

ВЛИЯНИЯ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СОСТАВ, СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ШУНГИТОВЫХ ПОРОД

М.М. Байгулбаева^{1,2}, Е.К. Онгарбаев^{1,2*}, Е. Тилеуберди^{1,2}, А.Б. Жамболова^{1,2}, К. Жумахан^{1,2}

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби 71, Алматы, Казахстан

²Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

В работе изучено влияние механохимической активации на состав, свойства и структуру шунгитовых пород месторождения Коксу. Использование наноструктурированного порошка шунгита в сорбентах может привести к улучшению их сорбционных свойств. В результате механохимической активации в образцах шунгитовых пород карбонатного и сланцевого происхождения уменьшается массовая доля углерода, массовая доля кремния увеличивается. В составе пород также увеличивается содержание кислорода, алюминия и железа, что способствует улучшению сорбционных свойств шунгита. Механохимическая активация привела к увеличению удельной поверхности, удельного объема и размера пор образцов. В результате механохимической активации образцов шунгита происходит изменение поверхностной структуры материала, при этом получают углеродные материалы с более развитой поверхностной структурой и повышенной пористостью.

Ключевые слова: шунгит, элементный состав, механохимическая активация, углерод, кремний, измельчение, сорбция, дисперсность.

1. Введение

Одним из наиболее приоритетных направлений развития науки и технологий является создание на основе углеродных материалов новых структур и материалов, повышение их качества и модификация, расширение диапазона использования. Перспективным углеродсодержащим сырьем многоцелевого использования являются шунгитовые породы – природные композиционные материалы.

Природный минерал – шунгит является хорошим сорбционным материалом, что позволяет использовать его для очистки воды от нефти, солей тяжелых металлов [1]. Основу данного минерала составляет шунгитовый углерод, являющийся фуллереноподобным, а также алюмосиликаты, оксиды щелочных металлов и следовые количества рассеянных металлов. Шунгитовые породы являются сложной смесью углерода, оксидов кремния и металлов, таких как оксид алюминия и оксида кальция, что позволяет предположить в нем хорошие адсорбционные свойства [2].

Для повышения эффективности сорбентов проводится модифицирование их поверхности. Известно, что определяющим свойством сорбентов является их дисперсность, выражаемая в показателях размера частиц и их удельной поверхности. Чем дисперснее образец, тем будет выше уровень сорбционных свойств сорбента с ним. Наличие комплекса гидрофильных и гидрофобных, кислотных и основных структур в составе шунгита облегчает процессы его физического и химического модифицирования.

Увеличение дисперсности порошка возможно с применением интенсивных и энергоемких технологий дробления [3].

В настоящее время механохимическая активация находит широкое применение как метод получения новых высокодисперсных материалов. Применение данного метода по отношению к шунгитовым породам изучено недостаточно, что, вероятно, связано с их высокой механической прочностью и сложной морфологии включения углерода в силикатную матрицу.

*Ответственный автор
E-mail: erdos.ongarbaev@kaznu.kz (Е. Онгарбаев)

Изучено влияние термо- и механохимической модификации минерала шунгит III на его химический состав и физико-химические свойства [4]. Предложен метод механохимической модификации шунгита, позволяющий получить тонкодисперсный сорбент с удельной поверхностью $70,6 \text{ м}^2/\text{г}$, общим объемом пор $0,336 \text{ см}^3/\text{г}$ и концентрацией углерода более 75%.

Авторами статьи [5] установлены эффекты образования продуктов механохимических превращений за счет протекания физико-химических процессов межфазных взаимодействий на месте активных центров комбинированных компонентов.

Изучена возможность получения дисперсного модификатора из шунгита для производства различных строительных материалов. Исследован состав дисперсных углеродсодержащих модификаторов, полученных в процессах «сухого» и «мокрого» измельчения шунгита [6]. В статье [7] представлены результаты влияния механической активации шунгита, на его спекаемость и получение чистой керамики SiC.

Особый интерес также представляют наноструктурированные наполнители, полученные термообработкой шунгитовых пород и содержащие углеродные наноразмерные оболочки и волокна SiC [8, 9]. Было показано, что небольшая добавка (2,5%) наноструктурированного шунгитового наполнителя может заменить более 40% наполнителей с увеличенной эффективностью экранирования композитного материала.

В работе [10] установлено, что в результате флотационного обогащения шунгита и его последующей термической активации могут быть получены углеродные материалы с более развитой и упорядоченной структурой поверхности и повышенной пористостью. Методом БЭТ установлено, что термическая и парогазовая активация шунгита приводит к значительному увеличению удельной поверхности образца и удельного объема пор, а также к уменьшению среднего размера пор.

Механохимическая активация минерального шунгита, повышение его дисперсности и пористости, изменение структуры органоминеральной матрицы позволит улучшить его сорбционные свойства и получать новые сорбенты для использования в различных отраслях промышленности. В данной работе изучена возможность увеличения дисперсности шунгитовых образцов месторождения Коксу

(Казахстан) путем механохимической активации. Месторождение Коксу шунгитовых пород в Алматинской области Республики Казахстан имеет оценочные запасы – более 620 млн. т. Шунгитовый материал марки «Таурит», производящий горнорудной компанией «Коксу» – это своего рода природный минерал кластерного типа, имеющий в своей структуре как органическую, так и минеральную части, не похожий на уже известные углеродсодержащие ископаемые минералы.

Целью работы является изучение влияния механохимической активации на состав, структуру и свойства шунгитовых пород месторождения Коксу.

2. Экспериментальная часть

Механохимической активации были подвержены образцы шунгитовых пород месторождения Коксу марки «Таурит». Были выбраны 2 образца: карбонатный ТК фракции 1 мм и сланцевый ТС фракции 1 мм.

Механохимическая активация образцов шунгитовых пород проводилась на планетарной шаровой мельнице Pulverisette 6. Скорость вращения 250-500 об/мин, время активации 20 мин, масса образцов 70-350 г, масса шариков 70-170 г.

Удельная поверхность, удельный объем и размер пор определены автоматическим анализатором 3Н-2000PS1. Измерение удельной поверхности проводилось одноточечным и многоточечным методом Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ), а также методом Ленгмюра по низкотемпературной адсорбции жидкого азота. Прибор позволяет определить размер пор от 0,35 до 500 нм, при этом проводится анализ микропор размером 0,35-2 нм, мезопористый анализ от 2 до 50 нм и макропористый анализ пор размером от 50 до 500 нм.

Элементный состав образцов определен методом энергодисперсионной спектроскопии на приборе EDAX ametek.

Электронно-микроскопические снимки сняты на сканирующем электронном микроскопе SEM FEI Quanta 3D 200i.

3. Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены состав и основные физико-химические показатели образцов шунгита марки «Таурит».

Образцы шунгита марки ТК и ТС по внешнему виду представляют собой зерна и пыль

Таблица 1. Качественные показатели образцов шунгита марки «Таурит»

Показатель	Нормативное значение по СТ 60-1907-23-ТОО-001-2014 карбонатный/сланцевый	Карбонатный ТК	Сланцевый ТС
Массовая доля углерода, %	7-15 / 4-8	12,0	5,6
Массовая доля SiO ₂ , %	30-55 / 72-85	48,1	76,1
Содержание водораствори- мых веществ, %	не более 1,5	0,72	0,91
Массовая доля влаги, %	-	1,0	3,5
pH водной суспензии	7-10	8,8	8,2
Крупность, мм	-	0-1	0-1

неправильной геометрической формы от темно-серого до черного цвета. Как видно из табличных данных, они отличаются по массовой доле углерода и оксида кремния. В карбонатных образцах содержание углерода 12 мас.%, что в 2 раза больше, чем в сланцевых породах (5,6 мас.%). Массовая доля оксида кремния в сланцевых породах составляет 76,1%, в то время как в карбонатных породах его меньше – 48,1%. Содержание водорастворимых веществ в образцах не более 1,0%. Массовая доля влаги в карбонатных образцах 1,0 %, а в сланцевых – 3,5 %. Значение pH водной суспензии находится в пределах 8,2-8,8. Указанные показатели соответствуют требованиям стандарта ТОО «Горно-рудная компания Коксу» СТ 60-1907-23-ТОО-001-2014.

Количественный анализ элементного состава показал, что образцы шунгита Коксуского месторождения представлены в основном следующими элементами: углерод, кислород и кремний, также присутствуют в небольших долях – алюминий, железо, калий, магний, кальций, натрий (таблица 2).

Как показывают результаты элементного анализа, содержание углерода в карбонатных породах больше (53,03 мас.%), чем их содержание в сланцевых породах (43,20 мас.%).

Содержание кремния в сланцевых породах больше (11,67 мас. %), чем в карбонатных образцах. Эти данные подтверждают ранее представленные значения по содержанию чистого углерода и оксида кремния в образцах шунгитовых пород.

Отмечается относительно высокое содержание кальция в образцах марки ТК карбонатного происхождения. Образцы сланцевого происхождения ТС характеризуются сравнительно высоким содержанием алюминия, калия и железа. Содержание натрия и магния в исходных образцах сильно не отличается.

Анализ элементного состава шунгитовых образцов после измельчения показал, что в результате механохимической активации в полученном продукте снижается массовая доля углерода до 27 мас.%, возрастает массовая доля кремния до 19-20 мас.%. В составе измельченного механохимической активацией продукта увеличивается содержание кислорода до 37 мас.%, алюминия до 5,6-6,2 мас.% и железа до 5-5,6 мас.%, эти элементы способны улучшить сорбционные свойства шунгита. Таким образом, механоактивация приводит к обогащению шунгита кремниевой компонентой.

Таблица 2. Элементный состав образцов шунгитовых пород до и после механохимической активации

Марка	Содержание, мас. %									
	C	O	Si	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Fe
ТК	53,03	27,05	8,47	0,05	0,31	1,69	0,65	6,38	-	2,38
ТС	43,20	31,88	11,67	0,24	0,59	5,77	2,13	0,58	0,92	3,02
ТК после активации	27,90	37,17	19,65	0,28	0,62	5,64	1,91	0,63	0,56	5,64
ТС после активации	27,05	37,23	20,44	0,29	0,57	6,27	1,95	0,54	0,48	5,00

Механохимическая активация образцов шунгитовых пород проводилась при различных режимах.

В таблице 3 приведено содержание элементов в образцах после измельчения в зависимости от режима обработки. Как видно из табличных данных, снижение скорости вращения приводит к незначительному изменению содержания элементов, наблюдается уменьшение содержания углерода, кислорода и натрия, а содержание кремния, алюминия, железа и калия увеличивается.

Увеличение соотношения массы образца и массы шаров с 1:1 до 1:3 при скорости измельчения 400 об/мин не привело к значительным изменениям содержания элементов. Для всех элементов изменение их количества находится в пределах от 0,5 до 1,5 %.

В работе исследованы характеристики полученного наноструктурированного шунгитового порошка: удельная поверхность методами БЭТ и Лэнгмюра, удельный объем и размер пор. В таблице 4 представлены физико-химические характеристики образцов шунгита до и после механохимической активации. Как видно из табличных данных, удельная поверх-

ность исходных карбонатных пород (10,37 м²/г) практически в 2 раза меньше, чем сланцевых пород (21,81 м²/г). Такая же закономерность наблюдается по значениям удельного объема пор. Размер пор в карбонатных образцах (1,0942 нм) больше чем, у сланцевых образцов (0,8107 нм).

После механохимической активации наблюдается увеличение удельной поверхности шунгитовых образцов. Активация привела к увеличению удельной поверхности для карбонатных пород с 10,37 до 14,67 м²/г, для сланцевых пород – с 21,81 до 26,36 м²/г. Такое же увеличение удельной поверхности наблюдается после измерения одноточечным методом БЭТ и методом Лэнгмюра.

Удельный объем пор образцов после механохимической активации также повышается, у исходных карбонатных образцов его значение составило 0,0051 см³/г, после механоактивации увеличилось до 0,0072 см³/г. Для сланцевых образцов значение данного показателя изменяется с 0,0107 до 0,0130 см³/г.

Активированные образцы шунгитовых пород характеризуются повышенными значениями размера пор, у карбонатных образцов

Таблица 3. Элементный состав образцов шунгитовых пород после механохимической активации при различных режимах (скорость вращения шаров, соотношение масс образца и шаров)

Марка, режим	Содержание, мас. %									
	C	O	Si	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Fe
ТС, 500 об/мин, 1:2	27,05	37,23	20,44	0,29	0,57	6,27	1,95	0,54	0,48	5,00
ТС, 350 об/мин, 1:2	23,40	36,52	22,61	0,27	0,49	6,61	2,17	0,58	0,72	5,60
ТС, 250 об/мин, 1:2	24,77	36,94	21,62	0,22	0,47	6,46	2,20	0,70	0,49	5,35
ТК, 400 об/мин, 1:1	38,25	29,73	12,85	0,24	0,49	3,04	1,34	9,74	0,23	3,89
ТК, 400 об/мин, 1:3	39,82	30,29	11,66	0,16	0,36	2,60	1,08	9,05	0,37	3,61

Таблица 4. Физико-химические характеристики образцов шунгита до и после механохимической активации

Марка шунгита, скорость измельчения, соотношение образца и шаров	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г многоточечный/ одноточечный	Удельная поверхность по Лэнгмюру, м ² /г	Удельный объем пор, см ³ /г	Размер пор, нм
ТК	10,37/9,76	16,28	0,0051	1,0942
ТС	21,81/20,40	35,19	0,0107	0,8107
ТК, 500 об/мин, 1:2	14,67/13,72	22,89	0,0072	1,1550
ТС, 500 об/мин, 1:2	26,36/24,62	43,69	0,0130	0,8994
ТС, 350 об/мин, 1:2	25,14/23,52	38,43	0,0124	1,0288
ТС, 250 об/мин, 1:2	24,61/23,00	40,89	0,0122	0,9856
ТК, 400 об/мин, 1:1	14,15/13,40	22,29	0,0070	1,1800
ТК, 400 об/мин, 1:3	14,62/14,07	22,55	0,0072	1,0109

размер пор составляет 1,155 нм, что больше на 0,06 нм чем исходные образцы. Размер пор активированных сланцевых пород равен 0,8994 нм, что также на 0,08 нм больше, чем образцы в исходном состоянии.

Изменение режимов обработки образцов не привело к значительным изменениям, при снижении скорости измельчения удельная поверхность образцов уменьшается незначительно, при увеличении соотношения образца и шаров показатели практически не меняется.

Таким образом, после механохимической активации наблюдается улучшение физико-химических характеристик шунгитовых образцов. Механохимическая активация привела к увеличению удельной поверхности, удельного объема и размера пор образцов.

Особенностью тонкодисперсных образцов шунгита является низкая структурность и высокая функциональность поверхности [11]. Особенность структуры шунгита состоит в том, что активный углерод с кремнеземом образуют взаимопроникающую сетку с общей высокоразвитой поверхностью [12]. При механической активации дробление шунгита проходит по углеродным жилам, что обусловлено высокой твердостью (мерой связности атомной структуры вещества) кварца (SiO_2) [11].

На рис. 1. представлены электронно-микроскопические снимки образцов шунгитовых пород до и после механохимической активации.

Исходные образцы шунгитов (рис. 1а и 1б) представляют собой неравномерные по размерам гранулы разной формы с шероховатой

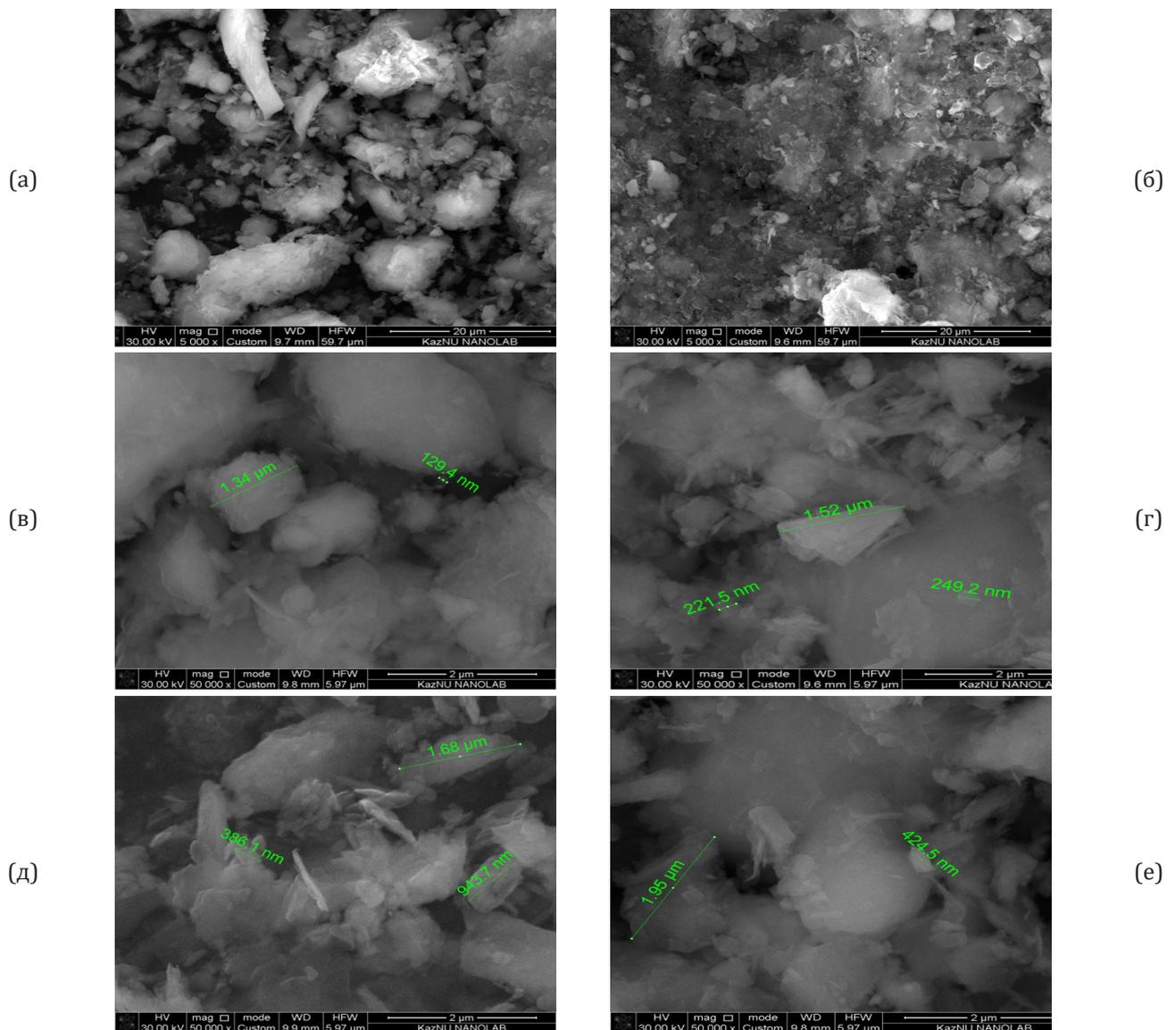


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки образцов шунгитовых пород: до активации ТК (а) и ТС (б); ТС после механохимической активации со скоростью 500 об/мин (а) и 300 об/мин (б); ТК после механохимической активации со скоростью 400 об/мин при соотношении масс образца и шаров 1:3 (а) и 1:1 (б).

поверхностью, образованной многочисленными ямками, отличающихся по диаметру и глубине. Основным структурным элементом шунгитов являются глобулы, представляющие собой сферические или эллипсоидальные углеродные образования, внутри которых наблюдается наличие пустот или пор.

Снимки показывают, что в результате механохимической активации образцов шунгита происходит изменение поверхностной структуры материала. При этом получают углеродные материалы с более развитой поверхностной структурой и повышенной пористостью.

Как видно из рис. 1в и 1г, в образцах шунгитов сланцевого происхождения можно отметить появление частиц с размерами 129,4; 221,5; 249,2 нм, что подтверждает получение наноструктурированных образцов. При этом следует отметить то, что более измельченные образцы получают при механоактивации пород сланцевого происхождения. В результате механохимической активации образцов шунгитов карбонатного происхождения также получены наноструктурированные образцы размерами частиц 386,1; 424,5; 943,7 нм (рис. 1д и 1е). Здесь на снимках в отличие от сланцевых пород наблюдаются относительно крупные частицы, что объясняется высокой прочностью составляющих компонентов пород карбонатного происхождения. Они трудно поддаются измельчению и сохраняют структуру при механохимической активации.

Таким образом, в результате механохимической активации наблюдается изменение состава, структуры и свойств шунгитовых пород, вследствие этого данный материал представляется перспективным в качестве адсорбента для очистки воды и почвы от нефтяных загрязнений.

4. Заключение

Механохимическая активация привела к увеличению удельной поверхности, удельного объема и размера пор образцов шунгитовых пород. В результате механохимической активации в образцах снижается массовая доля углерода, возрастает массовая доля кремния. В их составе увеличивается содержание кислорода, алюминия и железа, способные улучшить сорбционные свойства шунгита. Получены наноструктурированные образцы шунгитовых пород с размерами частиц от 100 до 400 нм.

Для приготовления сорбентов оптимальными оказались образцы шунгитов сланцевого происхождения.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК по грантовому проекту AP08856559 «Разработка сорбентов на основе шунгитовых пород для очистки нефтезагрязненных почв»

Литература

- [1]. Bondarenko S.V., Tarasevich Y.I., Polyakov V.E. Adsorption Properties of the Natural Carbon-Mineral Sorbent Shungite // *Adsorption Science & Technology*. – 2008. – Vol.26, No.1/2. – P.3-13.
- [2]. Мусина У.Ш., Самонин В.В. Углерод-минеральный состав шунгитовых пород Коксуского месторождения Казахстана // *Известия СПбГТИ(ТУ)*. – 2013. – №19. – С.39-41.
- [3]. Молчанов В.И., Юсупов Т.С. Физические и химические свойства тонкодиспергированных минералов. – М.: Недра, 1981. – 160 с.
- [4]. Полунина И.А., Высоцкий В.В., Сенчихин И.Н. и др. Влияние модифицирования на физико-химические характеристики шунгита // *Коллоидный журнал*. – 2017. – Т.79, №2. – С.192-197. DOI: 10.7868/S0023291217020100
- [5]. Eismont Y., Auchynnikau Y., Avdeychik S., Ikramov A., Grigorieva T. Mechanochemical processes in the formation of engineering materials based on polymers // *Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations*. – 2015. – №1. – P.36-41.
- [6]. Yusupova S.S., Myzernaya M.A., Khairullina A.A., Kartygin A.V. Basis of use of dispersed carbon-containing modifiers for production of construction materials with given properties // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Samara, Russia, 2020*. – P.775. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012128
- [7]. Obradovic' N., Gigov M., Dordevic' A., Kern F., Dmitrovic' S., Matovic' B., Dordevic'A., Tshantshapanyan A., Vlahovic' B., Petrovic' P., Pavlovic V. Shungite – a carbon-mineral rock material: Its sinterability and possible applications // *Processing and Application of Ceramics*. – 2019. – Vol.13, №1. – P.89-97. DOI: 10.2298/PAC19010890
- [8]. Moshnikov I.A., Kovalevski V.V. Composite materials based on nanostructured shungite filler // *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – №5. – P.25971-25975.

- [9]. Kovalevskii S.V., Moshnikov I.A., Kovalevski V.V. Heat treated nanostructured shungite rocks and electrophysical properties associated // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. – 2018. – Vol.9, №4. – P.468-472. DOI: 10.17586/22208054201894468472
- [10]. Казанкапова М.К., Наурызбаев М.К., Ефремов С.А. и др. Получение активированного шунгита, исследование его химического состава и адсорбционных свойств // *Химия твердого топлива*. – 2019. – №4. – С.59-66. DOI: 10.1134/S002311771904008X
- [11]. Моисеевская Г.В., Шпаков М.Ю., Раздьяконова Т.Н. и др. Об эффективности механоактивации шунгитового наполнителя резин марки Таурит ТС-Д // *Каучук и резина*. – 2012. – №6. – С.14-16.
- [12]. Игуменова Т.И. и др. // *Материалы Международного форума по нанотехнологиям*. М.: Госкорпорация «РоснаноТех», 2008. – Т.3. – С.158.
- [10]. Kazankapova MK, Nauryzbaev MK, Efremov SA, Ermagambet BT, Nurgalieva NU, Nechipurenko SV (2019). *Solid Fuel Chemistry* 53:242-248. DOI: 10.3103/S0361521919040086
- [11]. Moiseevskaya GV, Shpakov MYu, Razdyakonova TN et al. (2012). *Rubber [Kauchuk i rezina]* 6:14-16. (In Russian)
- [12]. Igumenova TI et al. (2008). *Materials of International Forum on nanotechnology*. Moscow, Russia. Vol. 3. P. 158. (In Russian)

Influence of mechanochemical activation on the composition, properties and structure of shungite rocks

M.M. Baigulbaeva^{1,2}, Y.K. Ongarbayev^{1,2}, Y. Tileuberdi^{1,2}, A.B. Zhambolova^{1,2}, K. Zhumakhan^{1,2}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

References

- [1]. Bondarenko SV, Tarasevich YI, Polyakov VE et al. (2008). *Adsorption Science & Technology* 26:3-13.
- [2]. Mussina USh (2013). *SPbGTI(TU) news [Izvestia SPbGTI (TU)]* 19:39-41. (In Russian)
- [3]. Molchanov VI, Yussupov TS (1981). *Physical and chemical properties of finely dispersed minerals [Fizicheskie i himicheskie svoistva tonkodispersirovannyh mineralov]*. Moscow: Nedra. – 160 p.
- [4]. Polunina IA, Vysotskii VV, Senchikhin IN et al. (2017). *Colloid Journal* 79:244-249. DOI: 10.1134/S1061933X17020107
- [5]. Eisymont Y, Auchynnikaу Y, Avdeychik S, Ikramov A, Grigorieva T (2015). *Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations* 1:36-41.
- [6]. Yusupova SS, Myzernaya MA, Khairullina AA, Kartygin AV (2020). *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 775. DOI:10.1088/1757-899X/775/1/012128
- [7]. Obradovic' N, Gigov M, Dordevic' A, Kern F, Dmitrovic' S, Matovic' B, Dordevic'A, Tshantshapanyan A, Vlahovic' B, Petrovic' P, Pavlovic V (2019). *Processing and Application of Ceramics* 13:89-97. <https://doi.org/10.2298/PAC19010890>
- [8]. Moshnikov IA, Kovalevski VV (2018). *Materials Today: Proceedings* 5:25971-25975.
- [9]. Kovalevskii SV, Moshnikov IA, Kovalevski VV (2018). *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics* 9:468-472. DOI: 10.17586/22208054201894468472

Abstract

The paper studies the effect of mechanochemical activation on the composition, properties and structure of shungite rocks of the Koksuy deposit. The use of nanostructured shungite powder in sorbents can lead to an improvement in their sorption properties. As a result of mechanochemical activation in the samples of shungite rocks of carbonate and shale origin, the mass fraction of carbon decreases, and the mass fraction of silicon increases. The composition of the rocks also increases the content of oxygen, aluminum and iron, which contributes to the improvement of the sorption properties of shungite. Mechanochemical activation led to an increase in the specific surface area, specific volume, and pore size of the samples. As a result of the mechanochemical activation of shungite samples, the surface structure of the material changes, and carbon materials with a more developed surface structure and increased porosity are obtained.

Key words: shungite, elemental composition, mechanochemical activation, carbon, silicon, grinding, sorption, dispersion.

Шунгит жыныстарының құрамы, қасиеттері және құрылымына механохимиялық активтендірудің әсері

М.М. Байгулбаева^{1,2}, Е.К. Онғарбаев^{1,2*}, Е. Тілеуберді^{1,2},
А.Б. Жамболова^{1,2}, К. Жұмахан^{1,2}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²«Жану проблемалары институты», Алматы, Қазақстан

Аңдатпа

Мақалада Көксу кен орнының шунгит жыныстарының құрамы, қасиеттері мен құрылымына механохимиялық активтендірудің әсері зерттелген. Сорбенттерде наноқұрылымды шунгит ұнтағын пайдалану олардың сорбциялық қасиеттерінің жақсаруына алып

келеді. Карбонатты және тақтатасты текті шунгит жыныстарының үлгілерінде механохимиялық активтендіру нәтижесінде көміртектің массалық үлесі азаяды, ал кремнийдің массалық үлесі артады. Жыныстардың құрамында оттегі, алюминий және темірдің мөлшері көбейеді, бұл шунгиттің сорбциялық қасиеттерін жақсартуға ықпал етеді. Механохимиялық активтендіру үлгілердің меншікті бетінің, меншікті көлемінің және кеуектерінің өлшемінің ұлғаюына әкелді. Шунгит үлгілерін механохимиялық активтендіру нәтижесінде материалдың беттік құрылымы өзгеріп, беттік құрылымы анағұрлым дамыған және кеуектілігі жоғарылаған көміртекті материалдар алынады.

Кілт сөздер: шунгит, элементтік құрам, механохимиялық активтендіру, көміртек, кремний, ұсақтау, сорбция, дисперстілік.