topliva*, 1995, 3, 32-37. (in Russ.).
- [14] Butuzova L.F., Koshton' A., Saranchuk V.P. *Himija tverdogo topliva*, 1998, 4, 36-45. (in Russ.).
- [15] Mochida I., Sakata R., Sakanishi K. *Fuel*, 1989, 68. 3. 306-310. (in Eng.).
- [16] Fazylov S.D., Muldahmetov Z.M., Boldashevskij A.V. *Reakcii organicheskogo sinteza v uslovijah mikrovolnogo oblucheniya*. Karaganda-Pavlodar, 2010. 324 p. (in Russ.).
- [17] Berdonosov S.S., Berdonosova D.G., Znamenskaja I.V. *Himicheskaja tehnologija*, 2000, 3, 2-8. (in Russ.).
- [18] Nuchter M., Ondruschka B., Bonrath W., Gum A. *Green Chem.*, 128 – 141. (in Eng.).
- [19] Patent Germanii №714909, кл. 12 г 3/01, опубл. 1935. (in Russ.).
- [20] Patent RU 2304161. Sposob pererabotki burogo uglja / Savchenko I.F., Kovshik P.I., Noskova L.P. opubl. 10.08.2007. (in Russ.).
- [21] Zhang H., Mo Y., Sun M. The influence of acid treatment on structure and property of coals // *Proceed. Int. Conf. Coal Sci. & Technol. Okinawa, Japan*. - 2005. - P. 102–104.

С.Д. Фазылов^{1*}, Ж.Б. Сәтбаева¹, Г.Ж. Кәріпова², А.Б. Татеева²,
М.З. Молдахметов¹, А.Е. Арынова¹, З.С. Даутова³

¹ ҚР Органикалық синтез және көмірхимиясы институты, Қарағанды;
² Е.А. Букетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қазақстан;
³ Шығыс-Қазақстан мемлекеттік университеті, Қазақстан

ҚОҢЫР КӨМІРЛЕРДЕН ГУМИНДІ ЖӘНЕ ШАЙЫРЛЫ ЗАТТАРДЫҢ ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ШЫҒЫМДАРЫНА МИКРОТОЛҚЫНДЫ СӘУЛЕЛЕНДІРУДІҢ ӘСЕРІ

Аннотация. Мақалада қоңыр көмірлерден экстрактивті түрде алынатын гуминді және шайырлы заттардың шығымдарына микротолқынды өңдеудің әсерлерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Қоңыр көмірлерді сулы-сілтілі ортада микротолқынды сәулелендірумен алдын ала өңдеу көмірдің органикалық массасының құрылымдық бұзылу процестерін белсендіреді. Микротолқынды өңдеуді қолдану гуматтардың, битумдардың және шайырлардың алыну тиімділігін жоғарылатады. Осы жағдайларда сәулелендіру қуатының, компоненттердің қатынасының, сілтінің концентрациясының мөлшерлік шамаларына байланысты жағдайда ерітіндіге өтетін өнімдердің мөлшері мен құрамдары кең шеңберде өзгеріп отырады. Микротолқынды белсендіруді көмірлерге қолдану шайырлылығы төмен көмірлерді өндіріске енгізуге, немесе көмір-өнімдерін кешенді өңдеу технологияларын түбегейлі түрде жақсартуға мүмкіншіліктер жасайды. Алынған нәтижелер қоңыр көмірлерден микротолқынды өріс жағдайында гуминді заттардың сілтілік ортада еріту мен битумдарды экстракциялау процесстерін біріктіре жүргізуге болатынын көрсетті, көмірөнімдерін өңдеудегі технологиялық процесстерді оңайлатуға мүмкіншіліктер жасайды.

Тірек сөздер: қоңыр көмір, микротолқынды сәулелендіру, битум, гумат.