

Ризагуль Муслимовна Дюсова – техника ғылымдарының кандидаты, «Механика және мұнай-газ дело» кафедрасының постдокторанты, «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Павлодар қ., Қазақстан; e-mail: rizagul.dyussova@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>.

Гайни Жумағалиевна Сейтенова – химия ғылымдарының кандидаты, «Химия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Еуразия ұлттық университеті. Л. Гумилева, Астана қ., Қазақстан; e-mail: gainiseitenova@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>.

Асель Еркековна Джексембаева – Инновацияларды дамыту департаментінің директоры, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан Республикасы; e-mail: dzhexembayeva_aye@enu.kz.

Сведения об авторах

Жанара Ануарбековна Нурахметова* – PhD, старший преподаватель кафедры химии; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан; e-mail: zhanaranurakhmet@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2558-8579>.

Самал Ахметалиевна Коспармакова – магистр, заместитель директора по качеству и логистике научно-производственного центра «ENU-Lab», г. Астана, Казахстан; e-mail: smartsam0509@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4700-364X>.

Ризагуль Муслимовна Дюсова – кандидат технических наук, постдокторант кафедры «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Торайғыров университет», г.Павлодар, Казахстан; e-mail: rizagul.dyussova@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>.

Гайни Жумағалиевна Сейтенова – кандидат химических наук, ассоциированный профессор кафедры «Химия», Евразийский национальный университет им. Л. Гумилева, г. Астана, Казахстан; e-mail: gainiseitenova@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>.

Асель Еркековна Джексембаева – директор Департамента развития инноваций, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан; e-mail: dzhexembayeva_aye@enu.kz.

Received 19.02.2024

Revised 08.05.2024

Accepted 10.05.2024

DOI: 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-60

FTAXP: 31.23.99



Н.Н. Нурғалиев^{1*}, А.Т. Оразбеков^{1,3}, Ж.М. Жандосов², Б.С. Гайсина¹

¹Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка көшесі, 20

²Жану проблемалар институты,
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы, Бөгенбай батыр көшесі, 172

³Физика және математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебі,
070000, Republic of Kazakhstan, Semey, Karagaily microdistrict, 1

*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

БИОМЕДИЦИНАЛЫҚ КӨМІРТЕКТІ АДСОРБЕНТТЕРДІҢ КЕУЕКТІ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН МЕНШІКТІ БЕТІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: Мақаланың мақсаты белсендірілген көмірдің беткі қабатын, микропора көлемін және жалпы кеуек көлемін йод пен метилен көк сандарымен бірнеше регрессияны ескеріп, талдау жолын байқату. Бұл әдіс күріштің қауызы прекурсорларынан дайындалған белсендірілген көмір үлгілерін зерттеу арқылы әзірленген. Және де адсорбенттің физикалық және химиялық сипаттамалары бойынша таңдау критерийлерін негіздеу болды. Кеуек құрылымын және беттік химияның әсерін жүйелі түрде бағалау үшін активтендірілген көмірді зерттелді. Йод саны мен метилен көк санын бірнеше регрессия арқылы белсендірілген көміртегі үлгілерінің бетінің ауданын, микропора көлемін және жалпы кеуек көлемін бағалау әдістемесі әзірленді. Күріштің қауызын фосфор қышқылымен түрлі температура жағдайында активациялаумен алған карбонизацияланған күріш қауызы (КҚҚ) үлгілері серияларының ішінен жоғары меншікті беттік ауданы мен йод санына 400-500°C температураларда активацияланған үлгілері (КҚҚ-Р-400 және КҚҚ-Р-500) екені зерттелді. Бастапқы және соңғы өнімде оттегі мөлшері көп болған сайын, соншалықты белсендірілген көміртекті материал (БКМ) йод саны мен меншікті беттік ауданы арасындағы қатынасы жоғары

болады: фосфор қышқылымен 500°C температура жағдайында активациялаумен алынған үлгілерінің йод саны (1150 мг/г) мен меншікті беттік ауданы ($1690 \text{ м}^2/\text{г}$) жоғары екені анықталды.

Түйін сөздер: белсендірілген көмір, адсорбент, кеуекті құрылым, беттік аудан, йод саны.

Кіріспе

Лигноцеллюлоза өзіндік құны аздау көміртекті материалдарды алуға қолжетімді және жыл сайын қалпына келетін өсімдік шикізаты ретінде саналады. Ауылшаруашылық қалдықтары негізінде белсендірілген көмірлер көптеген үрдістер үшін зор маңызы бар кеуекті материал болып келеді. Белсендірілген көмірдің басты қолданыс аясы саласының бірі- газ немесе сұйық фазадағы ластаушы улағыштарды адсорбциялауы, газды сақтау мен катализаторлардың тасымалдаушысы ретінде қолданысы есептеледі. Белсендірілген көміртекті материалды (КМ) қолданылуына әсер етушілер кеуек көлемі мен беттік аудан сияқты физикалық параметрлермен сипатталады.

Көміртекті материалдың беттік ауданы Брунауэр-Эмметт-Теллер (БЭТ) әдісі арқылы өлшенеді және сұйық азоттың (77 K) әртүрлі қысымдағы адсорбциясын пайдаланады. Бұл әдістер кең таралып, кеуекті заттардың беттік ауданын анықтауда қолданылғанымен, біршама уақыт және қымбат қондырғыны пайдалануды талап етеді [1-7].

Зерттеу әдістері

Рентгенфлюоресцентті анализ

Көміртек, сутек және азот мөлшерін элементарлы анализатор «VARIO ELEMENTAR III-те» анықталды. Бұл әдіс карбонизацияланған үлгіні оттегі қоспасынан тазартылған тоқта жағуға негізделген. Көміртектің массалық үлесі үлгіні жаққанға дейінгі және кейінгі массалардың айырымы арқылы есептеледі. Бұл әдістің қателігі 2-4%.

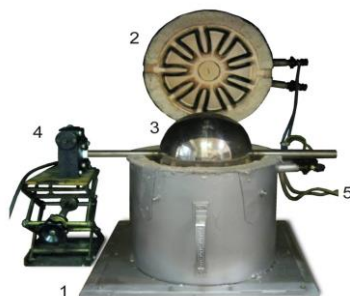
Энергодисперсиялық ионды рентгендік микроанализ

Үлгінің химиялық құрамына локальді анализ жүргізу үшін микроскоп энергодисперсиялық ионды рентгенді спектрометрмен EDAX (EDAX Co.), жасақталған жартылай өткізгішпен (полимер, терезесі $d = 0,3 \text{ мм.}$), энергетикалық мүмкіндігі 128 эВ болатын детектормен жабдықталған. Электр шоғы фокустеледі.

Меншікті беттік ауданды анықтау (БЭТ әдісі)

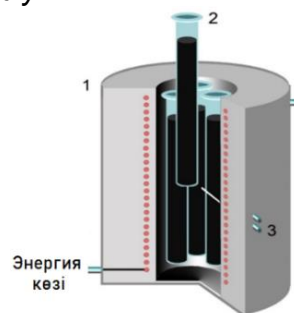
КҚ үлгілерінің микрокеуектілігі мен мезокеуектілігінің құрылымдық сипаты ($17\text{-ден } 3000 \text{ Å-ге}$ дейін) туралы ақпаратты төмен температуралы азот әдісімен ASAP-2400 («Micromeritics Instrument. Corporation», Norcross, GA, USA) аспабында алынды. 150°C температурада алынған және $0,001 \text{ мм.сын.бағ.}$ -нан төменгі қалған қысымда бар үлгілермен алдын ала дайындау жүргізілді. Одан кейін сұйық азот үшін 77 K температурада және қатысты қысым $0,005$ до $0,991 \text{ мм.сын.бағ.}$ аралығында болғанда азоттың адсорбциясының изотермасын өткіздік, сонымен қатар цилиндрлі кеуектердің шартты моделін қолдана отырып Barret-Joynner-Halenda әдісі бойынша жалпы беттік қабатты S_{Σ} және БЭТ әдісі бойынша микрокеуек көлемін S_{μ} , кеуектердің жалпы көлемін V_{Σ} , микрокеуек көлемін V_{μ} , кеуектің орташа диаметрін $D_{орт}$ (микро- және макрокеуектерді санағанда) стандартты өңдеу жасадық. Кеуектердің өлшем бойынша таралуына қатысты әдістің мүмкіншілігі мезокеуек облысымен шектеледі.

Көміртекті материалдарды активациялау арқылы алу



1 – пештің ішкі корпусы; 2 – ілмегі бар пештің қапқағы;
3 – сфералық реактор; 4 – мотор-редуктор;
5 – энергия көзі;

Сурет 1а – Бу-газ активациясының қондырғысы



1 – Цилиндр пеш блогы; 2 – Фосфор қышқылы мен грек жаңғағының қабығы қоспалары бар кварц сынауықтары; 3 – термोजұптары

Сурет 1б – Күріш қауызының үлгісін фосфор қышқылы арқылы химиялық активациялау

Прекарбонизация

Лигноцеллюлозды материал (прекурсор) фосфор қышқылымен (70%, $\rho = 1,53 \text{ г/см}^3$) қажетті қатынаста араластырылды. Ішінде қоспасы бар шыны ыдысты кептіргіш шкафқа қойып, 160 – 200°C температурада кемінде 12 сағат кептірілді.

Лигноцеллюлозды материалды фосфор қышқылымен активациялау

Ішінде бастапқы материал (прекурсор) фосфор қышқылымен әр түрлі қатынаста сіңдіріліп, одан кейін прекарбонизацияланған қоспасы бар кварцтан жасалған ыдыстарды хромель-алюмель терможұбымен жабдықталған вертикалды цилиндрлі пешке орналастырылды. Пештегі температураны $\sim 5^\circ\text{C/мин}$ жылдамықпен 300-600°C температураға дейін көтеріп, белгілі бір уақыт (0,5; 1; 1,5 және 2сағ) ұсталды.

Нейтралдау

ККҚ мен фосфор қышқылының карбонизацияланған қоспасына артық мөлшерде дистилденген су құяды. Суығаннан кейін қоспаны термотұрақты стақанға көшіреді. Фосфор қышқылын Na_2HPO_4 -ға дейін сілтінің эквивалентті ерітіндісімен нейтралдайды, қоспаны 10 минут қайнатады. Седиментациядан кейін ерітіндіні төгіп, қалған тұнбаны екі рет жуады және қалған Na_2HPO_4 ерітіндісінің буферлі сыйымдылығын төмендету үшін қайнап тұрған дистилденген судың көп мөлшерімен жуады.

Дисилицирлеу

Күріш қауызынан 600 г алып, оған 2М NaOH ерітіндісінен 6л құйып, 30 минут қайнатылды. Ерітіндіні декантациялап, дисилицирленген күріш қауызын қайнату-седиментация-декантация сияқты процедураларды көп рет қайталау арқылы жуылды.

Құрамындағы кремний диоксидін жоюға карбонизацияланған күріштің қауызын көлемі 2 л әрі 0,5М сілтінің ерітіндісінде 30 минут шамасында қайнатылды. Осы ерітіндінің седиментациясы аяқталған дейін тұндырып, ары қарай декантацияланды. Кейін тұнбаны бейтарапты реакцияға дейін дистилденген.

Шаю мен кептіру

Карбонизация өнімін қышқыл мен сілтіден шаю дистилденген судың pH-ы 7 болғанша қайнату-седиментация-декантация сияқты процестерді бірнеше рет қайталау арқылы өткізілді. Үлгілер кептіргіш шкафта $110 \pm 5^\circ\text{C}$ температурада 12 сағаттан кем емес уақытта үлгі массасы тұрақты болғанға дейін кептіріліп, өлшеніп, герметикалық ыдыста сақталды.

Йод санын анықтау әдісі

Осы жұмыста йод санын (IN) ASTM D4607-94 стандартының талабына сай анықталды.

1 л йод ерітіндісін (0,1N) дайындау үшін кристалдық йод (12,69 г) пен калий йодидының (19,1 г) үлгілерін алып, фарфор ступкасында уқаланды. Қоспаны 1л қара шыныдан жасалған өлшегіш колбасына ауыстырылып, 50 мл дистилденген су құйып, тығынмен жауып, араластырып, 4 сағатқа қалдырылды. Содан соң, колбаның ішіндегі белгіге дейін сумен сұйытылып, араластырылды. Йод ерітіндісінің дәл титрін анықтау үшін стандартты титрдан (фиксанал) дайындалған 0,1 н натрий тиосульфат ерітіндісі қолданылды. Йод ерітіндісін титрлеу крахмал индикаторын қолдана отырып жүргізілді. Йод адсорбциясын жүргізу үшін зерттелетін көміртекті материалдың 5 түрлі үлгілері (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 $\pm 0,0001 \text{ г}$) алынып, 100 мл термотұрақты стакандарға салып, 10 мл 5% HCl ерітіндісі құйылып, 30с бойы плитқада буландырып, содан соң суытылды. Стакандарға 25 мл йод ерітіндісі құйылып, эксикаторда вакуумделді, үлгілер 10 мин бойы магнитті араластырғышта араластырылып, центрифугаланды. Тұндырылған ерітіндіні 100 мл колбаға құйып, йод ерітіндісінің соңғы концентрациясын анықтау үшін стандартты натрий тиосульфат ерітіндісімен титрленді. Адсорбциялық қабілет мына формула бойынша есептелінді:

$$q = \frac{(C_0 - C_{\text{теп-теңд}}) \cdot V}{m_{\text{БКМ}}} \times 1000$$

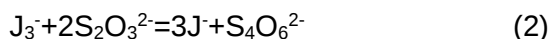
Мұндағы, q – 1 г БКМ адсорбцияланған йод мөлшері (мг) C_0 – йод ерітіндісі бастапқы концентрация (шамасы 12,69 г/л), $C_{\text{теп-теңд}}$ – йод ерітіндісінің тепе-теңдік концентрациясы, ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ерітіндісімен титрлеумен табылған) г/л, V – йод ерітіндісі көлемі (25 мл), $m_{\text{БКМ}}$ – белсендірілген көмірдің массасы, г [8- 12].

Зерттеу нәтижелері

Әдістеменің химизмі келесі теңдік реакциясына негізделген:

$$J_2 + J^- = J_3^- \quad [K = 7,1 \times 10^2] \quad (1)$$

Йодид-анионының болуы йодтың ерігіштігін, яғни трийодид-анионы формасына ауысуын қамтамасыз етеді (2).



Тиосульфаттың тетратионатқа дейін тотығуы йодтың сандық тотықсыздану есебінен өтеді және оның концентрациясын (2) теңдігіне сай анықтауға болады:

$$C_{I_2} = \frac{C_{Na_2S_2O_3} \cdot V_{Na_2S_2O_3}}{V_{I_2}} \times 129,6 \quad (3)$$

Йод санды анықтау әдістемесіне Фрейндлихтің сорбциялық моделдерін қолданғаны үшін келесідей теңдік келтірілген:

$$q = K \cdot C^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

q – (1) теңдігінен алынған, йоды бойынша сорбциялы сыйымдылық (мг/г),

C – йод ерітіндісі тепе-теңдігінің концентрация,

K – Фрейндлих константасы,

$1/n$ – адсорбциялы көрсеткіші.

Йод бойынша меншікті адсорбция логарифм йод тепе-теңдігінің концентрациясының логарифміне тәуелділігін графикалық форматта түзу сызықпен кескіндейді, түзудің ордината осымен қиылысатын нүктесі $\log K$ тең (4):

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad (5)$$

Сүйір бұрыштының тангенсін қолданып, адсорбциялы көрсеткіштерін ($\tan \alpha = 1/n$) есептей шығарды. Йод санын шартты концентрациясы 2,5 г/л (0,02 моль/л) болған кезде есептейді.

ККҚ үлгілерін йод сорбциясы және (1) мен (5) формулалар арқылы есептеме жүргізіп, $\log q / \log C_{\text{тепе-теңд.}}$ координатасында график тұрғызылды [8,9].

Зерттеу нәтижелерін талдау кезінде статистиканың сипаттамалық және вариациялық әдістері қолданылды. Бірінші кезеңде негізгі зерттелетін параметрлердің статистикалық көрсеткіштер анықталды, содан кейін таралу қалыптылығына сынақ жүргізілді. Статикалық гипотезаларды тексеру кезіндегі маңыздылық деңгейін $p=0,05$ тең қылынып қабылданды. Статистика алынған мәліметтерді статистикалық өңдеу жұмысы STATISTICA-6 және стандартты математикалық кестелер Microsoft Excel қолданбалы бағдарламалар көмегімен жүзеге асырылды.

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Температура және уақыт белгіленген диапазонына толығымен әсер етеді. Бірақ та, 300°C жағдайында № 1 үлгі (сіңіру аралығы 2,0) үшін екі сағат, небәрі 30 минутта сіңіру аралығы 1,5) 400°C температура кезінде белсендірілген № 4 (1147 м²/г және 1600 м²/г) үлгісінің меншікті бетінің мәніне жету үшін, жеткіліксіз болды. Сіңіру арақатынасы бірдей (2,0) № 3 және № 4 (сәйкесінше 2010 м²/г және 2300 м²/г) үлгілерін салыстыруға астындағылар бақыланды: 400°C жағдайында 1,5 сағат үлкен меншікті беттің үлкеюіне әкелетін карбонизацияға тән №4 үлгісімен салыстырғандағы, №3 үлгіге 600°C температурасына 0,5 сағат карбонизациясы жеткілікті деңгейде жүруіне жеткіліксіз екені айқындалды.

Негізінде көміртекті материалдың меншікті беті және шығымы арасындағы жақсы сәйкестілік байқалады: шығым аз болған сайын, меншікті бет ұлғаяды. Өте жоғары температураларда сіңіру арақатынасы 0,5 тең үлгілер үшін көміртекті материалдар шығымының аз мәні активтеуші агенттің жеткіліксіз болуынан активацияның аралас типте жүруімен түсіндіріледі. Нәтижесінде масса жоғалу тек дегидратация есебінен ғана емес, сонымен бірге өнімнің меншікті беті аз мәнге ие болатын қарапайым пиролизге тән радикалды процестер арқасында оттегі және сутекпен көміртектің ұшқыш қосылыстар түрінде жоғалуынан болады.

Әр серияда меншікті беті үлкен үлгілер (сіңіру арақатынасы 2) және олардың текстурлы қасиеттерін одан әрі анықтау үшін азоттың төмен температуралы адсорбция тәсілі қолданылды.

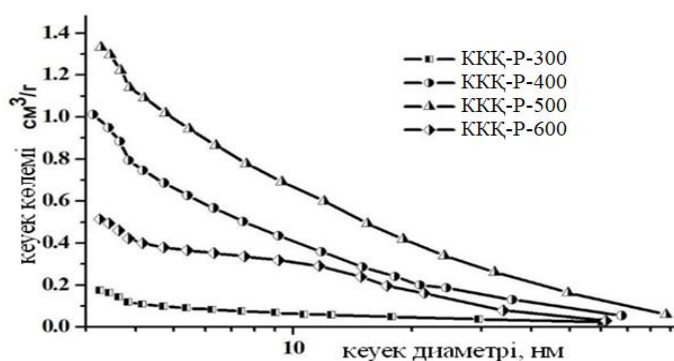
БЭТ тәсілімен есептелген беттің S_{Σ} және беттің микрокеуектерінің S_{μ} қосындысы, кеуектердің қосынды көлемі V_{Σ} ; микрокеуектің көлемі V_{μ} ; кеуектердің орташа диаметрін $D_{орт}$ (микро- және мезокеуектерді есептей отырып) есептеумен бірге цилиндрлі кеуектерінің шартты моделін пайдаланып, стандартты қарымта өңдеуге БЭТ (Брунауэр-Эммет-Теллер) әдісімен өткізілді. Әдістің кеуектерді өлшемдері бойынша орналастыруға қатысты мүмкіндіктері мезокеуектер диапазонымен шектеледі. БЭТ әдісінің нәтижелері бойынша кеуектердің ең көп мөлшері мезокеуектерге сәйкес.

Мезокеуектер көлемі мен меншікті беттері сәйкес жалпы көлем мен меншікті беттерінің мәндері арқылы микрокеуектердің көлемдері мен меншікті беттің мәндерін кеміту арқылы саналды. Шыққан мәндері 3- кестеге алынды. Микрокеуектер көп мөлшерде тек қан №4 және № 3 үлгілерде ғана байқалды. Ал былайша мезокеуектің өлшемі 4 нм болса, ал кеуек өлшемі 3-тен 40 нм аралығын қамтып, өзгеріп отырды.

Кесте 1 – Азоттың адсорбциясы (БЭТ) әдісінен алған ККҚ үлгілері текстуралық қасиеттері

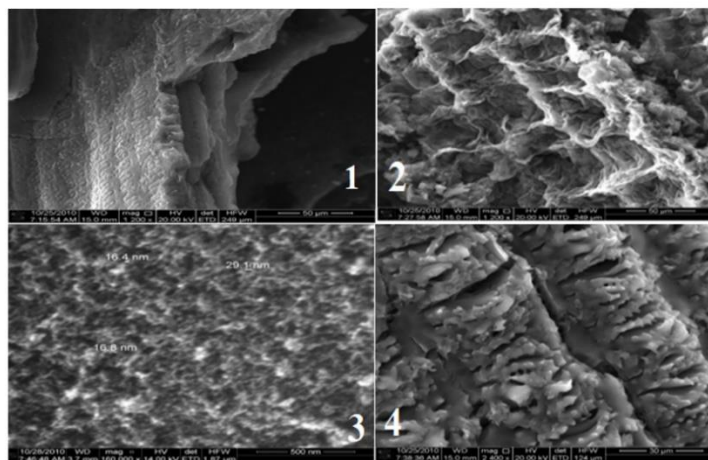
Үлгі	S_{Σ}	S_{μ} , м ² /г	V_{Σ} , см ³ /г	V_{μ} , см ³ /г	$D_{орт}$, нм
ККҚ-Р-300	965	425	0,9	0,5	2,5
ККҚ-Р-400	1475	315	2,0	0,2	5,0
ККҚ-Р-500	1695	256	2,05	0,3	5,4
ККҚ-Р-600	1552	196	1,17	0,094	3,0

№ 1,2,3,4 үлгілер үшін кеуектердің өлшемдер бойынша интегралды және дифференциалды орналасуы төмендегі 2-суретте берілген.



Сурет 2 – № 1,2,3,4 үлгілер үшін өлшемдер бойынша кеуектердің интегралды орналасуы

Фосфор қышқылы арқылы десилицирленген активтелінген күріштің қауыз үлгінің сканирлейтін электронды микроскоптан (СЭМ) 3-сурет ұсынылған.



а – № 1 (үлкейту x1200); б – № 2(үлкейту x1200); в – № 11(үлкейту x160000); г – № 4 (үлкейту x2400)

Сурет 3 – СЭМ әдісімен алынған ККҚ-Р (№ 1,2,3,4) үлгілерінің суреттері

Үлгілерде (1,2,4) берілген суреттерде карбонизделген үлгілердің текстуралары, химиялық қайта өңдеуге қарамай, күріштің қауызының алғашқы морфологиясын сақтағаны анық байқалады. 3-үлгіде бірнеше нанометрді құрайтын мезокеуектердің өлшемдері үлгілердің жетілген кеуекті беттері берілді.

Плазмамен индуктивті байланысқан рентгенофлуоресцентті спектроскопия әдісімен жүргізілген № 1,2,3 және 4 үлгілердің элементті анализі металдардың және басқа элементтердің іздерінің бар екенін және 600°C температурада белсендірілген үлгі үшін фосфор мөлшерінің 2,5% жететінін, жақсы десиликацияға айғақтайтын кремнийдің айтарлықтай мөлшерінің бар екенін көрсетеді. Анализ мәліметтері 4 кестеде.

Кесте 2 – ККҚ үлгілерінің элементті анализі мәліметтері (%)

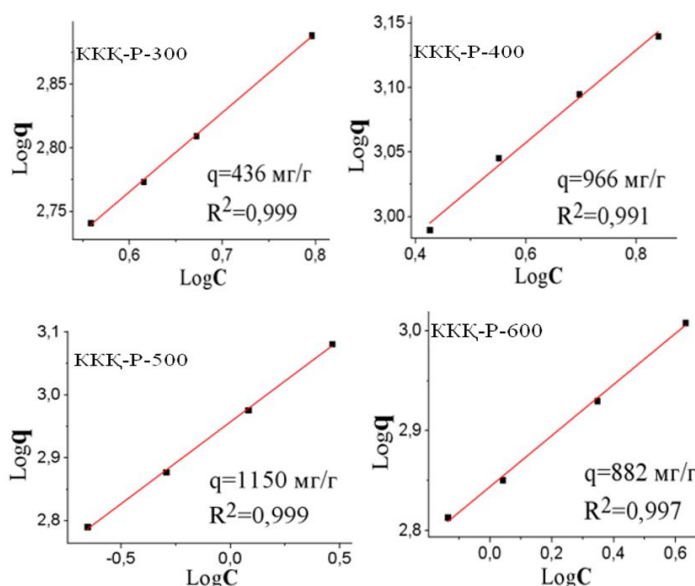
Үлгі	Элемент, %					
	C,H,N,O	Ca	P	S	Si	As, Cr, Ti, Fe, Cu, Ni, K, Cl, Mg, Al, Mn
ККҚ-Р-300	99,15	0,0143	0,767	0,024	0,0266	< 0,01%
ККҚ-Р-400	99,49	0,0209	0,410	0,0141	0,0338	< 0,01%
ККҚ-Р-500	99,00	0,0188	0,895	0,0147	0,0375	< 0,01%
ККҚ-Р-600	99,29	0,1572	2,442	0,0094	0,0876	< 0,01%

Фосфордың көп мөлшерінің болуы, соның ішінде № 4 үлгі үшін, С-О-Р байланыстарының болуына жанама айғақтайды, түзілетін материалдың көміртекті матрицасына қатысты лигнинцеллюлозды материалдардың химиялық активация процесінде пирофосфор қышқылы эфирлі байланыстар түзетіні әдебиеттерден белгілі.

«VARIO ELEMENTAR III» құрылғысында алынған элементті анализ мағұлматтары 3 кестеде берілген. Алынған мәліметтер бойынша №2 және №3 үшін, №1 және №4 салыстырғанда, көміртектің максималды мөлшері карбонизацияның жоғары деңгейін көрсетеді, және 2 кестедегі сәйкес үлгілер үшін кеуектердің меншікті бет және көлемнің үлкен мәнімен үйлеседі.

Кесте 3 – үлгідегі С,Н,Н,О элементтерінің пайыздық үлесі

Үлгі	C, %	H, %	N, %	O, %
ККҚ-Р-300	72,88	2,95	0,30	22,82
ККҚ-Р-400	87,88	2,42	0,20	8,80
ККҚ-Р-500	87,96	1,92	0,26	8,62
ККҚ-Р-600	78,33	1,92	0,51	16,37



Сурет 4 – Фрейндлих сызықты изотермасы арқылы ККҚ үлгілерінің йодпенен адсорбциялануы

Зерттелінген үлгілерінің йод сандарының (IN) мәндері алдында алынған меншікті беттік аудан мен элементтік анализдері 1,2 – кестелерге енгізілген болатын.

Кесте 4 – ККҚ үлгілерін синтездеуде температуралары мен құрамындағы оттегіне байланысты меншікті беттік ауданы және йод санына тәуелділігі

Үлгілер	IN, мг/г	S _{БЭТ} , м ² /г	S _{БЭТ} /IN	$\frac{\Delta[S_{БЭТ}/IN]}{[S_{БЭТ}/IN]_{cp}} \times 100\%$, %	O, %
ККҚ-Р-300	436	964	2,21	+27	22,8
ККҚ-Р-400	966	1476	1,53	-12,1	8,8
ККҚ-Р-500	1160	1680	1,47	-15,5	8,6
ККҚ-Р-600	882	1552	1,76	+1,2	16,4

Кесте 4-те көрінгендей, меншіктік беттік ауданы және йод саны жоғары болатын БКМ алудың оптималдық температуралары (400-500°C) бар. Сонымен қатар, меншікті беттік ауданы мен йод саны араларындағы айқын емес корреляциясы бар (3, 4 бағаналары), меншікті беттік ауданы және йод саны қатынастарының орташа мәндерінен ($[S_{БЭТ}/IN]_{орт}=1,74$) ауытқуы 29%-дан аспайды. 1 және 4 бағаналар бойынша үлгілерінде қалайша оттегі артық болса, соншалықты меншікті беттік ауданы және йод саны қатынастары әлдеқайда жоғары болады. Байқалғандай, БКМ беттік қабатында полярлы оттеққұрамдас топтар мөлшері көп болса, полярсыз йод молекуласының адсорбциялануына кедергі болады.

Қорытынды

Қорыта келгенде, йод саны және меншікті беттік ауданы арасындағы байланысы сызықты түрде болмаса да, кеуекті КМ алуға тиімді жағдайлар жасап, бір-бірін жетілдіруге мүмкіндік береді.

Күріштің қауызын фосфор қышқылы арқылы түрлі температуралар жағдайында белсендіру арқылы алынған ККҚ үлгілер серияларының ішіндегі жоғары меншікті беттік ауданы және йод санына 400-500°C температуралар аралығы белсендірілген үлгілері (ККҚ-Р-400 және ККҚ-Р-500) ие болды. Қаншалықты алғашқы мен соңғы өнімде оттегі көп болса, соншалықты БКМ меншікті беттік ауданы және йод санының ара қатынасы жоғары болады: фосфор қышқылы арқылы 500°C температурада белсендіруде алынған үлгілерінің меншікті беттік ауданы (1680 м²/г) және йод саны (1160 мг/г) жоғары болды.

Осы мақалада йод саны мен метилен көк санын бірнеше регрессия бойынша белсендірілген көміртегі үлгілерінің беттік ауданын, микрокеуек көлемі және жалпы кеуек көлемін талдау үшін қалайша қолдануға болатынын көрсетілді. Йод және метилен көк мөлшерін анықтау мақсатында пайдалынылатын шаралар салыстырмалы тұрғыда қолжетімді және қарапайым, сонымен қатар күрделі қажеттілікті сұратпайды. Бұл әдістеме белсендірілген көмірдің текстуралық қасиеттерін, тиісті сипаттамасын алмастырмағанымен де, газды адсорбциялау зерттеулеріне септігін тигізеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Analysis of factors influencing pore structure development of agricultural and forestry waste-derived activated carbon for adsorption application in gas and liquid phases: A review / R. Zhu et al // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – V. 9, Issue 5. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721008824>.
2. Li L. Effects of activated carbon surface chemistry and pore structure on the adsorption of organic contaminants from aqueous solution. / L. Li, P. Quinlivan, R. D.Knappe //Carbon. – 2002. – V. 40, Issue 12, – P. 2085-2100. DOI: https://www.researchgate.net/publication/222940796_Effects_of_Activated_Carbon_Surface_Chemistry_and_Pore_Structure_on_the_Adsorption_of_Organic_Contaminants_from_Aqueous_Solution.
3. Stavropolous G. Effect of activated carbons modification on porosity, surface structure and phenol adsorption. / G. Stavropolous, P. Samaras // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – V. 151(2-3). – P. 414-421. DOI: https://www.researchgate.net/publication/6194867_Effect_of_activated_carbons_modification_on_porosity_surface_structure_and_phenol_adsorption.
4. Effect of pore size distribution of biomass activated carbon adsorbents on the adsorption capacity / Q. Wang et al // J. of chemical technology and biotechnology. – 2024. – V. 24, Issue1/ – P. 1085-1100. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S0045653522002570/>

5. Biomedical Applications of Carbon Adsorbents. In book: Novel Carbon Adsorbents. – 2012. – P. 639-669/ DOI: https://www.researchgate.net/publication/285175294_Biomedical_Applications_of_Carbon_Adsorbents/
6. Effective Surface Structure Changes and Characteristics of Activated Carbon with the Simple Introduction of Oxygen Functional Groups by Using Radiation Energy / S.Y. Yang et al // Surfaces. – 2024. – V. 7(1). – P.12-25. DOI: <https://www.mdpi.com/2571-9637/7/1/2>.
7. A novel multi-functional magnetic Fe-Ti-V spinel catalyst for elemental mercury capture and callback from flue gas / Z.J. Mei et al // J. Hazard. Mater. – 2008. – P. 152-161. <https://www.rsc.org/suppdata/cc/c0/c0cc02645j/c0cc02645j.pdf>
8. Synthesis of chromium containing pigments from chromium galvanic sludges / P. Girods et al // J. Hazard. Mater. – 2009. – P. 466-471. DOI: https://www.academia.edu/17184387/Synthesis_of_chromium_containing_pigments_from_chromium_galvanic_sludges/.
9. Comparison of liquid hydrogen, methylcyclohexane and ammonia on energy efficiency and economy / G. Momen et al // Int. J. Hydrogen Energy. – 2009. – P. 34-37. DOI: https://www.researchgate.net/publication/331809511_Comparison_of_liquid_hydrogen_methylcyclohexane_and_ammonia_on_energy_efficiency_and_economy.
10. Hung C.M. Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers / C.M. Hung // J. Hazard. Mater. – 2009. – V. 166. – P. 13-14. DOI: https://www.researchgate.net/publication/255748062_Estimation_of_surface_area_and_pore_volume_of_activated_carbons_by_methylene_blue_and_iodine_numbers.
11. Introduction to Carbon Nanotubes / A. Baçaoui et al // Carbon. – 2001. – V. 39. – P. 425-428. DOI: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/3-540-29838-X_3/
12. Brunauer S. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers / S. Brunauer, P.H. Emmett, E. Teller // J. Am. Chem. Soc. – 1938. – V. 60. – P. 309-315. DOI: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja01269a023>.

Н.Н. Нургалиев^{1*}, А.Т. Оразбеков^{1,3}, Ж.М. Жандосов², Б.С. Гайсина¹

¹Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Республика Казахстан, г.Семей, ул.Глинки, 20

²Институт проблем горения,
050012, Республика Казахстан, город Алматы, ул. Богенбай батыр 172

³Назарбаев Интеллектуальная Школа физико-математического направления города Семей, 070000,
Республика Казахстан, Семей, мкр.Карагайлы, 1

*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

ИЗУЧЕНИЕ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ БИОМЕДИЦИНСКИХ УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТОВ

В статье продемонстрировано, что площадь поверхности активированного угля, объем микропор и общий объем пор можно оценить с помощью множественной регрессии с числами йода и метиленового синего. Метод был разработан путем изучения образцов активированного угля, изготовленных из предшественников рисовой шелухи. Дано обоснование критериев выбора, исходя из физико-химических характеристик адсорбента. Активированный уголь был исследован для систематической оценки влияния структуры пор и химии поверхности. Разработана методика оценки площади поверхности, объема микропор и общего объема пор образцов активированного угля путем множественной регрессии йодного числа и числа метиленового синего. Среди серии образцов ККК, полученных активацией рисовой шелухи фосфорной кислотой при различных температурах, исследовано, что образцы (ККК-Р-400 и ККК-Р-500), активированные при температуре 400-500°C, обладают высокой удельной поверхностью, площадью и йодное число. Чем больше кислорода в исходном и конечном продуктах, тем выше соотношение удельной поверхности и йодного числа АКМ: установлено, что удельная поверхность (1690 м²/г) и йодное число (1150 мг/г) образцы, полученные активацией фосфорной кислотой при температуре 500°C, были выше.

Ключевые слова: активированный уголь, адсорбент, пористая структура, площадь поверхности, йодное число.

N.N. Nurgaliyev^{1*}, A.T. Orazbekov^{1,3}, Zh.M. Zhandosov¹, B.S. Gaisina¹

¹Shakarim university of Semey,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey city, Glinki street, 20

²Institute of Combustion Problems,

050012, Republic of Kazakhstan, Almaty city, Bogenbay batyr street, 172

³Nazarbayev Intellectual School of Physics and Mathematics of Semey,

070000, Republic of Kazakhstan, Semey, Karagaily microdistrict, 1

*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

STUDYING THE PORE STRUCTURE AND SURFACE PROPERTIES OF BIOMEDICAL CARBON ADSORBENTS

The paper demonstrates that activated carbon surface area, micropore volume, and total pore volume can be estimated using multiple regression with iodine and methylene blue numbers. The method was developed by studying activated carbon samples made from rice husk precursors. A justification for the selection criteria is given based on the physicochemical characteristics of the adsorbent. Activated carbon was studied to systematically evaluate the influence of pore structure and surface chemistry. A technique has been developed to estimate the surface area, micropore volume and total pore volume of activated carbon samples by multiple regression of iodine number and methylene blue number. Among a series of KKK samples obtained by activating rice husks with phosphoric acid at different temperatures, it was studied that the samples (KKK-R-400 and KKK-R-500), activated at a temperature of 400-500°C, have a high specific surface area, area and iodine number. The more oxygen in the initial and final products, the higher the ratio of the specific surface area and iodine number of ACM: it was found that the specific surface area (1690 m²/g) and iodine number (1150 mg/g) of the samples obtained by activation with phosphoric acid at a temperature of 500°C were higher.

Key words: activated carbon, adsorbent, porous structure, surface area, iodine number.

Авторлар туралы мәліметтер

Нуржан Нурлыбекович Нургалиев* – PhD, e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

Асылбек Турганбаевич Оразбеков – 2 курс магистранты, e-mail: ashokkz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

Жакпар Маратович Жандосов – химия ғылымдарының кандидаты, доцент, e-mail: jandosov.j@kaznmu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3842-4397>.

Балжан Сайлауовна Гайсина – магистр, e-mail: balzhan-1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2744>.

Сведения об авторах

Нуржан Нурлыбекович Нургалиев* – PhD, e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

Асылбек Турганбаевич Оразбеков – магистрант 2 курса, e-mail: ashokkz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

Жакпар Маратович Жандосов – кандидат химических наук, доцент, e-mail: jandosov.j@kaznmu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3842-4397>.

Балжан Сайлауовна Гайсина – магистр, e-mail: balzhan-1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2744>.

Information about the authors

Nurzhan Nurlybekovich Nurgaliyev* – PhD, e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

Assylbek Turganbayevich Orazbekov – 2nd year masters student, e-mail: ashokkz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

Zhakpar Maratovich Zhandosov – candidate of chemical science, assoc. professor, e-mail: jandosov.j@kaznmu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3842-4397>.

Balzhan Sailauovna Gaisina – masters degree of chemistry, e-mail: balzhan-1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2744>.

Редакцияға енуі 01.03.2024

Өңдеуден кейін түсуі 06.04.2024

Жариялауға қабылданды 07.04.2024