



М. Төлегенқызы¹, Р.А. Нарманова¹, А. Серікқұл², Н.М. Мұхиддин¹, Н.О. Аппазов*

¹Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,
Қазақстан Республикасы, Қызылорда, Айтеке би көшесі, 29 А

²Қарағанды Индустриялық Университеті,
Қазақстан Республикасы, Теміртау, Республика даңғылы, 30

*e-mail: nurasar.82@korkyt.kz

КҮРІШ ҚАУЫЗЫНАН АЛЫНҒАН КАЛЬЦИЙ СИЛИКАТЫ: СИНТЕЗ ЖӘНЕ АДСОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: Бұл жұмыста күріш қауызынан кальций силикатының синтезі және оның физика-химиялық, сондай-ақ адсорбциялық қасиеттерін кешенді бағалау ұсынылады. Сорбент күріш қауызы құрамындағы кремнеземді натрий гидроксидімен сілтілі экстракциялау, одан кейін кальций хлоридімен тұндыру арқылы алынды. Ұсынылған тәсіл ауылшаруашылық қалдықтарын ұтымды пайдалануды қамтамасыз етіп, экологиялық жүктемені төмендетеді әрі үнемділікпен ерекшеленеді. Синтез барысында микротолқынды сәулелендіру қолданылып, процесс уақыты едәуір қысқарып, кремнеземді натрий силикаты ерітіндісі түрінде экстракциялау тиімділігі артты. Алынған кальций силикатының құрылымдық және адсорбциялық сипаттамаларын жетілдіру мақсатында материал 300-900°C аралығында термиялық өңдеуден өткізілді. Нәтижелер бойынша оңтайлы қасиеттер 700°C температурада байқалды. Дәл осы жағдайда материал йод бойынша жоғары адсорбциялық белсенділікті (56%) көрсетті және дамыған кеуектілік, қолайлы меншікті бет қасиеттерін күшейтті. Рентгендік дифракциялық талдау, морфологиялық зерттеулер және элементтік құрамды бағалау синтезделген үлгінің құрылымдық тұрақтылығын, қайта өңдеуге төзімділігін және жоғары тиімділігін растады. Материалдың құрылымдық ерекшеліктері адсорбция жеткізудің бейімделгіштігін көрсетті. Бұл процестің жеделдеуіне және кремнезем экстракциясының артуына қосымша үлес қосып, өнімділікті өсірді және ресурстық тиімділікті күшейтті. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер кальций силикатын суды органикалық және бейорганикалық ластағыштардан тазартуға арналған перспективті адсорбент ретінде сипаттайды. Ұсынылған әдіс экологиялық қауіпсіз, технологиялық жағынан қарапайым, қолжетімді шикізатты кеңінен пайдалануға мүмкіндік береді. Осы ғылыми зерттеу нәтижелері тиімді, арзан және тұрақты сорбенттерді әзірлеуге, су сапасын жақсартуға бағытталған әрі қарай қолданбалы зерттеулерге берік негіз қалайды.

Түйін сөздер: күріш қауызы, кальций силикаты, сорбент, адсорбция, адсорбциялық белсенділік, элементтік құрам.

Кіріспе

Күріш – ауыл шаруашылығындағы ең маңызды дақылдардың бірі және адам үшін көмірсулардың негізгі көзі. Күрішті қайта өңдеу барысында едәуір мөлшерде қалдықтар түзіледі, олардың бастысы – күріш қауызы (күріш массасының 20%-ына дейін), ол айтарлықтай мөлшерде кремнеземді қамтиды [1, 2]. Күріш қауызының әлемдік жыл сайынғы өндірісі шамамен 200 млн тоннаға жетеді [3], бұл оны құнды жаңартылатын шикізат етеді. Құрамындағы кремнеземнің (~20%) және органикалық көміртектің (30-50%, негізінен целлюлоза мен лигнин түрінде) жоғары мөлшерінің арқасында күріш қауызы биологиялық ыдырауға төзімді сорбциялық материалдар алудың болашағы зор шикізаты болып табылады [4].

Күріш қауызын өнеркәсіптік қазандықтарда отын ретінде қолдану оның төмен жылу бөлу қабілеті, ылғалдылығының жоғары болуы және жинау мен тасымалдауға кететін

шығындармен шектелген. Цемент және шиналар өнеркәсібінде негізінен қауыздың кремнеземдік бөлігі қолданылады. Ал оны ашық алаңдарда жағу парниктік және улы заттардың – CO, ұшпа органикалық қосылыстардың және канцерогенді полициклді ароматты көмірсутектердің бөлінуіне әкеліп, қоршаған орта мен адам денсаулығына кері әсер етеді. Сондықтан күріш қауызының қайта өңделуі – күріш өсіру және қайта өңдеумен айналысатын барлық елдер үшін өзекті мәселе. Қауыздың кремнийлі де, органикалық бөлігін де тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін технологияларды іздеу – басым бағыт болып табылады. Бұл биомассаны терең қайта өңдеу экологиялық жүктемені азайтып, экономикалық қайтарымды арттыруға және қосылған құны жоғары өнім шығаруға мүмкіндік береді. Аграрлық өңірлер үшін бұл – қалдықтарды азайтатын және «жасыл» технологияларды дамытатын айналмалы экономиканың перспективалы бағыты [5, 6].

Қазіргі таңда күріш қауызының қайта өңделуі бойынша экологиялық қауіпсіз және ресурстарды үнемдейтін технологияларды жасауға бағытталған белсенді зерттеулер жүргізілуде. Зерттеуде күріш қауызынан кремнеземді алу және оны адсорбциялық процестер негізінде сарқынды суларды тазарту жүйелерінде қолдану үшін функционализациялаудың қазіргі жетістіктері көрсетілген [7]. Жұмыста күріш қауызының кремнеземін өнеркәсіптік SiO₂-ге балама ретінде пайдалану әлеуеті қарастырылған [8-11] еңбектерінде осы шикізаттан белсендірілген көмір мен биошихта алу тәсілдері сипатталған.

Айтарлықтай ғылыми жетістіктерге қарамастан, күріш қауызын толық кәдеге жарату әлі іске асырылған жоқ, сондықтан оның қайта өңдеу мәселесі әлі де өткір күйінде қалып отыр. Осыған байланысты бұл агроөнеркәсіптік қалдықтан құнды компоненттерді алудың тиімді әдістерін іздеу – қазіргі заманғы зерттеулердің маңызды бағыты.

[12] жұмысында күріш қауызынан органикалық еріткіштер мен матрицаларды қолданбай, кремний диоксиді мен кальций оксиді көзі ретінде пайдалана отырып, β-волластонит синтездеу мақсаты қойылды. Синтез әдісі ретінде автоклавтау қолданылып, оның β-волластониттің фазалық құрамы мен морфологиясына әсері алғаш рет зерттелді.

[13] мақаласында күріш қауызы мен жұмыртқа қабығын пайдаланып кальций-силикатты плиталар алу қарастырылған. Шикізатты дайындау барысында күріш қауызынан алынған күлді (≈93% SiO₂) күйдірілген жұмыртқа қабығымен (≈99% CaO) араластырып, 1050°C температурада қыздырған. Алынған кальций силикаты ұнтағынан, портландцементтен және шикі қауыз күлінен бөлме температурасында плиталар қалыптастырылды. Өнімдердің тығыздығы төмен (<1000 кг/м³), беріктігі жеткілікті (≈6 МПа) және жылу өткізгіштігі төмен (<0,153 Вт/(м·K)) болды, бұл оларды құрылыс саласында ішкі жылу оқшаулау үшін пайдалануға мүмкіндік береді.

[14] еңбегінде күріш қауызының күлі (91,50% SiO₂) және *Pomacea canaliculata* ұлуларының қабығы (98,25% CaO) негізінде кальций силикатын қатты фазалық реакция әдісімен синтездеу ұсынылған. Қоспа 1:1 мольдік қатынаста 5-8 сағат бойы ұнтақталып, кейін 800-1000°C температурада 2 сағат бойы күйдірілген. ИҚ-спектроскопия және рентгенофазалық талдау нәтижелері кальций силикатының кристалдық фазасының түзілуін растады, әрі ұнтақтау уақыты артқан сайын оның түзілу дәрежесі жоғарылады.

[15] зерттеуінде кальций силикаты бөлме температурасында синтезделді. Бұл үшін күріш қауызы негізінде алынған натрий силикатының (22,4% Si) сұйылтылған ерітіндісіне қарқынды араластыру кезінде CaCl₂-нің 20%-дық ерітіндісі қосылды. Түзілген ақ тұнба жуылып, 85°C-та кептірілді. Алынған материал рентгенофазалық талдау әдісімен зерттелді.

[16] еңбегінде басқа әдіс ұсынылған: күріш қауызы NaOH немесе KOH ерітінділерімен 50-95°C температурада өңделген, кейін алынған экстракт рН 4,5-6,0-ге дейін қышқылданып тұндырылған. Тұнба жуылып, 90-105°C-та тұрақты массаға дейін кептірілді.

Аталған тәсілдердің негізгі кемшіліктері – жоғары энергия сыйымдылығы, технологиялық процестердің күрделілігі және қымбат реагенттердің қолданылуы.

Әдебиеттерді талдау көрсеткендей, соңғы жылдары күріш қауызын қайта өңдеу арқылы функционалды материалдар алу бойынша белсенді зерттеулер жүргізілуде. Бұл жұмыстар әсіресе ауыр металдармен ластанудың өсуіне байланысты өзекті болып отыр, өйткені олар жоғары уыттылыққа және биологиялық белсенділікке ие. Сондықтан бұл зерттеу күріш қауызы негізінде кальций силикатын алу технологиясын әзірлеуге және оның сорбциялық белсенділігін зерттеуге бағытталған.

Ұсынылған тәсілдің басты артықшылығы – күріш қауызынан алынған сорбенттің сарқынды суларды тазартуда тиімді әрі қолжетімді шешімге айнала алуы. Оны пайдалану

экологиялық қауіпсіз және экономикалық тұрғыдан тиімді су тазарту технологияларын жасауға мүмкіндік береді, бұл тұрақты даму мен айналмалы экономика қағидаттарына сәйкес келеді.

Зерттеу әдістері

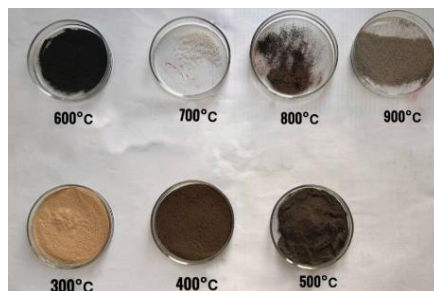
Зерттеу нысандары ретінде күріш қауызы негізінде синтезделген кальций-силикатты сорбент үлгілері алынды. Ол үшін алдын ала ұнтақталған, жуылып, кептірілген 25 г қауызы 375 мл 1 М NaOH ерітіндісімен қуаты 900 Вт микротолқынды пеште тұрақты араластыру арқылы 10 минут бойы өңделді. Алынған натрий силикатының ерітіндісі қатты целлюлозалық қалдықтардан Бюхнер воронкасы арқылы сүзу арқылы бөлінді. Сүзіндіге 375 мл 1 М CaCl₂ ерітіндісі қосылып, нәтижесінде ақ тұнба түзілді. Тұнба декантациядан, жуудан, кептіруден және ұнтақтаудан өтті, содан кейін муфель пешінде 300-900°C температура аралығында (100°C-қа көтере отырып) бір сағат бойы термоөңдеуге салынды. Нәтижесінде әртүрлі түсті үлгілер алынды.

Синтезделген үлгілердің йод бойынша адсорбциялық белсенділігі МемСТ 6217-74 талаптарына сәйкес анықталды.

Сорбенттердің фазалық құрамы рентгендік дифракция (XRD) әдісімен Rigaku SmartLab SE құрылғысында зерттелді, онда Cu K α сәулеленуі ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) 40 кВ және 50 мА жұмыс параметрлерінде қолданылды. Сканерлеу $2\theta = 5-80^\circ$ бұрыш диапазонында $0,001^\circ$ қадаммен және $2^\circ/\text{мин}$ жылдамдықпен жүргізілді.

Нәтижелерді талдау

1-суретте 300-900°C аралығындағы әртүрлі термоөңдеу температураларында алынған кальций-силикатты сорбент үлгілері берілген.



Сурет 1 – Күріш қауызынан алынған кальций силикат сорбенттерінің үлгілері

Йод бойынша адсорбция көрсеткіші пайызбен (%) өрнектеліп, материалдың йод молекулаларын сіңіру қабілетін сипаттайды. Бұл көрсеткіш сорбенттің синтез жағдайына байланысты тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Ең жоғарғы мән (56%) 700°C-та өңделген үлгіде тіркелді (1-кесте). Бұл температуралық аймақта оңтайлы кеуекті құрылым қалыптасып, меншікті беткей ауданы артады, нәтижесінде йод молекулаларын сорбциялауға ең қолайлы жағдай жасалады.

Кесте 1 – Сорбент үлгілерінің йод бойынша адсорбциялық белсенділігі

T, °C	300	400	500	600	700	800	900
A, %	27,4	29,6	32,5	43,7	56	31,3	9,7

Деректерді интерпретациялау:

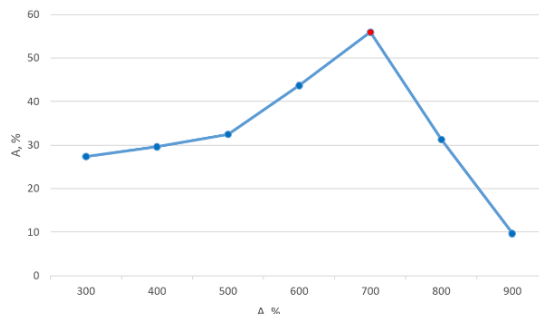
300-500°C: төмен адсорбциялық белсенділік кеуекті құрылымның әлсіз дамуы және материалдың жартылай аморфты күйімен түсіндіріледі;

600-700°C: кристалдық фазаның түзілуі және микропоралар жүйесінің кеңеюі сорбциялық қабілеттің айтарлықтай өсуіне ықпал етеді;

800-900°C: микрокеуекті құрылымның тығыздалуы және балку құбылыстары байқалады, бұл адсорбциялық белсенділіктің төмендеуіне әкеледі.

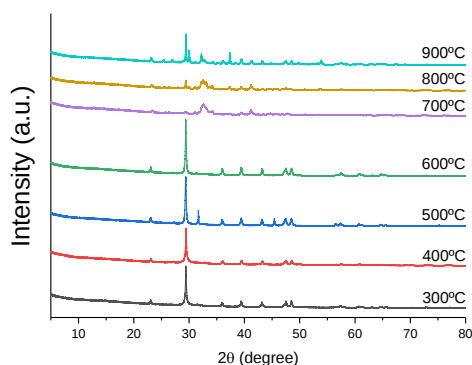
Йод бойынша адсорбциялық белсенділікті анықтау сорбент бетінің дамуын сипаттайтын жанама көрсеткіш болып табылады. Йод молекулаларының шағын өлшемі мен микропораларға ену қабілетінің арқасында бұл әдіс адсорбциялық қасиеттердің дәл әрі ақпараттық сипаттамасын береді. Мұндай тәсіл әсіресе ауыр металдардың, органикалық қосылыстардың және газдардың сорбциясы кезінде материалдың мінез-құлқын болжауда маңызды болып табылады.

Жүргізілген зерттеулердің негізінде термоөңдеу температурасының артуы сорбенттің адсорбциялық белсенділігінің белгілі бір оңтайлы мәнге дейін ғана өсуіне, содан кейін оның төмендеуіне алып келетіні анықталды (2-сурет). Мұндай әсер материалдың құрылымы мен кеуектілігіндегі өзгерістерге байланысты. Төмен температураларда белсенділіктің төмен болуы беткейдің жеткіліксіз активтенуімен түсіндіріледі, ал 800-900°C аралығында белсенділіктің төмендеуі кеуекті құрылымның тығыздалуы немесе бұзылуы және беттің жартылай көмірленуімен байланысты.



Сурет 2 – Алынған сорбент үлгілерінің йод бойынша адсорбциялық белсенділігі

Синтезделген сорбенттердің кристалдық құрылымын зерттеу үшін рентгендік дифракция әдісі қолданылды (Rigaku SmartLab SE, Cu K α сәулеленуі). Алынған нәтижелерге сәйкес әртүрлі температурада өңделген үлгілерде кальций мен кремний қосылыстарының әртүрлі фазалары тіркелді (3-сурет).



Сурет 3 – Rigaku SmartLab SE қондырғысын пайдалана отырып рентгендік дифракция әдісімен жүргізілген үлгілердің құрылымдық талдауы

Жеті үлгі (300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C және 900°C) бойынша жүргізілген рентгенографиялық талдау кальций силикатының (Ca_2SiO_4), кальций оксидінің (CaO) және кремний диоксидінің (SiO_2) фазаларының бар екенін көрсетті. 700-900°C дейін қыздырғанда дифрактограммаларда кальций силикатының фазалары басым бола бастайды, олар орторомбиялық модификация мен моноклинді Ca_2SiO_4 (ларнит) қоспасы түрінде кездеседі.

Төмен температуралар үшін кальциттің ромбоэдрлік фазасының болуы тән, бұл 2 θ бұрыштарында байқалатын дифракциялық шыңдардың пайда болуымен дәлелденеді: 23,05°, 29,49°, 31,5°, 35,96°, 39,38°, 43,17°, 47,08°, 47,54°, 48,57°, 56,59° және 57,45°. Бұл мәндер (012), (104), (006), (110), (113), (202), (024), (018), (116), (211) және (122) жазықтықтарына сәйкес келеді (ICDD № 00-005-0586).

Орторомбиялық Ca_2SiO_4 модификациясы 2 θ бұрыштарында тіркеледі: 20,36°, 21,81°, 23,18°, 23,43°, 26,26°, 29,35°, 30,67°, 32,24°, 32,66° және 47,39°. Бұл көрсеткіштер (200), (210), (011), (111), (201), (020), (301), (220), (311) және (121) жазықтықтарына сәйкес келеді (ICDD № 00-024-0034).

Жоғары температураларда сонымен қатар ларниттің (Ca_2SiO_4) моноклинді фазасының болуы да расталды, ол 2 θ бұрыштарындағы келесі шыңдармен сипатталады: 18,11°, 19,10°, 23,24°, 23,47°, 26,36°, 27,49°, 28,07°, 29,26°, 31,06°, 31,77°, 32,05°, 32,13°, 32,59° және 34,33°.

Бұл шындар (-101), (200), (210), (111), (020), (-211), (120), (211), (211), (310), (-301), (-121), (002), (121) және (301) жазықтықтарына сәйкес келеді (ICDD № 00-033-0302) (2-сурет).

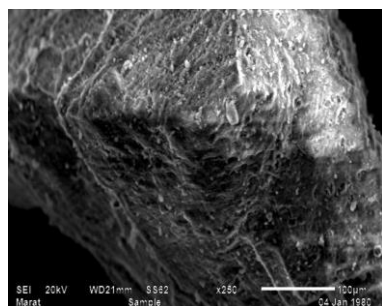
Алынған сорбенттердің элементтік құрамы рентгенфлуоресцентті спектрометр (NEX CG Rigaku) көмегімен анықталды. Талдау нәтижесінде материалдың негізін кальций оксиді (CaO) мөлшері 60-75% аралығында және кремний диоксиді (SiO₂) 55-58% шегінде құрайтыны көрсетілді. Негізгі компоненттерден бөлек, үлгілерде күкірт триоксиді (SO₃), калий оксиді (K₂O) және темір оксиді (Fe₂O₃) сияқты аз мөлшерде қоспалар да табылды. Мұндай қоспалардың болуы сорбенттердің химиялық тұрақтылығын және құрылымдық беріктігін арттыруға ықпал етеді.

2-кестеде 300-900°C аралығындағы әртүрлі термоөңдеу температураларында кальций-силикатты сорбенттердің элементтік құрамының өзгеруі жөніндегі деректер келтірілген. Бұл мәліметтер материалдың химиялық сипаттамаларының синтез жағдайларына тәуелділігін қадағалауға мүмкіндік береді.

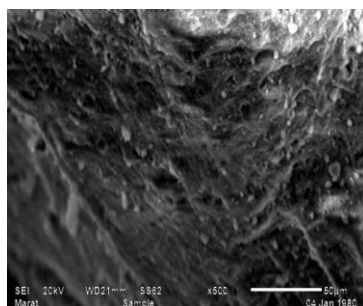
Кесте 2 – Алынған үлгілердің элементтік құрамы

№	Термиялық өңдеу температурасы, °C	Алынған кальций силикатының элементтік құрамы				
		CaO, %	SiO ₂ , %	SO ₃ , %	K ₂ O, %	Fe ₂ O ₃ , %
1	300	63	58	0,484	0,024	0,006
2	400	67	57	0,406	0,049	0,004
3	500	57	55	2,310	0,208	0,047
4	600	75	56	0,328	0,075	0,007
5	700	60	58	0,507	0,045	0,021
6	800	63	56	0,227	0,049	0,013
7	900	60	58	0,507	0,046	0,021

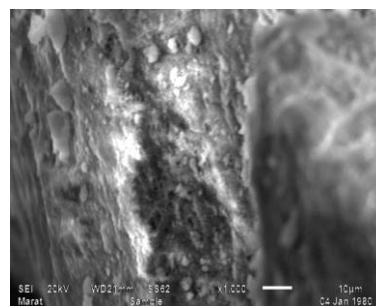
Сорбенттердің беткі морфологиясы растрлы электрондық микроскопия (SEM) әдісімен зерттелді. 700°C температурада синтезделген үлгінің микрофотосуреттері (4-сурет) ×250-×1000 ұлғайтуда микрокеуектердің біркелкі таралуын және жарылған құрылымның болуын анықтады. Бұл сипаттамалар материалдың жоғары адсорбциялық қабілеттілігін қамтамасыз ететін маңызды факторлар болып табылады.



а) Микрофотосурет, ×250 есе



б) Микрофотосурет, ×500 есе



с) Микрофотосурет, ×1000 есе

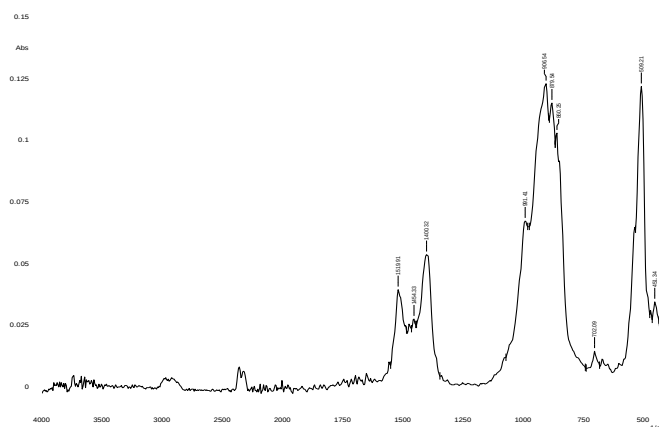
Сурет 4 – 700°C температурада алынған кальций силикаты сорбенті үлгісінің микрофотосуреттері

Жоғары температурада (800-900°C) өңделген үлгілерде беттің тығыздалуы және микрокеуектер санының азаюы байқалды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, бұл құбылыстар сорбциялық белсенділіктің төмендеуіне алып келді.

700°C температурада алынған үлгінің ИҚ-спектрінде (5-сурет) 991,41; 906,54; 879,54; 702,09; 509,21 және 451,34 см⁻¹ жиіліктерінде Si-O-Si және Ca-O-Si байланыстарының тербелістеріне сәйкес келетін жұтылу жолақтары айқын тіркелді. Бұл деректер кальций силикатының жоғары дәрежеде реттелген кристалдық құрылымының түзілгенін көрсетеді.

Жолақтардың таралу сипаты аморфты кремний диоксидінің кремний тетраэдрлері арқылы полимерленіп, берік силикатты тор түзгенін дәлелдейді. Мұнда кальций иондары кремнийқұрамды құрылымдармен берік байланысқан, бұл кристалдық фазаның толық қалыптасуы мен оның тұрақтылығын көрсетеді.

1400-1519 см⁻¹ диапазонында әлсіз жолақтар байқалады, олар карбонат топтарына сәйкес келеді. Бұл үлгіде термиялық ыдыраудың толық жүрмеуіне байланысты сақталып қалған CaCO₃ қалдық фазасының болуын білдіреді.



Сурет 5 – 700°C температурада алынған кальций силикаты сорбентінің үлгісінің ИҚ-спектрі

Осылайша, 700°C-та Na_2SiO_4 -тің (сілтілік экстракциядан кейін алынған) кальций тұздарымен реакциясы іс жүзінде толық жүріп, кеуекті құрылымды силикаттың қалыптасуын қамтамасыз етті. Дәл осы температура сорбент алу үшін оңтайлы болып шықты: поликонденсацияның жоғары дәрежесіне қол жеткізілді, тұрақты силикатты тор түзілді және қалдық қосылыстардың мөлшері барынша азайды.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, кальций-силикатты сорбенттердің адсорбциялық белсенділігі температураға тәуелді. Ең жоғары белсенділік 700°C-та алынған үлгіде тіркеліп (56 %), бұл температурада оңтайлы кеуекті құрылым мен үлкен меншікті бет қалыптасты.

Рентгенофазалық талдау Ca_2SiO_4 , CaO және SiO_2 фазаларының бар екенін, ал 700-900°C-та кальций силикаты фазаларының басым болатынын көрсетті. Элементтік құрам бойынша материалдың негізін CaO (60-75 %) және SiO_2 (55-58 %) құрайды, ал SO_3 , K_2O және Fe_2O_3 қоспалары сорбенттің беріктігі мен химиялық тұрақтылығын арттырды.

СЭМ зерттеулері 700°C-та алынған үлгінің біркелкі микрокеуекті құрылымын растады, ал 800-900°C-та құрылымның тығыздалуы белсенділікті төмендетті. ИҚ-спектроскопия Ca-O-Si және Si-O-Si байланыстары бар тұрақты кристалдық құрылым түзілгенін дәлелдеді.

Осылайша, 700°C температурасы сорбент алудың оңтайлы шарты болып табылады. Ұсынылған әдіс арзан әрі қолжетімді шикізат – күріш қауызынан экологиялық таза және тиімді сорбциялық материалдар алуға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Babaso P.N. Rice husk and its applications: Review / P.N. Babaso, H. Sharanagouda // *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* – 2017. – № 6(10). – P. 1144-1156. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.138>.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2017). Rice market monitor, 20(2), 36. FAO: Rome. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24108.95368>.
3. Нгуен М.Х. Способ получения активированного угля и диоксида кремния из рисовой шелухи / М.Х. Нгуен, Н.Т. Данг // *Sci-Article.ru.* – 2014. <https://sci-article.ru/stat.php?i=1408911852> (дата обращения: 17.10.2025).
4. Sustainable use of rice husk for the cleaner production of value-added products / S.S. Shukla et al // *J. Environ. Chem. Eng.* – 2022. – № 10(1). – Article 106899. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106899>.
5. Experimental study on rice husk combustion in a circulating fluidized bed / M. Fang et al // *Fuel Process. Technol.* – 2004. – № 85. – P. 1273-1282. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2003.08.002>.
6. Combustion and emission characteristics of a swirling fluidized-bed combustor burning moisturized rice husk / V.I. Kuprianov et al // *Appl. Energy.* – 2010. – № 87. – P. 2899-2906. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.009>.
7. Advances in extraction of silica from rice husk and its modification for friendly environmental wastewater treatment via adsorption technology / S. Ijaz et al // *J. Water Process Eng.* – 2024. – № 71, Article 107187. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107187>.
8. A review of the use of rice husk silica as a sustainable alternative to traditional silica sources in various applications / M.A. Taiye et al // *Environ. Prog. Sustain. Energy.* – 2024. – № 43(6), Article e14451. <https://doi.org/10.1002/ep.14451>.

9. Simultaneous removal of 3d transition metals from multi-component solutions by activated carbons from co-mingled wastes / S.B. Lyubchik et al // *Sep. Purif. Technol.* – 2008. – № 60(3). – P. 264-271. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.08.020>.
10. The kinetic parameters evaluation for the adsorption processes at "liquid-solid" interface / S. Lyubchik et al // In: *Electrokinetics Across Disciplines and Continents: New Strategies for Sustainable Development.* – 2015. – P. 81-109. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20179-5_5.
11. Effect of rice husk biochar additive on concrete properties / R. Narmanova et al // *AIP Conf. Proc.* – 2024. – 3243, 020055. <https://doi.org/10.1063/5.0247632>.
12. Ismail H. Effect of autoclaving and sintering on the formation of β -wollastonite / H. Ismail, R. Shamsudin, M.A. Abdul Hamid // *Mater. Sci. Eng.* – 2016. – № 58. – P. 1077–1081. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.09.030>.
13. Hossain S.K.S. Development of sustainable calcium silicate board: Utilization of different solid wastes / S.K.S. Hossain, P.K. Roy // *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* – 2019. – № 58(6). – P. 274-284. <https://doi.org/10.1016/J.BSECV.2019.06.003>.
14. Synthesis and characterization of calcium silicate from rice husk ash and shell of snail *Pomacea canaliculata* by solid state reaction / R. Phuttawong et al // *Adv. Mater. Res.* – 2015. – № 1103. – P. 1-7. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1103.1>.
15. Моносиликаты кальция как компоненты композиционных материалов / С.Б. Буланова и др. // *Технология неорганических веществ и материалов.* – 2009. – Т. 10, № 3. – С. 143-149. <http://dx.doi.org/10.1134/S0040579510040160>.
16. Патент 2548421 Российская Федерация. Способ получения кремнийсодержащего сорбента для очистки воды от микроорганизмов / Земнухова Л.А., Харченко У.В., Беленева И.А. – Официальный бюллетень. – 2015. – № 11 (20.04.2015). <https://patents.google.com/patent/RU2548421C1/ru> (дата обращения: 17.10.2025).

References

1. Babaso P.N. Rice husk and its applications: Review / P.N. Babaso, H. Sharanagouda // *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* – 2017. – № 6(10). – R. 1144-1156. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.138>. (In English).
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2017). Rice market monitor, 20(2), 36. FAO: Rome. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24108.95368>. (In English).
3. Nguen M.KH. Sposob polucheniya aktivirovannogo uglya i dioksida kremniya iz risovoi shelukhi / M.KH. Nguen, N.T. Dang // *Sci-Article.ru.* – 2014. <https://sci-article.ru/stat.php?i=1408911852> (data obrashcheniya: 17.10.2025). (In Russian).
4. Sustainable use of rice husk for the cleaner production of value-added products / S.S. Shukla et al // *J. Environ. Chem. Eng.* – 2022. – № 10(1). – Article 106899. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106899>. (In English).
5. Experimental study on rice husk combustion in a circulating fluidized bed / M. Fang et al // *Fuel Process. Technol.* – 2004. – № 85. – R. 1273-1282. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2003.08.002>. (In English).
6. Combustion and emission characteristics of a swirling fluidized-bed combustor burning moisturized rice husk / V.I. Kuprianov et al // *Appl. Energy.* – 2010. – № 87. – R. 2899-2906. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.009>. (In English).
7. Advances in extraction of silica from rice husk and its modification for friendly environmental wastewater treatment via adsorption technology / S. Ijaz et al // *J. Water Process Eng.* – 2024. – № 71, Article 107187. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107187>. (In English).
8. A review of the use of rice husk silica as a sustainable alternative to traditional silica sources in various applications / M.A. Taiye et al // *Environ. Prog. Sustain. Energy.* – 2024. – № 43(6), Article e14451. <https://doi.org/10.1002/ep.14451>. (In English).
9. Simultaneous removal of 3d transition metals from multi-component solutions by activated carbons from co-mingled wastes / S.B. Lyubchik et al // *Sep. Purif. Technol.* – 2008. – № 60(3). – R. 264-271. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.08.020>. (In English).
10. The kinetic parameters evaluation for the adsorption processes at "liquid-solid" interface / S. Lyubchik et al // In: *Electrokinetics Across Disciplines and Continents: New Strategies for Sustainable Development.* – 2015. – R. 81-109. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20179-5_5. (In English).

11. Effect of rice husk biochar additive on concrete properties / R. Narmanova et al // AIP Conf. Proc. – 2024. – 3243, 020055. <https://doi.org/10.1063/5.0247632>. (In English).
12. Ismail H. Effect of autoclaving and sintering on the formation of β -wollastonite / H. Ismail, R. Shamsudin, M.A. Abdul Hamid // Mater. Sci. Eng. – 2016. – № 58. – R. 1077–1081. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.09.030>. (In English).
13. Hossain S.K.S. Development of sustainable calcium silicate board: Utilization of different solid wastes / S.K.S. Hossain, P.K. Roy // Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. – 2019. – № 58(6). – R. 274-284. <https://doi.org/10.1016/J.BSECV.2019.06.003>. (In English).
14. Synthesis and characterization of calcium silicate from rice husk ash and shell of snail *Pomacea canaliculata* by solid state reaction / R. Phuttawong et al // Adv. Mater. Res. – 2015. – № 1103. – R. 1-7. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1103.1>. (In English).
15. Monosilikaty kal'tsiya kak komponenty kompozitsionnykh materialov / S.B. Bulanov i dr. // Tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv i materialov. – 2009. – T. 10, № 3. – S. 143-149. <http://dx.doi.org/10.1134/S0040579510040160>. (In Russian).
16. Patent 2548421 Rossiiskaya Federatsiya. Sposob polucheniya kremniisoderzhashchego sorbenta dlya ochistki vody ot mikroorganizmov / Zemnukhova L.A., Kharchenko U.V., Beleneva I.A. – Ofitsial'nyi byulleten'. – 2015. – № 11 (20.04.2015). <https://patents.google.com/patent/RU2548421C1/ru> (data obrashcheniya: 17.10.2025). (In Russian).

M. Tolegenkyzy¹, R.A. Narmanova¹, A. Serikkul², N.M. Mukhiddin¹, N.O. Appazov^{1*}

¹Korkyt Ata Kyzylorda University,
Republic of Kazakhstan, Kyzylorda, Ayteke Bi Street, 29 A

²Karaganda Industrial University,
Republic of Kazakhstan, Temirtau, Republic Avenue, 30

*e-mail: nurasar.82@korkyt.kz

CALCIUM SILICATE OBTAINED FROM RICE HUSK: SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF ADSORPTION PROPERTIES

In this paper, we propose a synthesis of calcium silicate from rice husk and a comprehensive assessment of its physicochemical and adsorption properties. The sorbent was obtained by alkaline extraction of silica contained in rice husk with sodium hydroxide followed by precipitation with calcium chloride. The proposed method ensures rational use of agricultural waste, reduces the burden on the environment and is cost-effective. Microwave irradiation was used in the synthesis, which significantly reduces the process time and increases the efficiency of silica extraction in the form of a sodium silicate solution. To improve the structural and adsorption characteristics of the obtained calcium silicate, the material was subjected to heat treatment in the temperature range of 300-900°C. According to the results, optimal properties were observed at a temperature of 700°C. It was at this temperature that the material showed high adsorption activity for iodine (56%), increased developed porosity and favorable specific surface properties. X-ray diffraction analysis, morphological studies and elemental composition assessment confirmed the structural stability, resistance to processing and high efficiency of the synthesized sample. The structural features of the material contributed to an increase in the adsorption rate and demonstrated its adaptability to water treatment conditions. This additionally contributed to the acceleration of the process and an increase in silica extraction, increased productivity and increased resource efficiency. In general, the obtained results characterize calcium silicate as a promising adsorbent for water purification from organic and inorganic pollutants. The proposed method allows for the wide use of environmentally friendly, technologically simple and accessible raw materials. The results of this scientific study create a solid basis for further applied research aimed at developing effective, inexpensive and stable sorbents and improving water quality.

Key words: rice husk, calcium silicate, sorbent, adsorption, adsorption activity, elemental composition.

М. Толегенкызы¹, Р.А. Нарманова¹, А. Сериккул², Н.М. Мухиддин¹, Н.О. Аппазов^{1*}

¹Кызылординский университет имени Коркыт Ата,
Республика Казахстан, Кызылорда, улица Айтеке би, 29 А

²Карагандинский Индустриальный Университет,
Республика Казахстан, г. Темиртау, проспект Республики, 30

*e-mail: nurasar.82@korkyt.kz

КАЛЬЦИЙ СИЛИКАТ, ПОЛУЧЕННЫЙ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ: СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ

В данной работе предложен синтез силиката кальция из рисовой шелухи и проведена комплексная оценка его физико-химических и адсорбционных свойств. Сорбент получен щелочной экстракцией кремнезема, содержащегося в рисовой шелухе, гидроксидом натрия с последующим осаждением хлоридом кальция. Предложенный метод обеспечивает рациональное использование сельскохозяйственных отходов, снижает нагрузку на окружающую среду и является экономичным. При синтезе использовалось микроволновое облучение, что значительно сокращает время процесса и повышает эффективность извлечения кремнезема в виде раствора силиката натрия. Для улучшения структурно-адсорбционных характеристик полученного силиката кальция материал подвергался термической обработке в интервале температур 300-900°C. Согласно результатам, оптимальные свойства наблюдались при температуре 700°C. Именно при этом проявил высокую адсорбционную активность по йоду (56%), повышенную развитую пористость и благоприятные удельные поверхностные свойства. Рентгеноструктурный анализ, морфологические исследования и оценка элементного состава подтвердили структурную стабильность, устойчивость к переработке и высокую эффективность синтезированного образца. Структурные особенности материала способствовали повышению скорости адсорбции и продемонстрировали его адаптивность к условиям водоподготовки. Это дополнительно способствовало ускорению процесса и повышению извлечения кремнезема, повышению производительности и повышению ресурсоэффективности. В целом полученные результаты характеризуют силикат кальция как перспективный адсорбент для очистки воды от органических и неорганических загрязняющих веществ. Предложенный метод позволяет широко использовать экологически безопасное, технологически простое и доступное сырье. Результаты данного научного исследования создают прочную основу для дальнейших прикладных исследований, направленных на разработку эффективных, недорогих и стабильных сорбентов и повышение качества воды.

Ключевые слова: рисовая шелуха, силикат кальция, сорбент, адсорбция, адсорбционная активность, элементный состав.

Авторлар туралы мәліметтер:

Меруерт Төлегенқызы – техника ғылымдарының магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті; e-mail: meruert.tolegenkyzy22@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8916-9596>.

Роза Абдибековна Нарманова – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті; e-mail: roza_an@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5672-7418>.

Анель Серіккұл – докторант, Қарағанды Индустриялық Университеті; e-mail: nelliess@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2200-9182>.

Нұршат Мұратқызы Мұхиддин – магистрант, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті; e-mail: nurshat_00_12@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0379-3381>.

Нұрбол Орынбасарұлы Аппазов* – химия ғылымдарының кандидаты, профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті; e-mail: nurasar.82@korkyt.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8765-3386>.

Information about the authors:

Meruyert Tolegenkyzy – master of Technical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University; e-mail: meruert.tolegenkyzy22@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8916-9596>.

Roza Abdibekovna Narmanova – candidate of technical sciences, Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University; e-mail: roza_an@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5672-7418>.

Anel Serikkul – doctoral student, Karaganda Industrial University; e-mail: nelliess@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2200-9182>.

Nurshat Muratkyzy Mukhiddin – Master's student at Korkyt Kyzylorda University; e-mail: nurshat_00_12@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0379-3381>.

Nurbol Orynbasaruly Appazov* – candidate of Chemical sciences, professor, Korkyt Ata Kyzylorda University; e-mail: nurasar.82@korkyt.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8765-3386>.

Сведения об авторах

Меруерт Төлегенқызы – магистр технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата; e-mail: meruert.tolegenkyzy22@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8916-9596>.

Роза Абдибековна Нарманова – кандидат технических наук, доцент, Кызылординский университет имени Коркыт Ата; e-mail: roza_an@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5672-7418>.

Анель Сериккул – докторант, Карагандинский Индустриальный Университет; e-mail: nelliess@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2200-9182>.

Нуршат Муратқызы Мухиддин – магистрант, Кызылординский университет имени Коркыт Ата; e-mail: nurshat_00_12@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0379-3381>.

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-66](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-66)



FTAXP: 61.31

А.К. Баешова*, С. Молайган¹, А.Б. Баешов¹, Р.М. Есетов¹, Б. Леска²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,
физика-химиялық зерттеу және талдау орталығы,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., әл-Фараби даңғылы, 71

²Адам Мицкевич университеті,
61-614, Польша, Познань, Uniwersytetu Poznańskiego k-ci, 8
*e-mail: azhar_b@bk.ru

СУЛЫ ЕРІТІНДІЛЕРДЕ АЛЮМИНИЙ ПЛАСТИНАСЫНДА СУТЕК БӨЛІНУ РЕАКЦИЯСЫНА ОРТАНЫҢ ӘСЕРІ

Аңдатпа: Сутек алудың баламалы және тиімді тәсілдерін әзірлеу қазіргі заманғы маңызды ғылыми-техникалық міндеттердің бірі болып табылады. Перспективалы бағыттардың бірі – алюминийдің сумен әрекеттесуі нәтижесінде сутек алу; алайда алюминий бетінде тұрақты оксидтік қабықшаның болуы әдеттегі жағдайларда реакцияның жүруіне кедергі келтіреді. Осы жұмыстың мақсаты фосфор немесе күкірт қышқылдарының сулы ерітінділеріне натрий хлоридін қосу арқылы алюминий бетін белсенділендіру және сутектің бөліну жылдамдығын анықтау. Эксперименттік зерттеулерде фосфор немесе күкірт қышқылдары, химиялық тазалықтағы натрий хлориді және А85 маркалы алюминий қолданылды. Сутек газын алу зертханалық жағдайда шкаласы бар шыны бюретка типті қондырғыда жүргізілді. Бөлінген сутектің көлемі бюреткадан ығыстырылған судың көлемі бойынша анықталды. Қышқылды сулы ерітінділерге натрий хлоридін қосқанда, алюминий бетінің оксидтік қабықшасы бұзылып, оның сумен әрекеттесуі орын алды. Хлорид-иондардың әсерінен алюминийдің локалды еруі нәтижесінде кеуекті және біртекті емес бет қалыптасып, сутектің бөліну қарқындылығы едәуір артты. Фосфор қышқылының 1-7 моль·л⁻¹ концентрацияларында сутектің бөліну жылдамдығы 8 мл·сағ⁻¹·см⁻²-ден аспайды, алайда натрий хлоридін (25 г·л⁻¹) қосқанда ол 50,02 мл·сағ⁻¹·см⁻²-ге дейін өсіп, 6,25 есе артатыны анықталды. Күкірт қышқылының 0,5-2,5 моль·л⁻¹ концентрацияларында натрий хлориді бар ортада сутектің бөліну жылдамдығы 25,27-ден 108,38 мл·сағ⁻¹·см⁻²-ге дейін өсіп, шамамен 5 есе артады. Сонымен, натрий хлориді қосылған қышқылды сулы ерітінділерде бөлме температурасында алюминий бетінде сутек алу мүмкіндігі көрсетілді. Алюминий бетін белсенділендірудің ұсынылып отырған әдісі арзан, әрі қолжетімді реагенттерді қолдануға негізделген, оның арасында алюминий сынықтарын пайдалану арқылы автономды сутек өндіру жүйелерін дамыту үшін перспективалы болып табылады.

Түйін сөздер: алюминий, сутек, жылдамдық, фосфор қышқылы, натрий хлориді, күкірт қышқылы

Кіріспе

Бүгінгі таңда сутектік энергетикаға қызығушылықтың бүкіл әлем бойынша жоғары деңгейде артуын соңғы жылдардағы жарияланымдар көрсетеді. Мысалы, Arsad A.Z. және т.б. шолуында [1] HydESS жүйелерінің жаңартылатын энергия көздерімен біріктірілгендегі энергетикалық тұрақтылықтағы рөлі көрсетіліп, негізгі зерттеу бағыттары айқындалған. Басқа әдебиет көздерінде [2-5] сутектік энергетиканың маңыздылығы сипатталған. Солардың арасында [2, 3] Scopus деректері негізінде сутек энергетикасы мен сутекті сақтау саласындағы жаһандық ғылыми үрдістерге библиометриялық талдаулар жасалған. Бір авторлар [4] сутектік энергетиканы дамыту жолындағы қиындықтарды атап өтсе, басқалары [5] энергияның бұл