

Әл - Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті

ӘОЖ 579

Қолжазба құқығында

**ТАСТАМБЕК ҚУАНЫШ ТАЛҒАТҰЛЫ**

**Қоңыр көмірлер негізінде энерготииімді отын алудың микробиологиялық  
аспектілері**

6D060700 – Биология

Философия докторы (PhD)  
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Отандық ғылыми кеңесші PhD,  
доцент м.а. Акимбеков Н.Ш.

Шетелдік ғылыми кеңесші PhD,  
профессор Дигель И.

Қазақстан Республикасы  
Алматы, 2022

## МАЗМҰНЫ

<b>НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР</b>	4
<b>БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР</b>	5
<b>КІРІСПЕ</b>	6
<b>1 ӘДЕБИЕТТЕРГЕ ШОЛУ</b>	12
1.1 Геомикробиология: минералды заттар мен микроорганизмдердің байланысы	12
1.1.1 Көмірлердің биологиялық негіздері	12
1.1.2 Көмірлерді пайдаланудың технологиялық маңызы және экологиялық салдары	15
1.2 Көмірлердің микробиологиясы	21
1.3 Қоңыр көмірлерді өндеудің биотехнологиялық әдістері	23
1.3.1 Қоңыр көмірлердің аэробты және анаэробты бактериялардың солубилизациясы	23
1.3.2 Қоңыр көмірлерді биоөндеудің негізгі заңдылықтары	26
1.4 Қоңыр көмірлерден биобрикет алудың жолдары	30
1.5 Қоңыр көмірлер негізінде биобрикет өндірісінің қазіргі жағдайы мен болашағы	34
<b>2 ЗЕРТТЕУ ОБЪЕКТІЛЕРІ, МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ</b>	46
2.1 Зерттеу объектілері	46
2.2 Зерттеу материалдары	46
2.3 Зерттеу әдістері	47
2.3.1 Қоңыр көмірлердің техникалық көрсеткіштеріне талдау жүргізу әдістері	47
2.3.1.1 Қоңыр көмірлердің ылғалдылығын анықтау әдісі	47
2.3.1.2 Қоңыр көмірлердің күлділігін анықтау әдісі	47
2.3.1.3 Қоңыр көмірлердегі жалпы күкірт мөлшерін анықтау әдісі	47
2.3.1.4 Қоңыр көмірлердегі ұшқыш заттардың шығуын анықтау әдісі	48
2.3.1.5 Қоңыр көмірлердің жану жылуын анықтау әдісі	48
2.3.1.6 Қоңыр көмірлердің тығыздығын анықтау әдісі	49
2.3.2 Қоңыр көмірлердің элементтік құрамын анықтау әдісі	49
2.3.3 Қоңыр көмірлердің құрылымдық құрамын Раман спектрометриясы арқылы анықтау әдісі	49
2.3.4 Қоңыр көмірлердің минералды бөлігін рентгендік талдау арқылы анықтау әдісі	49
2.3.5 Қоңыр көмірлердің органикалық және бейорганикалық заттардың құрамын Фурье спектроскопиясы арқылы анықтау әдісі	50
2.3.6 Қоңыр көмірлердің микроқұрылымын оптикалық микроскоп арқылы зерттеу әдісі	50
2.3.7 Қоңыр көмірлердің беттік сипаттамасын сканерлеуші электронды микроскоп арқылы зерттеу әдісі	50
2.3.8 Қоңыр көмірлердің микробиологиясын зерттеу әдістері	50

2.3.8.1	Қоңыр көмірлердің микробтық қауымдастықтарын анықтау үшін метагеномды талдау жүргізу әдісі	50
2.3.8.2	Қоңыр көмірлердегі бактериялардың жалпы санын анықтау әдісі	50
2.3.8.3	Қоңыр көмірлерден бактериялардың таза дақылды бөліп алу әдісі	51
2.3.8.4	Бөлініп алынған бактериялардың таза дақылдарының қоңыр көмірлерде өсу қабілеттілігін зерттеу әдісі	51
2.3.8.5	Қоңыр көмірлерде өсу белсенділігі жоғары бактерия дақылдарын идентификациялау әдісі	51
2.3.9	Қоңыр көмірлерді биосолюбилиздеу әдістері	52
2.3.9.1	Биосолюбилиздеуді зерттеудің агар – диффузді әдісі	52
2.3.9.2	Қоңыр көмірлердің биосолюбилизациясын зерттеудің сұйық ортада жүргізу әдісі	52
2.3.9.3	Көмірсутекті қосылыстардың эмульгациялаушы белсенділігін анықтау әдісі	53
2.3.10	Қоңыр көмірлерден солюбилизденген өнімдерді бөліп алу әдісі	53
2.3.11	Қоңыр көмірлерден солюбилизденген өнімдердің қасиеттерін зерттеу әдісі	53
2.3.12	Қоңыр көмір негізінде биобайланыстырушы агенттерді алудың әдісі	54
2.3.13	Қоңыр көмір негізінде биобрикет алу әдісі	55
2.3.14	Алынған нәтижелерді статистикалық талдау әдісі	55
<b>3</b>	<b>ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ</b>	<b>56</b>
3.1	Қоңыр көмірлердің техникалық, физика-механикалық және химиялық қасиеттері	56
3.2	Қоңыр көмірлердің микробтық қауымдастықтарын анықтау үшін метагеномды талдау және бактериялардың жалпы саны, таза дақылдарын бөліп алу	62
3.3	Қоңыр көмірлердің бактериялармен байланысы, өсу динамикасы	69
3.4	Бөлініп алынған бактерия дақылдарының идентификациясы	73
3.5	<i>Bacillus</i> sp. РКВ 7 және <i>Providencia</i> sp. РКВ 10 штамдарының биосурфактанттар түзу қабілеті	75
3.6	<i>Bacillus</i> sp. РКВ 7 және <i>Providencia</i> sp. РКВ 10 штамдары арқылы қоңыр көмірдің биосолюбилизациясы	78
3.7	Биобрикетке байланыстырғыш агенттер енгізу арқылы құрылымдық қасиеттерін жоғарылату	91
3.8	Қоңыр көмірлерді биоөңдеу арқылы биобрикеттеудің технологиялық сызбасы	92
3.8.1	Биобрикеттің функционалдық қасиеттерін зерттеу	92
3.8.2	Биобрикеттің энергетикалық және жылу техникалық қасиеттерін зерттеу	96
	<b>ҚОРЫТЫНДЫ</b>	<b>100</b>
	<b>ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ</b>	<b>102</b>
	<b>ҚОСЫМША А</b>	<b>124</b>
	<b>ҚОСЫМША Ә</b>	<b>126</b>

## НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Диссертацияда келесі стандарттарға сілтеме жасалды:

1 МЕМСТ 10742-71, ISO 1988:1975. Қоңыр көмір, тас көмір, антрацит, майлы тақтатас және көмір брикеттері. Сынамаларды алу әдістері және үлгілерді өңдеу.

2 МЕМСТ 11022-90, ISO 1171-81. Қатты минералды отын. Күлдің құрамын анықтау әдісі.

3 МЕМСТ 11014-81. Қоңыр көмір, тас көмір, антрацит және жанғыш тақтатастар. Ылғалдылықты анықтаудың жеделдетілген әдісі.

4 МЕМСТ 6382-80. Қоңыр көмір, тас көмір, антрацит және жанғыш тақтатастар. Ұшатын заттардың бөлінуін анықтау әдісі.

5 МЕМСТ 8606-72. Отын қатты. Күкіртті анықтау әдістері.

6 МЕМСТ 2160-62. Қоңыр көмір, тас көмір, антрацит және майлы тақтатас. Тығыздықты анықтау әдісі.

7 ISO 18283: 2006 «Hard coal and coke - Manual sampling».

8 ISO 13909-4: 2016 Preview Hard coal and coke - Mechanical sampling - Part 4: Coal - Preparation of test samples».

9 ISO 334-74. Көмір отынын жағу кезінде пайда болатын күкірт оксидтерін сіңіруге негізделген гравиметриялық әдіс.

10 ISO 157-75. сульфатты күкірт ( $S_S$ ) салмақтық анықтау әдісі.

11 ISO 157-75.  $HNO_3$  пиритті тотықтандыру кезінде саны бойынша пирит күкірттің құрамы анықталатын еритін сульфаттардың түзілуіне негізделген отырып,  $FeS_2$  түрінде күкіртпен ( $S_P$ ) байланысты темір құрамын анықтауға негізделген тотықтандыру әдісі.

12 МЕМСТ 7299-84. Украинаның оң жағалауынан коммуналдық қажеттілік үшін қоңыр көмірден брикет. Техникалық шарттары.

13 МЕМСТ 21291-75. Көмір брикеттері. Бел жиегінің қалыңдығын анықтау әдісі.

14 МЕМСТ 9817-82. Қатты отынмен жұмыс істейтін аралас тұрмыстық техника. Жалпы сипаттамалар.

16 МЕМСТ 7.32-2001 – Зерттеу есебі. Құрылым және дизайн ережелері.

17 МЕМСТ 7.1-2003 – Библиографиялық жазба. Библиографиялық сипаттама. Жалпы талаптар және жобаны жасау ережелері.

18 «Ғылым туралы» Қазақстан Республикасының Заңы 18.02.2011 ж. №407-IVЗҚР

## БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

А	көмір үлгісіндегі күлділік, %
АСЕ	таксондардың нақты санын бағалау (Abundance-based Coverage Estimator)
БГЗ	биологиялық жолмен алынған гуминді заттар
БҚК	био-өңделген қоңыр көмір
ХГЗ	химиялық жолмен алынған гуминді заттар
ЭРС	энергодисперсиялық рентгендік спектроскопия (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)
ҚСМ	қозу-сәулелену матрицалар (Excitation Emission Matrix)
FAO	Азық-түлік және ауыл шаруашылық ұйымы (Food and Agriculture Organization)
ӨС-СЭМ	өрісті сәулеленуді сканерлейтін электронды микроскоп
ФТИК	Фурье түрлендірілген инфрақызыл спектроскопия (FTIR)
ГЗ	гуминді заттар
БҚК	бастапқы қоңыр көмір
ЛБ	Лурия-Бертани қоректік ортасы (Luria-Bertani Medium)
ҮК	үш квадруполды сұйық хроматография – масс-спектрометрия
СХ/МС	(LC/MS QqQ)
ЛҚК	Леңгір қоңыр көмірі
ОҚК	Ой-қарағай көмір қоңыр көмірі
ОТБ	операциялық таксономиялық бірлік
ОБҚК	органо-био-өңделген қоңыр көмір
ОТ	оптикалық тығыздық
Q	көмір үлгісінің меншікті жану жылуы, кДж/кг
RKB 10	<i>Providencia</i> sp. бактерия штамы
RKB 7	<i>Bacillus</i> sp. бактерия штамы
ЖТҚ	жоғары тиімді қоректік орта (Super Optimal Broth)
УК	УК көрінетін спектроскопия (Ultraviolet-visible spectroscopy)
V	көмірдегі ұшпа заттардың шығымы, %
W	көмірдің аналитикалық үлгісіндегі ылғалдың массалық үлесі, %
ҰРД	ұнтақты рентген дифракциясы (X-ray powder diffraction, XRD)
Био-ББЗ	био-беттік-белсенді заттар
ЖМС	жалпы микроб саны
КТБ	колония түзуші бірлік
ПТР	полимеразды тізбекті реакция
РҚА	рентгеноқұрылымды анализ
РФА	рентгенофлуоресцентті анализ

## КІРІСПЕ

### **Жұмыстың жалпы сипаттамасы**

Диссертациялық жұмыста энергетикалық-технологиялық және экологиялық параметрлерді жоғарылату мақсатында микроорганизмдердің белсенді штамдарымен Қазақстанның кен орындарынан алынған қоңыр көмірлерді (лигниттер) биологиялық өңдеу процесінің негізгі аспектілері қарастырылған.

### **Тақырыптың өзектілігі**

Әртүрлі қажеттіліктерге байланысты энергетикалық қорларды өндіру үшін қоңыр көмірлерді биологиялық өңдеу – оны тұрақты қолданудың ең үдемелі бағыты.

Қазақстан Республикасы көмір қазба байлықтары бойынша әлемдегі ең үлкен ондыққа кіреді. Қазақстандағы жалпы көмір қорының 62%-ын (24 млрд. т аса) қоңыр көмір құрайды. Қоңыр көмірдің құрамында көміртегі шамамен 60%, сутегі 6%, оттегі 17-34%, ұшқыш заттар мөлшері 50% болады және жану жылуы төмен (26 мДЖ/кг), ылғалдылығы жоғары (40% дейін) болуымен ерекшеленеді. Сонымен қатар механикалық берік емес, ауада ылғалдылығын жылдам жоғалтады және тез ұсақталып, сынып бөлшектерге айналады. Сондықтан, оларды энергетикалық мақсатта қолдану тиімділігі төмен болып табылады. Қоңыр көмірді өндіру кезінде биіктігі 70-120 м жететін террикондар (үйінділер) пайда болады және олардың әрқайсысына жылына 2500 мың. м<sup>3</sup> көлемінде таужыныстар қосылу арқылы көлемі ұлғайып отырады. Үлкен аймақты алып жатқан бұл террикондар атмосфераның газды шаңмен қарқынды ластануына және топырақ құнарлылығының нашарлауына алып келеді. Көмір кен орындарын өндіру гидродинамикалық режимге және жер асты суларының балансына теріс әсер етеді. Бұл ретте потенциалды ресурстар қоры қайтымсыз жоғалып қана қоймайды, сонымен қатар жер үсті және су экожүйелерінің тіршілік иелеріне кері әсерін тигізеді.

Әлемде қазіргі экологиялық жағдай коммуналды және өнеркәсіптік отын сапасын қатаң бақылауды талап етеді. Сонымен қатар, отынның құрамында күкірт, түтін мен күл аз бөлінуі қажет және түйіршіктер мөлшерінің қажетті құрамы болуы керек. Сондықтан, сапасы жақсарған отын ресурстарын ұлғайту үшін заманауи экологиялық және экономикалық тәсілдерді жасау және енгізу заман талабы. Тұрмыстық және өнеркәсіптік отын өндірісіндегі ғылыми-техникалық және энергетикалық прогрестің бір бағыты биобрикеттер негізінде түтінсіз қатты отын өндіру аса маңызды.

Көмірді өңдеудің биотехнологиялық процестері, оның ішінде трансформациялау мен конверсиялау, әр түрлі қатты, сұйық және газ тәрізді отындар мен одан өнімдер алуға, сонымен қатар оның техникалық және тұтынушылық сипаттамаларын жақсартуға бағытталуы мүмкін. Биотехнологиялық тәсілдерді жасауда аэробты мезофильді және термофильді бактериялар мен саңырауқұлақтардың әртүрлі топтары қолданылады.

Қоңыр көмірлерге микроорганизмдер әсер еткенде көмірдің ерігіштігі және көмірдің деполимерленуі жылдам жүреді. Жоғарыда айтылған құрылымдық модификациядан басқа, төмен молекулалы ароматты қосылыстардың күрделі қоспасы болып табылатын жылжымалы фазаның бөліктерін қолдану арқылы қоңыр көмірде бірқатар бактериялар өсе алады және көміртектің жалғыз көзі ретінде парафин тәрізді алифатты қосылыстарды қолданады. Қазіргі уақытта бөлінетін органикалық қосылыстардың табиғаты туралы нақты ақпарат жоқ, бірақ төмен молекулалық модельдерді қолданатын зерттеулер олардың құрамына фенолдар, бензой қышқылдары, бифенилдер мен дифенил эфирлері, сондай-ақ әр түрлі циклоалкандар, n-алкандар кіретіні көрсетіледі. Кейбір қоңыр көмірлерде болатын қалдық целлюлоза мен гемицеллюлоза (мысалы, ағаш құрылымын сақтайтын ксилит көмірі) микроорганизмдер үшін көміртектің қосымша көзі бола алады. Сонымен қатар, минералды ерітінділерді (N, P, S, металл иондары немесе минералды тұздар) қосу микроорганизмдердің өсуін ынталандырады.

Қоңыр көмірдің Б2-Б3 топтарын өндірудің қарқынды артуына байланысты өнеркәсіп саласында кесектенген көмір отынының шикізат базасын дамытуға деген ерекше қызығушылық пайда болуда. Оларды өндірудің артуы көбінесе ашық әдіспен, яғни арзан жол арқылы өндірумен ерекшеленеді. Бұл көмірлер құрамында күл мен ылғалдың көп мөлшерде болуына байланысты ерекшеленеді және осы қасиеттері өз кезегінде олардың жану жылуын төмендетеді, сақтау кезінде тез бұзылуға ұшыратады, тасымалдауға жарамсыз етеді. Қоңыр көмірді биотехнологиялық өндеу әдістері, оның ішінде биобрикеттеу әдісі осы көмірлердің модификациялануы нәтижесінде тасымалдау көлемінің ұлғаюы мен қолдану аясының артуына мүмкіндік береді.

Қазақстанның қоңыр көмірлерінен биобрикеттелген қатты отын алудың қажеттілігінің басты себебі салыстырмалы ылғалдылығының, күлінің аз болуы, сақтау кезінде өздігінен жану мүмкіндігінің және тасымалдау кезінде айтарлықтай ұсақ бөліктерінің жоғалуы болып табылады.

Қазіргі таңдағы энергетика саласының маңызды мәселелердің бірі сұрыпталған отынның тапшылығы болып табылады. Бұл көп жағдайда оттықтағы үгінді мен ұсақ заттарға бай қарапайым және байытылмаған көмірлердің қабатталып жануына әкеліп соғады, нәтижесінде пештердің жылулық коэффициентінің едәуір төмендеуіне, содан кейін отынның жылулық энергиясының босқа жоғалып кетуіне себеп болады. Сондықтан жетілдірілген сұрыпталған көмір отынының ресурстарын арттырудың заманауи және тиімді жолдарын жасау және олардың нәтижелерін жүзеге асыру үлкен ғылыми-экономикалық маңызға ие.

Әр түрлі класқа жататын қоңыр көмірден алынатын түтінсіз қатты отынды алу технологиясы өндірісте әлі толығымен жүзеге асырылмаған, оның себебі биобрикеттеуде қолданылатын байланыстырушының сапасының болмауы, жану жылулығының төмендігі және көмір күлінің көп болуы. Осы келтірілген жағдайларға байланысты Қазақстан көмір кен орындарының көмірінен биобрикеттелген түтінсіз отынды алу технологиясын жасау өзекті мәселеге

айналып отыр. Қазақстан халқының көпшілік бөлігі ауыл аймақтарда өмір сүреді, сондықтан коммуналды-тұрмыстық тұтынуға қажетті экологиялық таза және қауіпсіз отындық биобрикеттерді өндіру мәселелері энергетикалық және экологиялық жағынан үлкен маңызға ие. Қатты отын экологиялық қауіпсіз және түгін бөлу қасиеті төмен өнім болғандықтан ол әртүрлі ғимараттарды, әсіресе өндірістік және қызметтік-тұрмыстық орталарды (жылыжай, көшетхана, шатыр, монша, бассейн, көкөніс шұңқырлары, жылытылған топырақтар және т.б.) жылытуда таптырмас отын бола алады.

Осыған байланысты қатты отын өндіруде, оның ішінде түгінсіз отын өндіруде жаңа пайдалы технологиялар жасап шығару өзекті мәселенің шешімі болады. Аталған өндіріс көптеген елде, оның ішінде Қазақстанда да әлі жолға қойылмаған.

### **Жұмыстың мақсаты**

Қазақстан көмір кен орындарындағы көмірлер мен микроорганизмдердің байланысының биологиялық негіздерін құру және түгінсіз отын алу әдістерін жасау.

### **Зерттеу міндеттері**

1. Леңгір және Ой-қарағай кен орнынан алынған қоңыр көмірлердің физико-химиялық, механикалық және техникалық қасиеттерін зерттеу;

2. Қоңыр көмірлердегі микробтар қауымдастығының таксономиялық құрамын және санын анықтау, физиологиялық және биохимиялық қасиеттерін зерттеу;

3. Қоңыр көмірді отындық био-отын алуда бастапқы шикізат ретінде қолданылатын био-өңделген көмір суспензиясының физико-химиялық қасиеттерін зерттеу;

4. Биобрикеттеуге бөліп алынатын био-өңдегіш дайындаудың технологиялық және конструктивтік параметрлерін зерттеу;

5. Қоңыр көмірлерді биоөңдеу арқылы алынған отындық биобрикетті бөліп алу үдерісінің технологиялық сызбасын жасау;

6. Берік, суға төзімді, күлділігі төмен, жанған кезде жағымсыз құрамды заттарды аз түзетін, жылу сыйымды биобрикет алуға мүмкіндік беретін биологиялық байланыстырушылар арқылы биобрикеттеудің қауіпсіз технологиясын жасау.

### **Зерттеу объектілері**

Б3 класына жататын қоңыр көмірлер (Леңгір және Ой-қарағай кен орындарының көмірлері) және қоңыр көмірден бөлініп алынған РКВ 7 – *Bacillus* sp., РКВ 10 – *Providencia* sp. бактерия штамдары қолданылды.

### **Зерттеу әдістері**

Диссертациялық жұмыс барысында тәжірибелер зертханалық жағдайда физика-химиялық, микробиологиялық генетикалық, биохимиялық, зерттеулердің заманауи әдістерін қолдана отырып жүргізілді.

### **Зерттеудің ғылыми жаңалығы**



Алғаш рет Қазақстанның қоңыр көмірлерінің микробиологиялық алуантүрлігі (метагеномды талдау) зерттелді. Зерттеу нәтижесінде қоңыр көмірден бактериялардың таза дақылдары бөлініп алынды.

RKB 7 – *Bacillus* sp., RKB 10 – *Providencia* sp. бактерия штамдары идентификацияланып, филогенетикалық талдау жасалынды. Бөлінген бактериялардың биосолюбилиздеу қасиеті зерттеліп, нәтижесінде RKB 7 – *Bacillus* sp., RKB 10 – *Providencia* sp., биосурфактанттарды жоғары дәрежеде бөлетіні анықталды.

Зерттеу нәтижесінде Леңгір және Ой-қарағай қоңыр көмірлері мен био-байланыстырғыш заттардан жоғары тиімді биобрикеттелген түтінсіз биобрикет алынды. Зерттеулер нәтижесінде жылудың тиімділігімен бағаланатын тұрмыстық пештердегі биобрикеттердің жануының отын-энергетикалық тиімділігі бастапқы көмірдің биобрикеттерімен салыстырғанда жоғары екендігі (81,1% дейін) анықталды. Ұзақ мерзімді сақтауға және тасымалдауға жарамды биобайланыстырғышты қолдана отырып, қоңыр көмірден биобрикет алудың негізгі технологиялық сызбасы ұсынылды.

#### **Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы**

Бөлініп алынған RKB 7 – *Bacillus* sp. мен RKB 10 – *Providencia* sp. Штамдары әртүрлі ғылыми-зерттеу жұмыстарына қолдану үшін Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-нің қолданбалы микробиология зертханасының коллекциясына енгізілді.

Қоңыр көмірлерді биоөңдеу жұмыстары негізінде биобрикет алудың технологиялық сызбасы әзірленді және жұмыс нәтижелері патенттелді («Көмірді қайта өңдеу тәсілі», №34536, 28.08.2020 ж., «Көмірді қайта өңдеу тәсілі» №34556, 04.09.2020 ж.).

Биобрикетті жасау үшін теориялық және әдіснамалық негіз құрылды.

Ғылыми-зерттеу жұмысы барысында бөлініп алынған бактериялар қоңыр көмірден биотыңайтқыш және биокомпозит (көмір күлі+гумус+бактерия) алу жұмыстары бойынша зертханада қолданылуда.

Энергия тиімділікті арттыру мақсатында қоңыр көмірден жаңа әрі қатты биобрикет құрастырылды. Зерттеу жұмысының нәтижелерін жоғарғы оқу орындарында студенттер мен магистранттарға, докторанттарға арнайы және теориялық курстарда өтетін материал ретінде пайдалануға болады.

#### **Қорғауға ұсынылатын негізгі қағидалар**

1. Леңгір және Ой-қарағай кен орындарынан алынған қоңыр көмірлердің физико-химиялық, механикалық және техникалық қасиеттерінің нәтижелері;
2. Қоңыр көмірлердегі микробтар қауымдастығының таксономды құрамын және санын анықтау, сондай-ақ физиологиялық және биохимиялық қасиеттерінің нәтижелері;
3. Қоңыр көмірден биобрикет алуда бастапқы шикізат ретінде қолданылатын биоөңделген көмір суспензиясының физико-химиялық қасиетінің нәтижелері;
4. Биобрикеттеу мақсатында биоөңдегіш дайындаудың технологиялық және конструктивтік параметрлерінің нәтижелері;

5. Қоңыр көмірлерді биоөңдеу арқылы алынған отынды жасау үдерісінің технологиялық сызбасы;

6. Берік, суға төзімді, күлділігі аз, жанған кезде жағымсыз құрамды заттарды аз түзетін, жылу сыйымдығы жоғары биобрикетті алуға мүмкіндік беретін биологиялық байланыстырушылар арқылы биобрикеттеудің қауіпсіз технологиясының нәтижелері.

#### **Жұмыстың ғылыми зерттеу бағдарламасымен байланыстылығы**

Диссертациялық жұмыс АР05133758 «Ленгер көмір кен орнының қоңыр көмірі мен сурфактант-синтездеуші микроорганизмдер негізде отынды энергиялық тиімді экологиялық таза, түтінсіз биобрикеттелген отынды алу биотехнологиясын жасау», АР05134797 «Тотыққан қоңыр көмір және зоомикробтық қауымдастық негізінде белсенділігі жоғары «биогумус-плюс» препаратын алу биотехнологиясын құрастыру» жобаларының аясында орындалды.

#### **Қорғауға ұсынылатын ғылыми жұмыс нәтижелерінің жасақталуына қосқан диссертанттың жеке үлесі**

Зерттеу жұмысының нәтижелері, әдеби деректерге шолу, жұмыстың мақсат-міндеттерін анықтау, тәжірибелік зерттеулерді жүргізу және алынған нәтижелерді статистикалық өңдеу мен талдау автордың жеке қатысуымен орындалды.

**Диссертациялық жұмыстың апробациясы:** Диссертация жұмысының негізгі қағидалары және зерттеу нәтижелері төмендегідей халықаралық ғылыми конференциялар мен симпозиумдарда баяндалды және талқыланды:

1. «Заманауи биология және Қазақстан Республикасының биоалуантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері» Республикалық ғылыми-әдістемелік конференция (Алматы, 24 қараша 2017 жыл);

2. «Экологиялық генетика мен экспериментальды биологияның өзекті проблемалары» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференция (Алматы, 25 қаңтар 2018 жыл);

3. 22-я Международная Пущинская школа-конференция молодых ученых «Биология – наука XXI века» (Пущино, Россия, 23 – 27 апреля 2018 г.);

4. Международный симпозиум АСТАНА БИОТЕХ 2018, (Астана, 12-13 июня 2018 г.);

5. Оңтүстік Қазақстан медицина академиясының Хабаршысы (Шымкент қ. 2018 ж.);

6. V Халықаралық Фараби оқулары, «Фараби әлемі» атты халықаралық ғылыми конференция (Алматы, 10-11 сәуір 2018 ж.);

7. VI Халықаралық Фараби оқулары, «Фараби әлемі» атты халықаралық ғылыми конференция (Алматы, 9-11 сәуір 2019 ж.);

8. Международная конференция «Современные проблемы химии и технологии органических веществ и материалов» (5-6 декабря 2019 г., г. Алматы);

9. International Conference on Recycling and Waste Management (30<sup>th</sup> July 2019, Toronto, Canada).

**Басылымдар.** Диссертацияның негізгі нәтижелері 30 ғылыми басылымдарда жарық көрді, олардың қатарында 6 мақала ҚР Білім және ғылым саласының бақылауы бойынша Комитет тізіміндегі республикалық ғылыми журналдарда, 3 мақала ғылыми журналдарда, 3 мақала Scopus базасына кіретін және 13 тезис халықаралық конференциялар мен симпозиумдар жиынтығында, сонымен қатар 1 монография, 2 патент, 2 ғылыми туынды жарияланған.

**Диссертацияның құрылымы.** Диссертация 127 беттен, белгілеулер мен қысқартулар, кіріспе, әдебиеттерге шолу, зерттеу объектілері, материалдары мен әдістері, зерттеу нәтижелері мен талқылау, қорытынды бөлімдерінен, 305 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, 20 кестеден, 44 суреттен тұрады.

## 1 ӘДЕБИЕТТЕРГЕ ШОЛУ

### 1.1 Геомикробиология: минералды заттар мен микроорганизмдердің байланысы

#### 1.1.1 Көмірлердің биологиялық негіздері

Гиомикробиология – геологиялық және геохимиялық процестердегі микроорганизмдердің рөлі мен олардың өсуіне, белсенділігі мен тіршілігіне минералдар мен металдардың әсері мен байланысын зерттейтін геобиологияның бір тармағы. Көптеген микроб-минералды өзара әрекеттесу табиғатта болып жатқан белгілі бір құбылыстардың туа біткен механизмдерін түсіну үшін септігін тигізеді және микроорганизмдердің түрлері мен әрекетіне қатысты минералдарда болатын өзгерістерді зерттеуге көмектеседі. Көмір жаңартылмайтын энергияның негізгі көзі болып табылатындықтан және оның әртүрлі салаларда кең қолданысқа ие болуы ондағы микроб-минералды өзара әрекеттесу маңыздылығы тұрақты микробтық көмір биологиясы мен биотехнологиясын дамыту үшін өте қажет.

Көмірдің құрамы батпақта кездесетін шымтезектен басталады. Батпақ - бұл шымтезектің көп немесе аз мөлшерде қалың қабаттарда жиналуына мүмкіндік беретін жағдайлар жасалған орта. Шымтезек ұзақ және күрделі процестер барысында органикалық және бейорганикалық қосылыстардың күрделі қоспаларынан тұратын көмірге айналады. Батпақтарда тіршілік ететін немесе тіршілігін тоқтатқан өсімдіктерден қалған органикалық қосылыстардың саны миллиондаған болуы мүмкін. Мәселен, көмірдегі 100 астам бейорганикалық қосылыстар батпаққа су немесе желмен тасымалданатын шөгінділерден түседі немесе бастапқы өсімдік элементтерінен құралады. Құрамында темір мен мырыш сияқты элементтері бар бейорганикалық қосылыстар өсімдіктердің жақсы өсуі үшін қажет. Өсімдіктер ыдырағаннан кейін бейорганикалық қосылыстар түзілген шымтезекте қалады, ал бұл элементтердің кейбіреулері пирит сияқты бөлек минералдар түзеді. Өсімдіктер пайдаланатын бейорганикалық қосылыстардың басқа көздері батпақ түбін жабатын шлам, дренаждық ағынмен келген шөгінділер, батпақты суда еріген элементтер, жел, құм, шаң немесе күл болуы мүмкін. Көмір құрамында периодтық кестедегі табиғи элементтің 76 дейін түрі кездеседі, алайда бұл элементтердің көпшілігінің мөлшері әдетте өте аз. Кейбір микроэлементтер (мысалы, күміс, мырыш) көмір қабатында көптеп шоғырлануы мүмкін және осы элементтердің құнды ресурсы бола алады [1].

Көмірдің тастары минералды заттар (мысалы, кальцит, пирит немесе сидерит) шымтезек сығылғанға дейін аз мөлшерде кеуектеріне еніп, минералданғанда түзіледі. Көмір тастары көбінесе өзінің құрылымын сақтап қалған көміртекті өсімдік материалдары түрінде болады, себебі минералдар өсімдіктердің құрылымының өзгеруіне жол бермейді. Көмірдің сапасын анықтайтын негізгі фактор – оның сорты. Сорт «көмірлену» деп аталатын баяу табиғи процестің кезеңдерін білдіреді, оның барысында көмілген өсімдік материалы тығызырақ, құрғақ, көміртегіге бай және қаттырақ материалға

айналады. Көмірдің негізгі сорттары – солдан оңға қарай – қоңыр көмір (лигнит), суббитуминозды көмір, битуминозды көмір және антрацит болып бөлінеді [2]. Көмірлердің көпшілігі ылғалды аймақтарда және батпақтарға жақын өскен өсімдіктерден түзіледі. Бұл өсімдіктерден құралған материал төмен орналасқан жерлерде жиналды, олар ылғалданады және микроорганизмдердің әсерінен шымтезекке айналады, мұндай құбылыстар тіпті субарктикалық аймақтарда да кездеседі. Жер бетінде жиналатын өсімдік қалдықтары көп жағдайда шымтезекке немесе көмірге айналмайды, себебі ол өртенеді немесе органикалық ыдырау арқылы жойылады. Демек, ежелгі тау жыныстарында кездесетін көмірдің үлкен кен орындары бір мезгілде бірнеше қолайлы биологиялық және физикалық процестерінің нәтижесі ретінде қарастырылуы керек.

Көмірдің өсімдік қалдықтарынан түзілген табиғи жыныс екенін айғақтайтын бірнеше себеп бар. Біріншіден, көмірдің ең төменгі сорты - қоңыр көмірлерде жиі табылатын өсімдік қалдықтары; екіншіден, көмір қабаттарының үстінде, астында және іргелес жатқан шөгінді қабаттарда карбондалған қабықтар (мысалы, жапырақтар мен сабақтар) мен іздер түрінде өсімдік қалдықтары және тамырлар, бұтақтар мен діндер сияқты ірі бөліктері бар. Көмірдегі жіңішке кесінділерді немесе жылтыратылған блоктарды микроскопиялық зерттеу арқылы жасуша қабырғаларын, кутикулаларды (жапырақтардың сыртқы қабырғасы), спораларды және басқа құрылымдарды тануға болады. Балдырлар мен саңырауқұлақтардың қалдықтары да болуы мүмкін, мәселен, балдырлар – батпақты көмірдің негізгі компоненттері, сапропельді көмірдің бір түрі [2].

Көмір сапасын анықтайтын көптеген факторлар көмірдің күрделі екенін көрсетеді. Бұл факторларға (1) өсімдіктер, өсімдік қалдықтары және шымтезектегі басқа организмдер (мысалы, бактериялар), (2) биологиялық және химиялық процестер мен өсімдік заттарының сақталу дәрежесі, (3) батпақтың орналасуы, (4) өсімдік материалымен жинақталған немесе кейінгі кезеңде минералды заттар және (5) көмірлену жатады [3]. Көмір шымтезектен бастау алады, ол шымтезекті көмірге дейін жеткізу үшін қолайлы жағдайлары бар батпақтарда түзіледі. Әдетте ағынсыз немесе баяу қозғалатын сумен толған мұндай батпақтар өсімдіктердің мол өсуі үшін тамаша орын болып табылады. Өсімдіктер батпаққа түскен кезде олар сумен жабылады, әрі тез ыдырауын баяулатады немесе біржола тоқтатады. Баяу ыдырау мен бірқалыпты орта өсімдік заттарының жиналып шымтезек түзуіне мүмкіндік береді. Шымтезекті құрайтын органикалық заттар сол ортада немесе ағынды сулар арқылы басқа орталарға тасымалданады. Көмір қабаттарының көпшілігі тұрақты бір орында жиналған өсімдік материалынан түзілген. Шымтезек батпақтары өсімдіктердің көптеген түрлерінен немесе бір түрінен тұруы мүмкін. Батпақтар флорасы өсімдіктердің эволюциясына байланысты геологиялық уақыт ішінде айтарлықтай өзгерістерге ұшырайды. Мысалы, ликопсид пен ағаш папоротниктері ескі көмір қабаттарында кездеседі, ал өсімдіктердің неғұрлым жаңа түрлерін (қамыс, лалагүл, мангр және таз кипарис сияқты) жас көмір қабаттарынан табуға болады [3].

Өсімдік қалдықтары шымтезекке айналып жатқанда микроорганизмдердің қатысында, тотығу мен биогеохимиялық процестерге ұшырап, ыдырайды. Бұл процестер көмір кен өңірлерде кең таралған және көбіне өндірілетін көмірдің табиғатын анықтайды. Айтылған үдерістер микробиологиялық, микрохимиялық деңгейде жүреді, сондай-ақ үнемі өзгеріп отырады, сондықтан оларды сипаттау қиынға соғады. Ыдырау процестері атмосферада оттегімен және бактериялар мен саңырауқұлақтар сияқты әр түрлі микроорганизмдер қатысында жүзеге асады (1) және судың қышқылдығы немесе сілтілігі бұл процестерді баяулатады (2). Шымтезектегі оттегі сарқылған кезде анаэробты бактериялар ыдырау процесін жалғастырады. Өсімдіктердің ыдырауы қарқынды жүргенімен, әртүрлі деңгейде іріктеуден өтеді, себебі өсімдіктердің әр түрлі бөліктері бірдей жылдамдықпен ыдырамайды. Қабық, кутикула, спора, лигнинге бай ағаш пен көмір сияқты өсімдіктердің ең төзімді бөліктері көбінесе көмірде мацерал ретінде қалады. Су ағып келіп өсімдік материалын жауып қалса, атмосфералық тотығу тоқтайды, сосын көп ұзамай биохимиялық өзгерістер баяулайды, кейіннен толық тоқтайды. Өсімдік материалы шымтезекке айналып, көмілгеннен кейін одан әрі маңызды өзгерістер тотығу мен биохимиялық процестерге ұшырайды, сонымен қатар температура мен қысымның жоғарылауына тәуелді болады. Шымтезектің батпақты суының қышқылдығы немесе сілтілігі, осы өзгерістердің жылдамдығы мен мөлшерін бақылауға мүмкіндік береді. Әдетте, су неғұрлым қышқыл болса, бактериялардың белсенділігі төмендейді, нәтижесінде өсімдік заттары сақталып қалады. Егер олардың тіршілігі тоқтаса, бактериялар мен саңырауқұлақтар шымтезекті  $\text{CO}_2$ -ға, суға және күлге айналдырады, бұл үдеріс баяу жүрсе де, жану сияқты әсер қалдырады [3].

Шымтезек батпағындағы тірі өсімдіктер минералды заттарды өздері өсетін топырақтан, батпақ сулардан және су немесе жел көтеретін шөгінділер, жанартаулық күл сияқты минералдардан сіңіреді. Шаң мен күлдің бір бөлігі батпақты суда ериді және өсімдіктердің өсуін ынталандырады. Жанартау күлі мен шаңның кейбір түрлері өсімдіктердің қарқынды өсуі үшін қажетті қоректік заттарға бай. Желдің шаңы мен жанартау күлі батпақтың барлық түріне әсер етеді. Шаң немесе күл шымтезекте таралған дән түрінде немесе бөлек қабаттар түрінде болуы мүмкін. Геологиялық уақыт ішінде эрозиямен немесе тотығумен жойылмаған шымтезек батпақтары көмірдің минералды құрамына әр түрлі әсер ететін шөгінділермен көміледі. Жалпы алғанда, шөгінділер әдетте темір сияқты элементтерге, ал теңіз шөгінділері күкірт сияқты элементтерге бай болып келеді. Көптеген көмірлерде минералдың бір бөлігі пайда болғаннан кейін эпигенетикалық (төмен температуралы) минерализация үдерісі жүреді. Бұл процесте қозғалмалы судағы иондар жарықтар мен көмір қабатындағы жазықтықтарының бойына енеді, ал минералдар судың минералды түзуші иондарды ерітіндіде ұстау қабілетін жоғалтқан кезде жиналды. Бұл иондық су басқа температурада немесе басқа химиялық ортаға түскенде болуы мүмкін. Эпигенетикалық минералдарға әдетте пирит, кальцит, сидерит, каолинит және сирек жағдайларда сфалерит пен гален жатады [4].

Қоңыр көмірдің пайда болуы кайнозой, үшінші дәуірде орын алып, екі фазадан өтті. Бірінші кезең - өсімдіктердің тұрақсыз қалдықтарының салыстырмалы түрде тез ыдырау кезеңі және тұрақты қосылыстар мен өнімдердің (лигнин, кутин, суберин және т.б.) жинақталу кезеңі. Бұл фаза биобелсенділікке байланысты аэробты жағдайда өтеді. Екінші фаза тұрақты қосылыстардың одан да тұрақты өнімге баяу айналу кезеңі, мысалы, тез еритін сілтілі-гумин қышқылдарының көмірдің ерімейтін гуминді заттарына айналуы. Бұл анаэробты фаза шымтезек үшін биогенді және көмір үшін абиогенді болып келеді [64]. Кейбір бактериялар көмірді тек көміртегі көзі ретінде пайдаланып, өсе алады.

### **1.1.2 Көмірлерді пайдаланудың технологиялық маңызы және экологиялық салдары**

2004 жылы «Өсу қарқыны: 30 жылдан кейін» кітабында жарияланған мақалада [5], Рим клубының зерттеуі бойынша, өндірістің даму қарқыны мен халық санының өсу қарқынын бағалағанда, адамзаттың тіршілігіне қауіп төндіретін күрделі мәселелер ХХІ ғасырдың ортасында пайда болатыны келтірілген. Кейбір болжамдар бойынша [6], 2001 жылдан бастап есептегенде қол жетімді мұнай қоры – 41 жыл, газ қоры – 64 жыл, көмір қоры – 251 жыл көлемінде сарқылуы мүмкін. Барлық зерттеу нәтижелерін есепке алғанда, бұл болжамдар адамзаттың дәстүрлі энергия көздерін баламалы көздерге алмастыруды бүгіннен бастап қарқынды іздеудің қажеттілігін көрсетеді. Әлемдегі биоэнергияны дамытудың негізгі алғышарттары ретінде 3 маңызды факторларды атап кетуге болады. Осы 3 фактор биоэнергияны дамытуда Еуро одақтар мен басқа да дамыған елдердің экономикалық және саясатының негізінде жатыр.

Бірінші негізгі фактор – климаттың жаһандық өзгеруіне қарсы жұмыстар және оның әсеріне бейімделуге бағытталған. Уақыт өте келе, жаһандық климаттың өзгеру себептері атмосферадағы газдар – негізінен  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  және  $\text{NO}_x$  эмиссиясының көлемінің артуында екендігі анықталған. Атмосферадағы көміртектің диоксидінің бөліну көлемінің жоғарылауы, жаһандық энерготұтытуда, энергия көздері - газ, мұнай, көмір сынды қайта қалпына келтірілмейтін қазбалардың тұтынылуының артқанымен түсіндіріледі. Мәселенің күрделілігі және оны алдын алу мақсатында 1992 жылы 9 мамырда 197 мемлекет қосылған, БҰҰ-ның климаттың өзгеруіне байланысты құрылымдық конвенцияны қабылдауына алып келді.

Екінші фактор – экономикалық қауіпсіздікті арттыруға және жаңартылмайтын энергияның импорттық тәуелділігінің азаюына ұмтылу. 2005 жылы Еуропа елдеріндегі тұтынылатын энергияның жартысы сырттан жеткізілінген, сондықтан энергия көздеріне балама табу жұмыстары жүргізіледі.

Үшінші фактор – өндіріс циклдерін және жабдықтау тізбегін оптимизациялау, энерготіімді және ресурсты технологияларды ендіру [7].

2006 жылы мамырда Біріккен Ұлттар Ұйымының Тұрақты даму жөніндегі комиссиясының 14-сессиясында басталған жаһандық биоэнергетикалық

серіктестік - бұл Гленингс іс-қимыл жоспарында G8 (Канада, Франция, Германия, Италия, Жапония, Ресей Федерациясы, Біріккен Карольдік және АҚШ) және Бразилия, ҚХР, Үндістан, Мексика және Оңтүстік Африка елдері қабылдаған міндеттемелерді орындау жөніндегі халықаралық бастама болды. Бұл бастама жоғары деңгейдегі жаһандық саясат диалогына ықпал ететін, ұлттық және аймақтық биоэнергетикалық саясатты және нарықты дамытуды қолдайтын, биомассаны тиімді және орнықты пайдалануды, биоэнергетика бойынша жобалық қызметті дамытатын, екіжақты және көпжақты ақпаратты жүзеге асыратын, біліктілік және технологиямен алмасуды күшейтетін және биоэнергияны интеграциялауға энергетикалық нарықты жабдықтау тізбегіндегі нақты кедергілерді шешуге ықпал ететін бастама болды [8].

Жаһандық биоэнергетикалық серіктестіктің хатшылығы FAO (Food and Agriculture Organization – Азық-түлік және ауылшаруашылық ұйымы) негізделе отырып жұмыс жасады және бұл әріптестікті Италия басқарды. Биоэнергетикалық жаһандық серіктестік FAO, Халықаралық Биоэнергия Платформасымен, Халықаралық Биоотын Форумымен, Халықаралық Сутегі Экономикасы Серіктестігімен, Жерорта теңізі жаңартылатын энергия көздері бағдарламасымен, «Метаннан нарыққа дейін» бастамасы, ХХІ ғасырға арналған жаңартылатын энергия саясаты желісімен, Жаңартылатын энергия көздері бойынша серіктестіктермен энергия және энергия тиімділігі, Сауда және даму бойынша Біріккен Ұлттар Ұйымының Конференциясы Биоотын туралы бастама және Биоэнергияны іске асыру туралы келісімдер, сондай-ақ Халықаралық энергетикалық агенттіктің тиісті бөлімшелерімен және т.б. ынтымақтастықта бірлесе әрекет етті. Сонымен қатар, серіктестік өмірлік циклды талдау әдістемелерін үйлестіру және осы мақсат үшін әдістемелік негіздерді әзірлеу бойынша жұмыс тобын құрды. Бұл бастамалардың барлығы дамушы елдерге және дамыған елдерге де биоэнергияның ұлттық нормативтік-құқықтық базасын құруға көмектесетін маңызды тетіктер болып табылады [8].

Жоғарыда аталған ұйымдар мен қабылданған шешімдердің барлығы қоршаған ортаға экологиялық маңызы бар және баламалы энергия көздерін табу мен жер қойнауындағы пайдалы қазбаларды тиімді пайдалану мақсатында жүзеге асты.

Зерттеу жұмыста [9] қоршаған ортаға зиян келтіретін, бірақ, энергетикалық маңызы бар жер қойнауының өнімі ретінде көмір туралы мәліметтер келтірілген. Көмірді энергия көзі ретінде пайдалану мәселесі қоршаған ортаға байланысты талқыланғанымен, жақын арада көмірдің жануын басқа энергия көзімен алмастыру мүмкін емес. Сол себепті, көмірді пайдаланудың тиімді технологиясын қарастыру керек. Әлемде жылына шамамен 3 700 млн т. тас көмір және 940 млн т. қоңыр көмір өндіріледі. 190 миллион тоннаға жуық қоңыр көмір өндіретін Германия қоңыр көмірді ең көп тұтынушы және өндіруші болып табылады, одан кейінгі орында Ресей (жылына шамамен 90 млн т.) және АҚШ (жылына 80 млн т. жуық) алады [10, 11]. Көмірдің әр түрлі ресурстарын және олардың жылдық тұтынуына байланысты, қоңыр көмір ресурстарын пайдалануда үлкен айырмашылықтар бар: Германия үшін шамамен 270 жыл



және Солтүстік Америка үшін 1 100 жыл [12]. Осы энергия көзінен қоршаған ортаға зиянды азайту үшін көмірді қайта өңдеудің жаңа технологиялары қажет. Осылайша, Еуропалық қоғамдастық “Clean coal” технологияларын қолдау мақсатында арнайы зерттеу бағдарламасын жасады [13].

XXI ғасырдың басында АҚШ-та көмір өндірісі бойынша келесідей мәліметтерді ұсынылды, АҚШ-та 2020 жылдың үшінші тоқсанында көмір өндірісі 135,8 млн т. құрады, бұл алдыңғы тоқсанмен салыстырғанда 17,9% жоғары. Бұл жыл емес, тоқсан сайын көмірге сұраныс артып отырғанын көрсетеді [14].

2017 жылы ЕО (Еуро Одақ) - 28 елдеріндегі өнеркәсіптегі соңғы энергия тұтынудың ең үлкен үлесі (84%) табиғи газ, көмір және мұнай сияқты қазбалы отындарды, сондай-ақ электр энергиясын тікелей пайдалану есебінен қол жеткізілді. Табиғи газ және электр энергиясы ең көп пайдаланылатын энергия тасымалдаушылары болып табылады, олар энергия тұтынудың үштен екі көлемін құрайды. Алайда, жаңартылған энергия көздерінің экспрессиясы салыстырмалы түрде аз болды [15].

Көмірдің электр энергиясы немесе көлік отындарынан айырмашылығы, жылу көрсеткіші өлшенбейді, бұл жылуға деген қажеттілік туралы деректердің болмауына алып келеді [16]. Еуропалық Комиссия жылыту және салқындату секторы туралы қосымша білім алудың маңыздылығын және оның ЕО-ның энергетикалық және климаттық мақсаттарына қол жеткізуге қосқан маңызды үлесін мойындайды. [17].

ҚХР (Қытай Халық Республикасы) көмір өндірісіне келетін болсақ, әлемнің мамандандырылған құрылымдары мен ҚХР өзі шашыраңқы мәліметтерді ұсынады. Ең белгілі нұсқасы: дәлелденген қорлар 52 млрд т. қоңыр көмір мен 62 млрд т. тас көмір мен антрацитті құрайды. Жалпы қор 128,2 млрд т. қоңыр көмірге және 858 млрд. т. көмір мен антрацитке жетеді, бұл жалпы 1 трлн т. Жалпы алғанда, дүниежүзілік қорлардың шамамен 25% ҚХР аумағында шоғырланған және қара отынның мөлшері бойынша әлемде бірінші орында тұр. ҚХР көмір өнеркәсібінің дамуы қарқынды жылдамдықпен жүруде, мәселен, 1983 жылы көмір өндіріс көлемі 714,5 млн т. құраса, 1995 жылға қарай бұл көрсеткіш 1,38 млрд т. дейін өсті. 2003 жылы - 1,69 млрд т., 2004 жылы - 2,09 млрд т., 2009 жылы - 3 млрд т. , ал 2015 жылы бұл көрсеткіш 3,8 млрд т. көмір өндірі, бұл әлемдік өндірістің 47% құрайды. 2018 жылы ҚХР көмір өндіруші компаниялар кен орындарының 3,5 млрд т. өндірісе, 2019 жылы бұл көрсеткіш тағы 4,2% өсіп, 3,7 млрд т. жетті [18].

Көмір төрт класқа жіктеледі: антрацит, битуминозды, суббитуминозды және қоңыр көмір (лигнит). Антрацит құрамында 86–97% көміртегі бар және барлық көмір маркалары бойынша ең жоғары жылу калориясына ие. Битуминозды көмірде 45-86% көміртек болады. Бұл көмірдің жасы 100-ден 300 млн жылға дейін болуы мүмкін. Битуминозды көмір электр энергиясын өндіру үшін қолданылады және кокстелетін көмір өндірісі немесе темір мен болат өнеркәсібінде қолдану үшін маңызды отын және шикізат болып табылады. Суббитуминозды көмірде 35-45% көміртегі болады және қыздыру мөлшері

битуминозды көмірге қарағанда төмен. Бұл көмірлердің жасы кем дегенде 100 млн жылға дейін жетеді. Қоңыр көмірдің құрамында 25–35% көміртегі бар және барлық көмір түрлері арасында ең төменгі энергияға ие. Қоңыр көмір шөгінділері әдетте салыстырмалы түрде жоғары температура мен қысымға ұшырамайды. Қоңыр көмір жұмсақ және ылғалдылығы жоғары, бұл оның төмен калориялық құндылығын көрсетеді [19].

Көмір – отынның бай көзі, оны өндіру және пайдалы энергияға айналдыру салыстырмалы түрде арзан. Алайда көмірді өндіру және пайдалану қоршаған ортаға кері әсер етеді. Ашық кеніштер (ашық кен орындары) 2019 жылы АҚШ-та өндірілген көмірдің шамамен 62%-ын құрады. Әдетте көмірді өндіру тау-кен жұмыстары көмір мен шөгінділердің үстіндегі топырақ пен тасты алып тастайды. Мәселен, тау шыңдарын алып тастау және аңғарларды толтыру үшін тау-кен жұмыстары Батыс Вирджиния мен Кентуккидегі Аппалач тауының үлкен аудандарына кері әсер етті. Көмір өндірудің осы түрі таулардың шыңдары жарылғыш заттардың көмегімен өзгерістерге ұшырауына алып келді. Бұл әдіс ландшафтты өзгертеді, ал су ағындары тастармен және балшықпен жабылады. Бұл толтырылған аңғарлардан төмен қарай ағып жатқан су құрамында ластаушы заттар болуы мүмкін, олар төменгі қабатта тіршілік ететін су жануарларына зиян келтіруі мүмкін. Тау-кен ісі 1970 жылдардан басталғанымен, оны пайдалану 1990-жылдардан бастап кең таралып, даулы сипатқа ие болды. АҚШ заңы көмірден зардап шеккен аудандардан шыққан шаң мен су ағындарын бақылауға алуды және аумақты бастапқы қалпына келтіруді талап етеді. «Таза ауа туралы» және «таза су туралы» заңдар кәсіпкерлерден ауаға және суға ластаушы заттар шығарындыларын азайтуды талап етеді [20].

Дамыған елдердің өзінде көмірге сұраныс артып, экологиялық мәселелер туындауда. Көмір қоры бойынша алғашқы ондыққа кіретін біздің елге де бұл маңызды мәселе. Көмір өндіру бойынша, Қазақстан ТМД елдері ішінде, Ресей мен Украинадан кейін үшінші орында тұр [21]. 170 млрд. т. қор көрсеткішімен елімізде 100 көмір кен орны анықталған. Соның 24 млрд. т. қоңыр көмір болып табылады [22].

Әлемдік көмір ресурстарының үштен бір бөлігі және анықталған қорлардың бестен бір бөлігі - 193,3 млрд т. Ресей жерінде шоғырланған, оның ішінде 101,2 млрд т. қоңыр көмір, 85,3 млрд т. битуминозды көмір және 6,8 млрд т. антрацит үлесіне тиесілі. Ресейде көмірді қайта өңдеу кезінде пайда болатын қатты қалдықтарды іске жарату деңгейінің төмендігінің себебі, біріншіден, энергетиктер өз қалдықтарын қайта өңдеуге мүдделі емес, өйткені қалдықтар мен оларды шығаруға кететін шығындар электр энергиясы мен жылу шығындарына қосылады. Сонымен қатар, халық ластанған жерлерге жақын аймақтарда өмір сүреді, олардың денсаулыққа кері әсер ету салдарларының ауыртпалығын көтереді. Екіншіден, Ресейліктер белгіленген қалдықтарды жылдық өнімнің 80-100%-ына дейін тиімді өңдейтін дамыған елдердің тәжірибесін қолданбайды. Ал дамыған елдер өндірісті қалдықтар үлкен пайда әкелетіндей етіп ұйымдастыра алады [23].

Қазақстан Республикасы көмір қазба байлықтары бойынша әлемдегі ең үлкен ондыққа кіреді. Қазақстандағы жалпы көмір қорының 62% (24 млрд. т аса) қоңыр көмір құрайды. Қоңыр көмірдің құрамында көміртегі шамамен 60%, сутегі 6%, оттегі 17-34%, ұшқыш заттар мөлшері 50% болады және жану жылуы төмен (26 мДЖ/кг), ылғалдылығы жоғары (40% дейін) болуымен ерекшеленеді. Сонымен қатар механикалық берік емес, ауада ылғалдылығын жылдам жоғалтады және тез ұсақталып, сынып бөлшектерге айналады [24, 25, 27, 28].

Әлемде болып жатқан өзгерістер мен қоршаған ортаны сақтау мақсатында төмен сапалы көмірді кәдеге жарату мақсатында ғалымдар мен көмір өндіріс орындарының алдында әлі де ауқымды жұмыстар тұр. Өткен ғасырдың 50-жылдары ауылды мекендерге көмірдің келуі, мәні бойынша революциялық технология болды. Себебі, қысқы мезгілде отын жинаудан босатылды. Көмірдің пайда болуы Қазақстанның аймақтарындағы сирек кездесетін ормандарды «құтқаруына» негіз болды [26].

Алайда, көмірмен жұмыс істейтін қондырғыдан алынған энергия, көмірді шаңнан тазарту жүйесі мен ұшпа күл ұстауға арналған қымбат құрылғылармен, күкірт оксидтерін байланыстырудың қымбат жүйесі бар табиғи газ энергиясымен жеткілікті түрде бәсекелес. Көптеген елдерде электр энергетикасында көмір жағудың іс жүзінде баламасы жоқ [29, 30].

Соңғы жылдары көмір экологиялық таза емес жанармай деп аталады [31]. Іс жүзінде көмірдің осындай атауға ие болуы, оның қолданыстағы жану технологиясымен байланысты болу мүмкін. Себебі, тиімсіз жану процесін ұйымдастыру кез-келген отынды экологиялық таза емес өнім ретінде көрсете алады. Көмірдің құрамында газ тәрізді компоненттердің мөлшері жеткілікті екені белгілі, қарапайым көмірлер үшін массаның пайызына 25-тен 50-ге дейін жанғыш ұшпа кіреді [32].

Энергетикалық ресурстардың тапшылығы мен оған деген сұраныстың артуы, табиғи газ бен мұнайды басқа энергия көздерімен ауыстыруды талап ету көлемінің ұлғаюына жол салады. Қазіргі уақытта энергиямен жабдықтау, оның баламаларын ұсыну жұмыстары қарқынды жасалуда. Аталған жұмыстар бәсекелестікті де арттырады. Көмірді энергетикаға пайдалану технологиясының Қазақстан үшін стратегиялық маңызы бар, өйткені біздің елде көмірдің жалпы геологиялық қоры шамамен 170 млрд т. құрайды [33].

Қоңыр көмір энергетикалық отын ретінде ғана емес, сондай-ақ өнеркәсіптік және тұрмыстық бағыттағы өнімдерді қайта өңдеу үшін шикізат ретінде де маңызды [34]. Қоңыр көмірдің Б2-Б3 топтарын оларды өндірудің үнемі артуына байланысты кесектелген көмір отынының шикізат базасын дамытуға деген ерекше қызығушылық тудырады. Оларды өндірудің артуы көбінесе ашық әдіспен, яғни арзан жолға негізделген [35]. Бұл көмірлер құрамында күл мен ылғалдың көп мөлшерде болуына байланысты ерекшеленеді және осы қасиеттері өз кезегінде олардың жану жылуын төмендетеді, сақтау кезінде тез бұзылуға ұшыратады, тасымалдауға жарамсыз етеді [36, 37].

Көмір кен орны жерасты суларының балансы мен гидродинамикалық режиміне де кері әсерін тигізеді. Сонымен қатар әлеуетті қорлар қайта қалпына

келмейтінімен қоса, жер бетіндегі тіршілік иелерін және су экожүйесін өзгеріске ұшыратады. Сондықтан сапасы төмен, күлі көп, практикалық тұрғыда жарамсыз көмірді химиялық және биотехнологиялық қайта өңдеу арқылы құнды өнімдер алуға болады [38-40].

Көмір - сулы суспензия алу технологияларына арналған жұмыстар өте көп [41]. Көмірлердің әр түрлі физико-химиялық сипаттамалары мен өзіндік ерекшеліктеріне байланысты қоңыр көмірден биобрикетті отын алу тиімді болып табылады, себебі:

1. Тас көмірлердің меншікті жану жылуы қоңыр көмірлерден 1,66 есе жоғары. Қатты фазада су-көмір суспензиясының тең концентрациясы кезінде, қоңыр көмірден алынған ерітінділердің меншікті жану жылуы тас көмірдің жануының меншікті жылуынан әрдайым төмен болады. Қоңыр көмірдің меншікті жылуын биотехнологиялық әдістер арқылы теңестіруге болады [42, 43].

2. Биобрикеттің фракциялық құрамы, олардың гранулометриясына байланысты әр түрлі болуы керек. Осыған байланысты қоңыр көмірге енгізілген биомасса қоспалардың мөлшері де олардың реологиялық және шөгінді қасиеттерін жақсартады [44].

3. Тас көмір мен қоңыр көмір бөлшектерінің беткі қасиеттері әр түрлі және түрлі зарядқа ие, сондықтан көмірдің әрбір нақты түрі үшін өзіндік, спецификалық, пластификаторлық және тұрақтандырғыш қоспаларды таңдау қажет [45, 46].

4. Тас көмірлер мен қоңыр көмірлердің ұнтақтылығы жағынан да айырмашылықтары бар. Бұл жағдай көмірдің бірдей ұнтақтау қондырғыларында әр түрі ұнтақтаудың оңтайлы уақытын анықтауды талап етеді. Бір тонна биобрикеттелген отын дайындауға қажет электр энергиясының нақты шығыны көмірді ұнтақтаудың қажетті уақытына тура пропорционал болады. Көмірлердің әр түрлі ұнтақталу коэффициенті сонымен қатар диірмендердегі шарға жүктелуін салмақ бойынша да, шарлардың бөлшек құрамы бойынша да әр түрлі таңдауды қажет етеді [47].

5. Тас көмір мен қоңыр көмірдің химиялық құрамы мен минералды бөлігінің мөлшері әр түрлі болып келеді [48, 49].

6. Тас көмірлер және қоңыр көмірлер құрамындағы ұшпа заттармен ерекшеленеді және олар жану кезіндегі суспензия белсенділігіне байланысты болады. Қоңыр көмірлердің құрамында ұшқыш заттар 44-48% дейін кездеседі [50].

7. Қоңыр көмірлерде көп мөлшерде гумустық қосылыстардың болуы, оларға тас көмірлерге қарағанда басқаша қолданысты қажет ететінін көрсетеді [51]. Су-көмір суспензиясын пластификациялау үшін енгізілген қоңыр көмірдің гумин қышқылдарының химиялық қоспалармен әрекеттесуі ерекше тәсілді қажет етеді, бірақ биобрикеттелген отын алу кезінде химиялық қоспалар қосылмайды.

8. Тас көмір мен қоңыр көмір арасындағы айырмашылықтар қоңыр көмірдің биобрикеттерін дайындауға технологиялық және тұтынушылық талаптардың дұрыс жүргізілуін талап етеді. Қоңыр көмірдің тас көмірмен салыстырғанда,

жану жылуының төмендігіне қарамастан, олардың артықшылықтары болуы мүмкін: ұнтақтауға кететін шығындар, жану жылдамдығының жоғарылығы және т.б. жарамсыз қалған қоңыр көмірдің өзін пайдаға асыруға болады. Бұл практика кезінде экономикалық шығындарды есептей отырып биобрикеттелген отын алуға мүмкіндік береді [52].

Көмір өнеркәсібінде көмірдегі күкіртті және басқа қоспаларды азайтудың бірнеше тәсілдері қолданылады [53]. Өнеркәсіп сонымен бірге көмірді өндіруден кейін де тазартудың оңтайлы әдістерін және тұтынушылары аз күкіртті көмірді пайдаланады [54, 55].

Электр станциялар түтін шығаратын газды күкіртсіздендіру жабдықтарын пайдаланады, оларды скруббер деп атайды. Сонымен қатар, көмір өнеркәсібі көмірден қоспаларды кетіретін немесе өндірілетін пайдалы энергияның бірлігіне жағылатын көмірдің мөлшерін азайтып көмірді үнемдеуді қамтамасыз ететін технологияларды әзірлеуге тырысады [56].

Негізінен  $SO_2$ ,  $NO_x$  және қатты бөлшектердің шығарындыларын азайтуға арналған әдістерді көмірдің кейбір түрлерінен сынапты азайту үшін пайдалануға болады [57]. Ғалымдар сонымен қатар көмірмен жұмыс істейтін электр станцияларынан сынап шығарындыларын азайтудың жаңа жолдарын қарастыруда [58].

Қазіргі кезде көмірдің жануынан шығатын көмірқышқыл газын азайту бойынша зерттеулер жүргізілуде. Соның ішінде бір әдіс – көміртекті алу [59-61].

Қайта пайдалану және қайта өңдеу көмірдің қоршаған ортаға кері әсерін төмендетуі мүмкін. Көмір өндіруге арналған жерлерді қалпына келтіруде қоқыс полигондары мен алаңдарды пайдалануға болады. Скруббермен жиналған көмір қалдықтардан қабырғаға арналған цемент және синтетикалық гипс сияқты бұйымдар жасауға болады. Қазіргі таңда «пайдасыз қалдық» деген ұғым жойылып, барлық өнімді тұтыну үшін дұрыс технологиялық әдістерді жасау жолға қойылған.

## **1.2 Көмірлердің микробиологиясы**

Көмір микробтарының қауымдастықтары әр түрлі экожүйелердің қалыптасуы мен қызмет етуіндегі маңыздылығына қарамастан толық зерттелмеген. Микроорганизмдер географиялық, морфологиялық алуантүрлі болады және әр түрлі экожүйелер арқылы энергия мен көміртегі көздерін зерттеуге мүмкіндік береді. Көмірдің сипаттамалары әр түрлі эндогенді физиологиялық және биохимиялық процестер арқылы жердегі био қауымдастықтардың құрамын, құрылымы мен белсенділігін бақылайтын маңызды экологиялық факторлар болып табылады. Прокариоттардың жалпы филогенетикалық құрылымы олардың функционалды және қоршаған орта жағдайларының әртүрлілігімен тығыз байланысты. Бұл саладағы метагеномды зерттеулер көмір мен оның микробиомының қасиеттері арасындағы байланысты бағалауға жол ашады. Зерттеулерге сүйенетін болсақ көмірмен ластанған жерлердегі микроорганизмдердің алуантүрлігін бақылауға болады [62, 63].

Микроорганизмдер су мен құрлықтағы экожүйелерді сақтауда маңызды рөл атқарады, олар тау жыныстарындағы, су қоймаларындағы және т.б. химиялық элементтердің маңызды биогеохимиялық айналымына қатысады. Тау жыныстары мен кен орындарының алынатын элементтері микроорганизмдермен энергия көзі ретінде пайдаланылады. Биогеотехнология - минералды заттарды алу, өңдеу және байыту кезінде микроорганизмдерді қолдану, кендерден металдарды алумен айналысады. Қоңыр көмірлер - лигнин мен гумин қышқылдарынан тұратын гетерогенді органикалық заттар. Қоңыр көмірдің пайда болуында және тұнбасында микроорганизмдердің маңызды рөліне қарамастан, көмірдегі микробтар қауымдастықтарының құрылымы, әртүрлілігі мен олардың қызметтері туралы ақпарат жеткіліксіз. Кейбір зерттеулерде *Phaenerochaete*, *Phlebia*, *Trametes*, *Bjerkandera*, *Nematoloma*, *Chrysonilia* сияқты қоңыр көмірден ферментативті белсенділіктері жоғары саңырауқұлақтар бөлініп алынған. Бұл саңырауқұлақтарда кездесетін арнайы ферменттер (лакказа, пероксидаза, марганец пероксидазасы, гидролазалар) қоңыр көмір құрамындағы лигнинді ыдыратады [65, 66]. Деграция процесі, қоңыр көмірдің деполимерленуі жоғарыда аталған саңырауқұлақтарды қоңыр көмірмен инкубациялау кезінде пайда болды. Микробтық популяциялар қоңыр көмір бетіндегі гумин қышқылдарын пайдаланылды деген болжамдар келтірілген. *Pseudomonas* sp. қоңыр көмірдің сұйытылған фракциясын ыдырататын туралы [67] және көмірдің анаэробты бактериялар құрамы туралы бірнеше зерттеу жұмыстары бар [68, 69]. Аэробты бактериялардың әр түрлі топтары (*Bacillus* sp., *Azotobacter* sp., *Mycobacteria*) қоңыр көмірді ерітіп, гуминді заттар бөледі. Қазіргі уақытта көмір микробиологиясы негізінен ферментативті белсенділігі жоғары микроорганизмдерді іздеуге бағытталған, олар химиялық шикізат ретінде әрі қарай пайдалану үшін төменгі сортты көмірлерді қоспалардан тазартуға қолданылады. Қоңыр көмірді құрайтын гумин қышқылдарын түрлендіруге қабілетті микроорганизмдерді зерттеу қызығушылық тудыруда. Бұл микробтар қауымдастығының өкілдері зертханалық жағдайда жасанды қоректік орталарда оқшаулануы мүмкін. Әр түрлі ортада өмір сүретін прокариоттар қауымдастығының 90-99%-ы жасанды ортада өсуге бейім емес, бұл олардың биогеохимиялық және экологиялық функцияларын стандартты микробиологиялық әдістермен нақты зерттеуге болмайтынын білдіреді [70]. Молекулалық биологиялық әдістер микроорганизмдердің дақылданбаған қауымдастығын анықтау мен бағалау үшін тиімді, бұл микроорганизмдердің қасиеттерін таза дақылда оқшауламай зерттеуге мүмкіндік береді. Олардың ішінде метагеномиканы, белгілі бір биологиялық жүйеден оқшауланған барлық генетикалық материалды талдауда пайдалануға болады. Метагеномдық тәсіл генетикалық ақпараттың үлкен көлемін талдауға мүмкіндік беретін ДНК нуклеотидтер тізбегін «оқуға» арналған жоғары өткізу қабілеттілігін, заманауи технологияларды дамытудың арқасында мүмкін береді. Метагеномдық зерттеулерде құрылымы прокариотты организмдердің қазіргі филогенетикалық классификациясына негізделген 16S рДНК генінің талдауы ең танымал болып табылады. Соңғы онжылдықтарда топырақтағы микробтардың құрылымы мен

әртүрлілігі және олардың қоршаған орта факторларымен байланысы метагеномика әдістерімен белсенді түрде зерттелді [71]. Алайда метагеномикада қолданылатын тәсілдер тек топырақ микробиомына негізделген. Көмірге бағытталған экологиялық генетика бойынша зерттеулер жеткіліксіз. Көмір микроорганизмдерінің экологиялық ерекшеліктерін және олардың көмір қасиеттерімен байланысын зерттеу, көмір-топырақ профилін қарастыруда маңызды болып келеді. Топырақтанудың классикалық әдістерімен жоғары өткізу қабілеттілігінің заманауи әдістерінің үйлесуі топырақ микроорганизмдерінің жаһандық экологиялық мәселелерін шешудің болашағы бар әдісі болып табылады. Микробтар қауымдастығының құрылымы жер үсті шөгінділеріне, көмірдің құрамына байланысты болады.

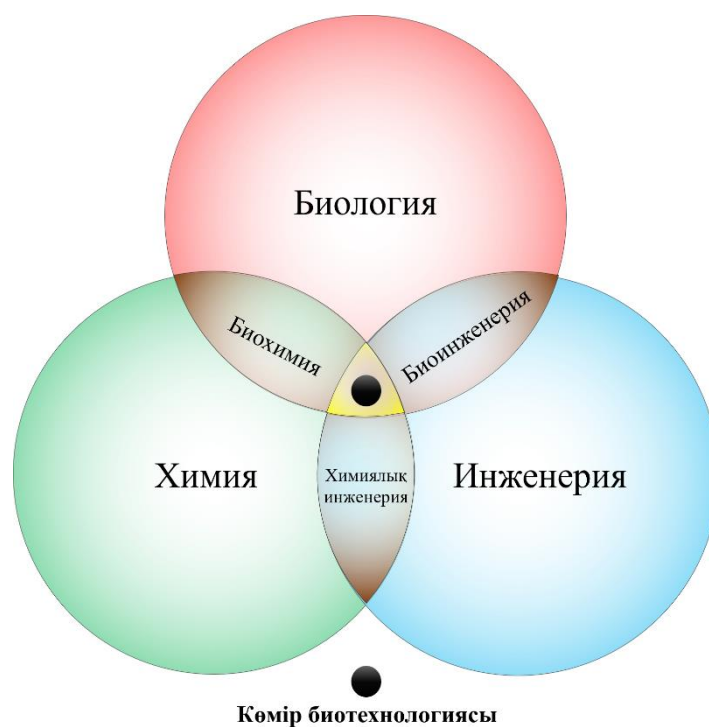
### **1.3 Қоңыр көмірлерді өндеудің биотехнологиялық әдістері**

#### **1.3.1 Қоңыр көмірлердің аэробты және анаэробты бактериялардың солюбилизациясы**

Әртүрлі мақсаттарға байланысты энергетикалық қорларды өндіру үшін қоңыр көмірдің биологиялық қайта өңделуі – оны тұрақты қолданудың ең үдемелі бағыты. Қоңыр көмірді биотехнологиялық жақсарту әдістері, яғни, биобрикеттеу арқылы осы көмірлердің модификациялануы нәтижесінде тасымалдау көлемінің ұлғаюы мен қолдану аясының артуы мүмкін болады.

Көмірді қайта өндеудің биотехнологиялық процестері, оның ішінде трансформация және конверсия арқылы түрлі қатты, сұйық және газ тәрізді отын түрлерін және өнімдерді алуға, оның техникалық-тұтынушылық ерекшеліктерін білуге бағытталуы мүмкін [72]. Биотехнологиялық әдістер әртүрлі шикізаттардан құнды өнімдерді тиімді және қауіпсіз алуға мүмкіндік береді. Қазіргі кезде, биотехнологияның жетістіктерін мұнай, мазут, көмір сынды дәстүрлі жанармайлардың алынуы мен өңделуін арттыру үшін пайдалануда [73]. Биотехнологияның ғылыми және инженерлік пәндермен байланыса отырып нақты өнім алуға мүмкіндік береді және өнім алғанға дейінге процестерді де бақылауға болады (1 сурет).

Микроорганизмдер барлық ортада кездеседі және табиғаты жағынан алуан түрлі. Олардың қоршаған ортамен нақты байланысы биосферада болып жатқан әр түрлі процестердің барысында шешуші рөл атқарады. Микробтармен минералдардың өзара әрекеттесуі зерттеушілерге табиғи ресурстарды басқаруда туындайтын қиындықтар кезінде инновациялық шешімдер әзірлеудің ерекше мүмкіндігін ұсына алады [74]. Соңғы жылдары ғылыми зерттеу орталықтарында, микроорганизмдерді интродукциялау арқылы төмен сапалы минералдарды байыту және минералды қалдықтарды қайта өндеу жұмыстары жүргізілуде [75, 76].



Сурет 1 – Көмір биотехнологиясының ғылыми және инженерлік пәндермен байланысы

Әр түрлі көмірлердің екі сатылы биосолюбилизациясына тәжірибелер жүргізілген [77]. Бірінші сатыда *Paecilomyces sp.* көмегімен оқшауланған оксигенді ортада көмірге биологиялық қайта қалпына келтіру процесі жүргізілген, екінші сатыда аноксигенді ортада ~25% концентрациясында биогаз алынған метаногенді микроорганизмдердің бірінші сатыдағы өнімдерін модификациялау зерттелген. Сондай-ақ, ацидофильді аэробты микроорганизмдердің және *Pseudomonas sp.* мен *Thiobacillus sp.* гетеротрофты бактерияларды қолдану арқылы екі сатылы биодесульфуризация жүргізуге зерттеулер жүргізілген [78].

Ылғалдылығы 20-40% Б2-Б3 класты қоңыр көмірді биологиялық қайта өңдеуге мүмкіндік бар екендігін ертеде жүргізілген зерттеу жұмыстардан көруге болады. Ғылыми зерттеулер көбінесе биобайланыс жасайтын қоңыр көмірдің биоконвертациясын іске асыратын технологиялық параметрлерін анықтауға, өнімді биобайланыстыруға қабілетті микроорганизмдерді зерттеу мен бөліп алуға бағытталған [79].

Қазба қатты отындар құрамына әр түрлі минералды, органикалық және органоминералды компоненттер жатады және олардың гетерогенді құрылымды табиғи полимерлер екендігі белгілі. Әрбір отындағы олардың арақатынасы негізінен оның метаморфизм дәрежесімен анықталады [80]. Қоңыр көмірдің биотехнологиялық конверсиясы одан әр түрлі өнім түрлерін алуға және оның тұтынушылық қасиеттерін жақсартуға бағытталуы мүмкін.

Әр түрлі көмірдің микроорганизм түрлерін пайдалана отырып жасалатын биоөндеу әдістеріне байланысты аэробты және анаэробты деп аталатын негізгі



екі түрлі технологиялық және биоинженерлік қайта өңдеу әдістеріне жіктеледі. Аэробты жағдайда, оттегінің қатысымен тотығу процестері жүреді, фракциялық деструкцияны қамтамасыз етеді, яғни қоңыр көмір құрылымын ерітеді. Анаэробты әдісте көмір суспензиясында метан мен көмірқышқыл газының пайда болуына әкелетін процестер жүреді. Микроорганизмдердің тіршілік әрекеті барысында түзілетін беттік активті заттар мен ферменттер қатты отынның органикалық және минералды бөліктерінің биоконверсия процесін жүзеге асыруға айтарлықтай әсер етеді [81, 82].

Әр түрлі көмірлерді биоконверсиялаудың негізгі бағыттары биосоллюбилизация (био-еріту), биодисульфуризация (күкірт қосылыстарынан тазарту), биодеминерализация және биогазификация арқылы энергетикалық технологияларды пайдалану болып табылады [83-85]. Биотехнологиялық тәсілдерге бактериялар мен саңырауқұлақтардың әр түрлі қауымдастықтары қолданылады және процестер мезофильді (~30°C) және термофильді (40-65°C) жағдайларында жүзеге асырылуы мүмкін [86]. El-Midany және т.б. ғалымдар жүргізген зерттеуде қоңыр көмірді қолдана отырып, оларды биоконверсияға және биоүдеріске жарамды көптеген аборигендік микроорганизмдердің болуына тікелей дәлелдер алынды, олардың тіршілік ету ортасы мен көбею факторлары зерттелді [87].

Сапасыз отынды пайдалану оны зиянды қоспалардан, әсіресе күкірті бар қоспалардан тазартуды қажет етеді. Machnikowska және т.б. еңбегінде микроорганизм дақылдардың әсерінен микробиологиялық өңдеу кезінде биотехникалық өңделген көмірдегі карбонил мен алифаттық топтардың үлесі жоғарылағаны көрсетілген [88]. Yuan H. және т.б. қоңыр көмірлердің биоконверсиялық процестерінің дамуына микроорганизмдердің көмірге әсер ету механизмі туралы зерттеулердің жеткіліксіздігі кедергі болатындығын және олардың метаболизм қабілеттері іс жүзінде әлі толық зерттелмегенін көрсетті [89]. Ackerson және т.б. қоңыр көмірді биосоллюбилизациялау үшін көмір өндіретін жерлерде оқшауланған аборигендік бактерияларды қолдану әрекетін сипаттады. Көмірлердің биосоллюбилизациясы 25°C температурада, құрамында 2% көміртегі бар қоректік ортада жүргізілді [90]. Бұл жағдайда көмірдің ерігіштігі ~ 30% болды, процестің температурасы 100°C-қа дейін көтерілгенде, ерігіштігі ~ 45% -ке дейін жоғарылаған. Қоңыр көмірді биосоллюбилиздеу кезінде ең жақсы нәтижені *Streptomyces sp.*, *Candida sp.* және *Penicillium sp.* микроорганизмдері көрсеткен. 70 күн ішінде қоңыр көмірді осы микроорганизмдердің биосоллюбилизациялау қарқындылығы 90% дейін құраған [91]. Бірқатар шетелдік ғалымдар еңбектерінде [92, 93], қоңыр көмірлерді биосоллюбилизациялаумен қатар метан газын өндірумен көмірді анаэробты биодеградациялау процестері жүргізілген тәжірибелерінің нәтижелері келтірілген. Бұл жұмыстар биотехнологияда көмір қабаттарынан метан алудың микробтық әдістерін қолдану мақсатында жүзеге асырылады.

### 1.3.2 Қоңыр көмірлерді биоөндеудің негізгі заңдылықтары

Көмір кенінің минералды және органикалық құрамына әсер ететін, микроорганизмдерден түзілетін заттар, сондай-ақ тотықтырғыш ферменттер (пероксидаза, лакказа) мен гидролитикалық ферменттер (эстеразалар), сілтілік метаболиттер мен табиғи хелаттар – биоөндеу процесінің іске асуына айтарлықтай әсер етеді. Сонымен қатар, қоңыр көмірдің құрылымды модификация механизмінің негізгі екі түрін, атап айтқанда соллюбилизация (сұйылту) мен деполимеризация процесін ажырата білу қажет. Биологиялық белсенді күнгірт сұйықтықтың түзілуіне алып келетін қоңыр көмірдің соллюбилизациясы, ферментативті емес ерудің басты түрі болып табылады және рН-тың жоғары мәндерінде (7 - 10) жүзеге асады. Үдеріс сілтілік заттар немесе хелат тәрізді, беткі белсенді заттардағы микробты түзілістермен байланысты. Кейбір гидролитикалық ферменттердің соллюбилизация жолында каталитикалық қызмет атқаруға қабілетті екендігін көрсетілген. Көмірді ыдырату гуминді заттардың молекулалық массасының азаюына әкелмейді; керісінше ол полимеризация реакцияларымен қоса жүріп, молекулалық массаның артуына септігін тигізеді. Қоңыр көмірдің деполимеризациясы рН-тың төмен мәндерінде (3-6) жүретін ферментативті үдеріс болып саналады. Бұл өз кезегінде молекулалық массасы аз, сарғыш, фульво-тәрізді қышқылдың пайда болуына жағдай жасайтын молекула байланыстарының ажырауына алып келеді [94].

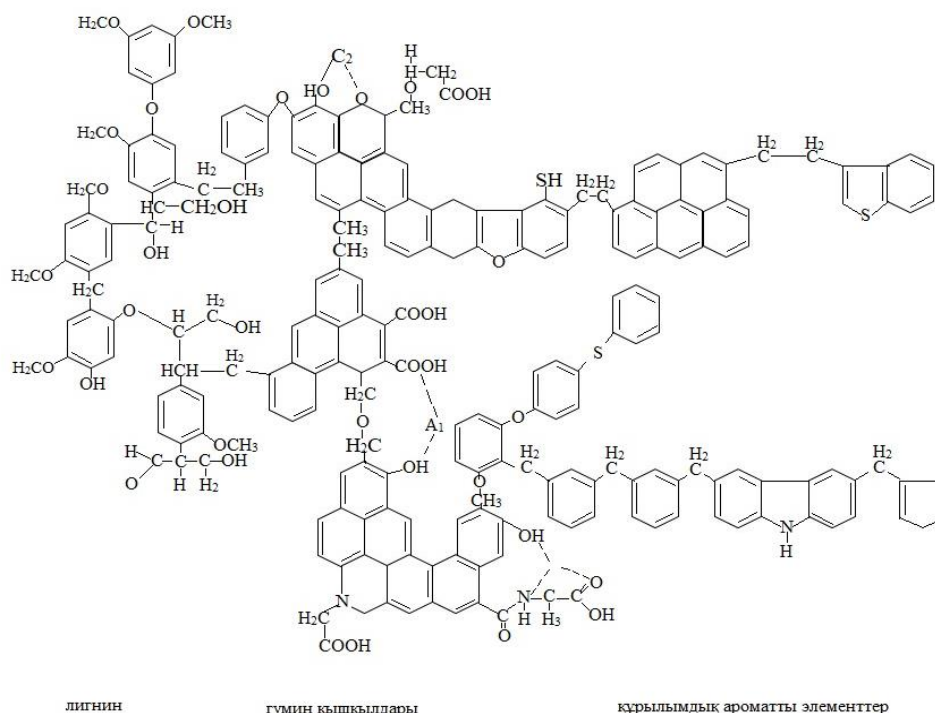
Көмірді генетикалық модифицирленген немесе аборигенді микроорганизмдерді қолдана отырып, қайта өндеудің тағы бір негізгі бағыты пиритті және органикалық күкіртті жою көмегімен энерготехнологиялық түрде қолдану үшін олардың қасиеттерін және экологиялық сипаттамаларын жақсарту болып табылады.

Биотехнологиялық тәсілді жасауда бактериялар мен саңырауқұлақтардың әртүрлі топтарын қолданады, ал үдеріс оттегінің қатысуымен мезофильді және термофильді жағдайда да орындала беруі мүмкін. Көмірді микробиологиялық және биотехнологиялық зерттеулер негізінен зат алмасу белсенділігі жоғары микроорганизм штамдарын зерттеуге бағытталған [95, 96]. Көмірді таңдалған микроорганизмдермен өндеу, негізінен құнды химиялық шикізат ретінде одан әрі пайдалану үшін төменгі сортты көмірлерді тазартуды және кондициялауды қамтиды. Сондықтан қатты отынның органикалық бөлігін терең трансформациялауға қабілетті микроорганизмдер үлкен қызығушылық тудырады. Қазіргі таңда көбірек зерттелетін процестің бірі – биодесульфуризация, яғни көмірден күкіртті алып тастау негізінде жаңа биотехнологиялық әдістер. Ғылыми-зерттеу орталықтары көмірден күкіртті бөліп алу және көмірдің күлін азайту үшін жаңа әдістер жасаған. EniChem Anic, Balle, Consolidated Reduction сияқты және басқа да ғылыми-өндірістік компаниялар күлді күкіртсіздендіру бойынша микроорганизмдердің белсенді штамдарын бөліп алумен және зерттеумен айналысады [97]. Әр түрлі реакторлардағы *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans*, *Sulfolobus acidocaldarius* және *Sulfolobus brierleyi* сияқты бактерияларды пайдалана отырып

көмірді биодесульфуризациялауға бағытталған зерттеулер әдебиеттерде келтірілген [98].

Тас көмір мен қоңыр көмірдің үлгілерінен бөлініп алынған *Streptomyces sp.*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida*, *Xanthomonas sp.* сияқты микроорганизмдердің табиғи штамдардың әртүрлі көмірдің биосолублизациялау қабілеттіліктері көрсетілген [99]. Құрамына симбиотикалық комменсал-микроорганизмдер болатын биоценоздар мен микробтар экожүйесі табиғи биодесульфуризаторлар болып саналады. *L. ferrooxidans*, *Thiobacillus organoparus*, *T. thiooxidans* және *T. acidophilus* дақылдарының ортақ әсер етуі кезінде күкірттен тазару белсенділігінің артатыны зерттеу жұмыстарында кездеседі [100-103].

Көмірді отын ретінде жағу үшін оны зиянды бейорганикалық қосылыстардан тазалау қажет болады. Бейорганикалық күкірт *T. ferrooxidans* және *S. acidocaldarius* тәрізді хемолитотрофты күкіртқышқылды микроорганизмдердің әсерінен жойылуы мүмкін. *T. ferrooxidans* күлсіздендіру мен десульфуризация мақсатында пайдаланғанда тотыққан көмірдің үлесі 30 мин ішінде 70%-ға артатыны зерттеулерде дәлелденген [104, 105]. Саңырауқұлақ арқылы күкіртсіздендіру зерттеу жұмыстары Батыс Еуропа, Оңтүстік-Шығыс Азия және АҚШ елдерінде жүргізілген. Саңырауқұлақ тәрізді микроорганизмдер бактерияларға қарағанда көмірдің үлкен көлемде биоерігіштігін қамтамасыз ететіні көрсетілген [106].

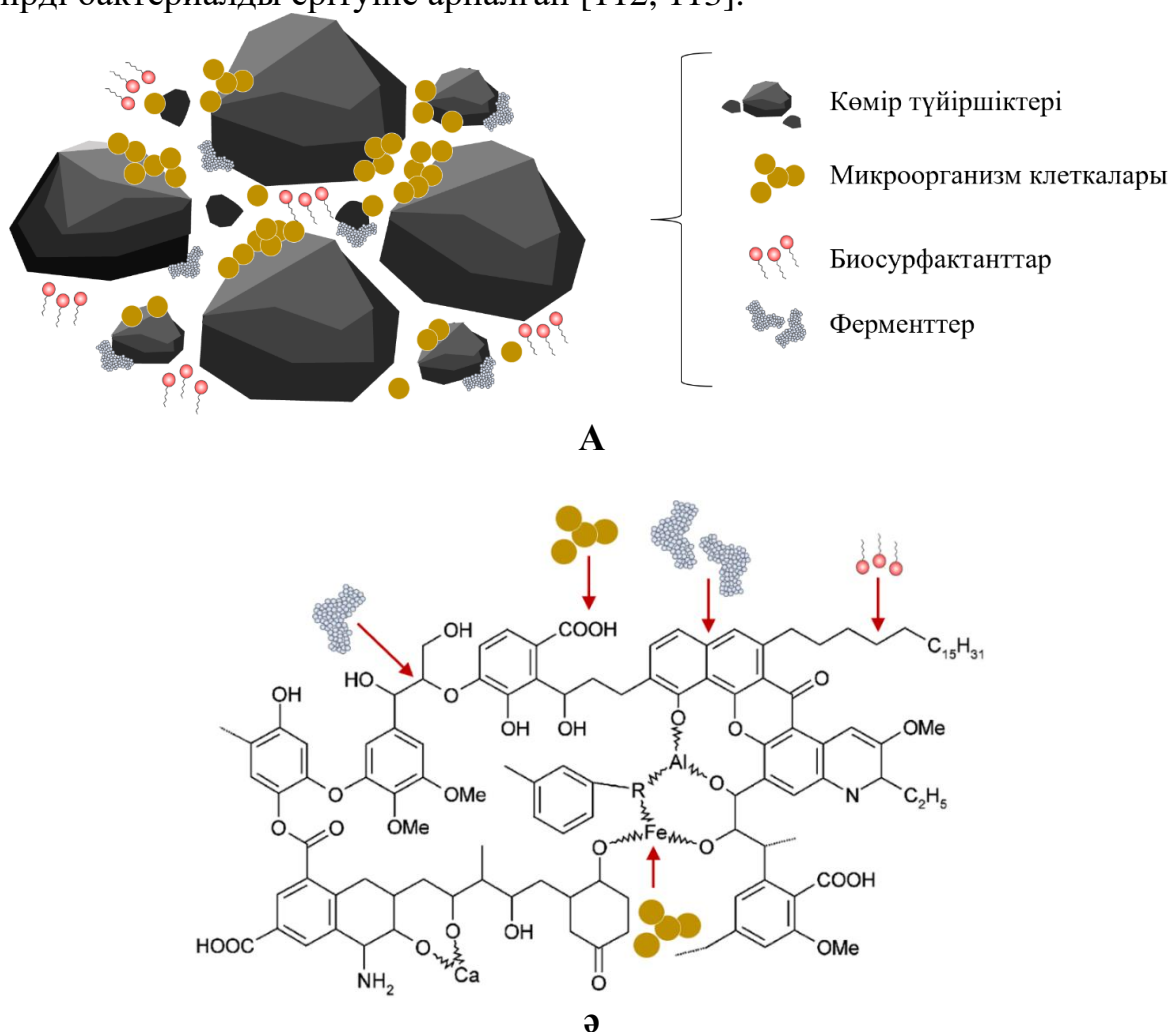


Сурет 2 - Қоңыр көмірлердің құрылымы

Гуминді заттар (ГЗ) биологиялық материалдардың ыдырауы нәтижесінде пайда болған гетерогенді ұсақ молекулалардың жоғары полярлы кешендері ретінде қарастырылады. Қоңыр көмір құрылымының сызбасын бойынша оның

құрамы 3 бөліктен тұрады (2 сурет). Көптеген ГЗ молекулалық массасы бейтарап немесе сілтілік рН мәндеріндегі көптеген өзара әрекеттесулердің нәтижесі болып табылады (мысалы, Ван-дер-Ваальс күштері, сутектік байланыстар, сонымен қатар  $\pi$ - $\pi$  және СН- $\pi$  өзара әрекеттесуі) [107]. ГЗ-дың негізгі гумустық фракциялары гумин қышқылдары, фульво қышқылдары және гумин. Олар құрылымдық жағынан байланысты, бірақ бір-бірінен құрамы бойынша ерекшеленеді, әсіресе олардың молекулалық массасына, сондай-ақ қазіргі функционалды топтардың саны мен таралуы әр түрлі болады [108]. Қоңыр көмірден алынған ГЗ қышқыл карбоксилдің, хош иісті сақиналардың және фенол топтарының мол қоры болып келеді [109].

Төмен сапалы көмірлер көбінесе лигнинді өзгертетін микроорганизмдермен метаболизденеді, өйткені олар лигноцеллюлоза тәрізді құрылымға ие (3 сурет). Зерттеулердің көпшілігі саңырауқұлақтардың көмірді, оның ішінде *Trametes versicolor*, *Trichoderma atroviridae*, *Nematoloma frowardii*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Penicillium decumbens*, *Fusarium oxysporum* штамдарының биосолублизациядағы маңызды ролін көрсеткен [110, 111]. Ал бірқатар зерттеулер *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Rhodococcus* және *Bacillus* түрлерінің көмірді бактериалды ерітуіне арналған [112, 113].



Сурет 3 – Көмір биосолублизациясын жүргізетін механизмдер: (а) көмір-клетка деңгейінде, (ә) көмірдің құрылымдық деңгейінде.

Көмірдің микробтармен ыдырауының физиологиялық және дақылдық қасиеттерін жүзеге асыруда айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізілген, алайда негізгі биохимиялық және молекулалық механизмдер толық зерттелмеген [114]. Ең алдымен, зерттеу қоңыр көмір үлгілерінің биосолюбилизациясын жүргізуге, сондай-ақ оның өнімдерін дәстүрлі әдістермен алынған өнімдермен сипаттауға және салыстыруға бағытталған. Гумин қышқылдарын *Bacillus* бактериялары түзетіндігі анықталған, мұнда көмірдің органикалық бөлігі микроорганизмдер үшін көміртегі мен азоттың жалғыз көзі ретінде қарастырылады. Кей ғылыми еңбектердің авторлары саңырауқұлақтардың кейбір өкілдерінің көмірдің органикалық заттарын көміртегі мен азотпен қоректің жалғыз көзі ретінде қолдана отырып, оларды белсенді түрде ыдырату қабілеттерін зерттеді [115, 116]. Ең белсенді саңырауқұлақтар *Phanerochaete* тұқымдасының өкілдері екендігі анықталынды. Көмірі бар агар орталарында саңырауқұлақ колонияларының айналасында гумустың түсінің өзгеру аймақтары байқалған. Басқа ғылыми жұмыстар сонымен қатар көмірден оқшауланған саңырауқұлақтар мен бактериялардың кейбір түрлері гумин қышқылының азотын қолдануға қабілетті екенін көрсетті [117]. Гумин қышқылдарының биотрансформация процесі қоректік орталарда әртүрлі жағдайларда жүреді. *Cupriavidus sp.*, *Pseudomonas sp.* және *Alcaligenes sp.* туыстарының өкілдері, гумин қышқылы молекуласының бүйір тізбектерін ғана ажырататыны көрсетілген [118]. Сонымен қатар, *Pseudomonas sp.* әсерінен гумин қышқылының ароматты қосылыстардың фрагментінің ыдырауы көрсетілген [119]. Ыдырау өз кезегінде ортаның көмірмен түсін өзгерту арқылы бағалаған. Қоректік ортаға көмір суспензиясы енгізіліп, 12 күн бойы инкубациялап, содан кейін гуминдік заттарды қолдануға қабілетті микроорганизмдерді таңдау үшін суспензияға дақыл егілген, *Bacillus* және *Gordonia* туысының микроорганизмдердің дақылдары бөлініп алынған.

Бактериялардың гумин қышқылдарын бөлу процесі және қоршаған ортаның оңтайлы жағдайларын іздеуге негізделген жұмыстар үлкен қызығушылық тудырады. Стерильді көмір суспензиясын қоректік ортаға қосу, *Bacillus mycoides*, *Microbacterium sp.*, *Acinetobacter sp.* және *Enterobacter aerogenes* тектес микроорганизмдердің гумин қышқылдарын өндіруіне ықпал етеді. Көмірдің органикалық бөлігінің микроорганизмдермен түрлендіру механизмі туралы бірнеше көзқарастар бар. Кейбір авторлардың пікірі бойынша гумин қышқылдарының микроорганизмдер әсеріне бейімділігі – көптеген гетерогенді бірліктерден тұратын молекулалардың аморфты формасына байланысты анықталады [120, 121]. Оларды конверсиялау үшін көптеген микроорганизмдерде болатын түрлі ферменттер жүйесі қажет. Әр түрлі көздерден алынған гумин қышқылдарын, соның ішінде тотыққан көмірлерді талдау ароматты және фенолды қосылыстардың сапалық құрамының ұқсастығын көрсетеді.

Гумин қышқылдарының микроорганизмдер арқылы көмірден қарқынды бөлінуі ортадағы белсенді ферменттердің жинақталуымен түсіндіреді, олар өз кезегінде гумустың бөлінуін катализдейді. Бірқатар авторлардың пікірі бойынша [122], гумин қышқылдарының түзілуімен көмірдің биоыдырауы көмірде

гумустың әртүрлі формалары мен концентрацияларының болатындығымен расталады, олар қоңыр және тотыққан көмірлердің белгілі бір типтеріне тән.

Органикалық заттар, оның ішінде гумустық заттар дәстүрлі және жетілдірілген талдау әдістерін қолдана отырып, толық зерттелген. Олардың ішінде FTIR және UV-Vis әдістері қоңыр көмірден алынған гумустық заттарды спектрлік сипаттаудың сенімді құралдары ретінде қарастырылады [123]. Соңғы кездері флуоресценттік спектроскопия танымал болуда, өйткені ол көптеген артықшылықтарға ие, атап айтқанда, өте сезімтал, жылдам және үлгілердің концентрациясының кең ауқымында қолданылады [124]. Сонымен қатар, гуминдік заттардың толық құрылымын көрсететін қосымша мәліметтерді алу үшін, әртүрлі физико-химиялық және микроскопиялық әдістерді қолдануға болады [125].

Жоғарыда келтірілген мәліметтерге байланысты, қоңыр көмірлердің биоөндеудің негізгі заңдылықтары мен параметрлерін, олардың негізінде гуминдік заттардың түзілуін және олардың физико-химиялық қасиеттерін талдаудың мәселесі өзекті болып отыр.

#### **1.4 Қоңыр көмірлерден биобрикет алудың жолдары**

Қоңыр көмір (лигнит) – жоғары ылғалдылықпен, ұшқыш заттарымен және жылу құрамының төмендігімен сипатталатын қазба минералы, әрі әртүрлі функционалды топтардан тұратын гетерогенді құрылымға ие [126]. Көптеген жылдар бойы қоңыр көмір бүкіл әлемде электр және жылу энергиясын өндіру үшін отын ретінде қолданылып келеді [127]. Оның өздігінен жануы және ылғалдың көп мөлшерде болуы оны отын ресурсы ретінде қолдану қасиетін төмендетеді [128]. Сонымен қатар, төменгі сортты көмірлердің жануы, көміртектенуі және газдануы улы қосылыстар мен зиянды заттардың бөлінуіне алып келеді және қоршаған ортаға үлкен қауіп төндіреді [129, 130]. Нәтижесінде, қоңыр көмірді өндіру мен пайдаланудың тиімділігін барынша арттыратын даму стратегиясын әзірлеу, кезек күттірмейтін міндет болып табылады.

Урбанизацияланған аймақтардағы қазіргі экологиялық жағдай коммуналдық қатты отынды жағу сапасына қойылатын талаптарды күшейтіп отыр, сонымен бірге муниципалдық қызметтерде жағылатын отынның құрамында күкірт мөлшері, түтіні аз және гранулометриялық бөлшектердің қажетті мөлшері болуы керек [131]. Түтінсіз отын алудың әлемдік тәжірибесінде дәстүрлі технологиялық әдістер – қоңыр көмірді байланыстырғыш заттармен биобрикеттеу процесін қамтитындығын көрсетеді [132]. Бірқатар технологиялық шешімдер көмірдің пластикалық қабатының немесе қолданылған органикалық байланыстырғыштың әсерін қолдану арқылы көмірді престау әдісіне негізделген [133]. Ғылыми зерттеулер кешені перспективалық микроорганизмдерді іріктеудің технологиялық параметрлерін жобалауға, қоңыр көмірлердің биоконверсиясы арқылы биосурфактанттарды құруға, олардың биосолублизациясын зерттеуге, нәтижесінде алынған биобайланыстырушы дайындаудың технологиялық параметрлеріне бағытталған түтінсіз отын алу мүмкіндігін зерттеуге бағытталған [134-136].

Микробтық шығу тегі бар, биосурфактанттармен биобрикеттеу технологиясы қоңыр көмірлерге қолданылады, бұл зиянды шығарындылардың минималды мөлшерін қалыптастыру кезінде жанатын, жеткілікті беріктігі бар биобрикеттелген отын алуға мүмкіндік береді. Әр түрлі зерттеулер биобрикеттеу үшін ылғалдылығы 20-40% болатын Б2-Б3 класындағы қоңыр көмірлерді қолдану мүмкіндігін көрсетеді [137].

Түтінсіз отын алу мен биобрикеттеу саласының, дайындалған ұсақ көмірді тығыздау негізінде жасалған, көмірдің өз пластикалық қабатын қолдана отырып немесе табиғаты әртүрлі байланыстырушы заттардың көмегімен жасау сияқты технологиялық шешімдері бар [138]. Дегенмен, осы уақытқа дейін Б2-Б3 тобына жататын қоңыр көмірге негізделіп жасалған биобрикеттердің өндірісі посткеңестік кезеңде жүзеге асырылмаған. Мұның негізгі себебі, бұл көмір түрлері берік биобрикеттерді алуда қажетті пластикалық қасиетке және қалыптастыру қабілетіне ие емес [139]. Бірақ, әртүрлі деңгейдегі экологиялық және энергетикалық мәселелердің шиеленісуіне байланысты қазіргі таңда зерттеушілердің алдында қоршаған ортаға зиянсыз зерттеулерді жүргізіп, оларды энергия үнемдегіш технологиялардың реестріне енгізудің қажеттілігінде көптеген сұрақтарды туындатып отыр [140, 141].

Қазіргі таңдағы маңызды мәселелердің бірі, сорттық әрі сапалы отынның тапшылығы болып табылады [142]. Бұл көп жағдайда оттықтағы үгінді мен ұсақ заттарға бай қарапайым және байытылмаған көмірлердің көп мөлшерде жануына әкеліп соғады, нәтижесінде пештердің жылулық коэффициентінің едәуір төмендеуіне, содан кейін отынның жылулық энергиясының босқа жоғалып кетуіне себеп болады. Сондықтан жетілдірілген сорттық көмір отынының ресурстарын арттырудың заманауи және тиімді жолдарын жасау, олардың нәтижелерін жүзеге асыру үлкен ғылыми-экономикалық маңызға ие [143, 144]. Әртүрлі класқа жататын қоңыр көмірлер негізінде түтінсіз қатты отынды алу технологиясы өндірісте жүзеге асырылмаған, оның себебі биобрикеттеуде қолданылатын байланыстырушының сапасының болмауы, сонымен қатар жану жылулығының төмендігі және көмір күлінің көп болуы [145, 146].

Қазақстан халқының көпшілік бөлігі ауыл аймақтарда өмір сүреді, сондықтан коммуналды-тұрмыстық тұтынуға қажетті экологиялық таза және қауіпсіз отындық биобрикеттерді өндіру мәселелері үлкен энергетикалық және экологиялық мағынаға ие. Қатты отын экологиялық қауіпсіз өнім болғандықтан және түтін бөлу қасиеті төмендігіне байланысты, ол әртүрлі ғимараттарды, әсіресе өндірістік және қызметтік-тұрмыстық аудандарды (жылыжай, көшетхана, шатыр, монша, бассейн, көкөніс шұңқырлары, жылытылған топырақтар және т.б.) жылытуда таптырмас отын бола алады [147-149].

Мұндай стратегияны іске асырудың тиімді жолдарының бірі – өндірілген шикізатты экологиялық таза коммерциялық өнімге «биобрикеттерге» биоконверсиялау [150, 151]. Бұған Леңгір және Ой-қарағай көмір кен орындарының қоңыр көмірлерінің биотрансформациясы ықпал етеді, бұл көмірдің құрылымы мен қасиеттерінің биобайланыстырушы заттардың (гумин қышқылдары бар биосурфактанттар) әр түрлі әсерінен табиғи өзгеруі

нәтижесінде, мақсатты қатты биобрикетді алуға мүмкіндік береді. Биобрикеттерде байланыстырушы қасиеттердің болуы бастапқы отынмен салыстырғанда, биотрансформация өнімдерінде, негізінен гуминдік заттардың көбеюімен байланысты. Бұл жағдайда қатты көмірлердің пластикалық қасиеттерінің жоғарылауына және байланыстырушы сипаттамалардың пайда болуына ықпал ететін көптеген полярлық функционалды топтардың түзілуі байқалады [152].

Өндірістік қоры 34 000 мың тоннаға бағаланған Леңгір көмір бассейнінің қоңыр көмірлері орташа күлділігімен және күкірттің айтарлықтай мөлшерімен сипатталады. Леңгір қоңыр көмірінен энергияны үнемдейтін қатты отын алудың орындылығын анықтайтын тағы бір себеп – олардың орташа ылғалдылығы [153].

Коммуналдық-тұрмыстық және өнеркәсіп секторында жанатын көмір отынының күкірт қосылыстары мен түтіні аз, күл көлемі төмен және құрылымды-гранулометрлі құрамының болуы өнімдерді «түтінсіз отын» немесе «биобрикеттер» деген атауларға біріктіреді [154, 155].

Қазіргі уақытта биобрикет пен пеллет негізінде жасалған, жақсартылған қатты отынды әлемдік өндіріс орындары жылына бірнеше жүз млн. т (әлемдік көмір өндірудің шамамен 17%) өндіреді және биобрикеттің ең үлкен үлесі қоңыр көмірге келеді. Бұл бағытта көш бастаушы елдер қатарына инфрақұрылымы жақсы дамыған, лигнитті пайдалану мен өндіру көлемі көп мемлекеттер (Германия, Ұлыбритания, АҚШ, Корея, Жапония және Австралия) жатады [156, 157].

Көптеген мемлекеттер тұрмыстық қатты және өнеркәсіптік отындар өндіруде үгітілген және штемпельдік преске байланыспаған Б1 класты көмірден алынатын түрлі брикет шығарумен ғана шектеледі. Мұндай жолмен алынған брикеттер түтінсіз отын алудың жаңа технологиясын жасап жатқан ЕО елдерінде төмен сапалы көмірден алынғандықтан толықтай түтінсіз және экологиялық таза өнім бола алмайды [158, 159]. Мұндай мемлекеттерде жоғары жану жылуы бар, жақсы ерігіштікке ие, көлемі тұрақты, беріктігі жоғары, күкірті мен түтіні аз, ылғал мен температураға төзімді болып келетін коммуналдық-тұрмыстық отын өндіру жолға қойылған. Бұл келтірілген сараптамалар тұрмыстық және өнеркәсіптік отын өндірудегі ғылыми-техникалық және энергетикалық прогрестің бағыты брикет түріндегі түтінсіз қатты отын алу екендігін көрсетеді [160-163]. Аталған өндіріс көптеген елде, оның ішінде Қазақстанда да жолға қойылмаған.

Микробтық биосурфактанттармен биобрикеттеу технологиясы әдетте қоңыр көмірлерге қолданылады, бұл зиянды шығарындылардың минималды мөлшерін қалыптастырумен, жанатын жеткілікті беріктігі бар биобрикеттелген отын алуға мүмкіндік береді. Зерттеу жұмысы биобрикеттеу үшін ылғалдылығы 20-40% болатын В2-В3 класындағы қоңыр көмірлерді қолдану мүмкіндігін көрсетті [164].

Маркетологтардың зерттеулеріне сәйкес, жақын арада, түтінсіз биобрикеттелген отынға әлемдік сұраныстың, оның ішінде Қазақстанда да артуы күтілуде [165]. Біздің елде бұл нарық әлі қалыптасқан жоқ және оны дамытуды



қажеттілігі туындап отыр. Тұтынушылар биобрикет өнімінің салмағының өзіндік құны бойынша ғана емес, сонымен бірге шығарылған жылу энергиясының мөлшері бойынша төлейді [166]. Бүгінде биобрикеттерге арналған қазақстандық стандарттар жоқ. Өндірушілер батыстық стандарттарды басшылыққа алады. Еуропада, сондай-ақ бірыңғай еуропалық стандарт жоқ, әр түрлі елдерде олар бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленеді [167].

Биобрикеттеу процесі шикізаттың көлемдік калория мөлшерін едәуір арттыра алады. Пайдалы жанғыш қасиеттердің максималды мөлшерінде концентрация биомасса - биобрикеттеудің негізгі мақсаты [168-173]. Нәтижесінде калориялығы бойынша қарапайым отыннан асып түсетін тығыз, экологиялық таза отын алынады. Брикеттердің үлкен артықшылығы – 4 сағат ішінде жану кезінде температураның тұрақтылығы. Биобрикеттер минималды түтінмен жанып кетеді, ұшқын шығармайды. Бұл кезде жану кезінде тұрақты температура қамтамасыз етіледі [174-176]. Брикеттер – негізгі өндіріс үдерісінде пайда болған биомассаның қалдықтары негізінде цилиндрлік, тік бұрышты немесе кез-келген басқа пішіндегі престелген өнімдер. Олардың ұзындығы (әдетте 100-300 мм) диаметрінен бес есе аспауы керек. Әдетте, ол 60-75 мм құрайды [177-181].

Брикеттердің артықшылықтары: ұзақ жану уақыты – қарапайым отынмен салыстырғанда, оттыққа үш есе аз кіргізуге болады. Брикеттер минималды түтінмен жанып кетеді, ұшқын шығармайды. Брикеттердің артықшылығы - жанудың бүкіл кезеңіндегі тұрақты температура (30 минуттан 4 сағатқа дейін). Тек бір брикет төрт сағат бойы жанып кетуі мүмкін - қарапайым отынмен немесе көмірмен мұндай нәтижеге жету қиын. Брикеттердің қосымша артықшылығы - олар түтін мен күйесіз жанып кетеді. Жану өнімдері (күл) экологиялық таза тыңайтқыш ретінде де қолданыла алады; жоғары жылу мөлшері - брикеттерінің калориялығы қарапайым отынға қарағанда жоғары және көмірдің калориялығына тең [182-184].

Қазақстан аумағында өте маңызды көмір қорларының болуы көмір энергиясының басым дамуына ықпал етті. Еліміздің жылу электр станциялары (ЖЭС) үшін негізгі жылу көмірі – жоғары күлді Екібастұз көмірі, оның ЖЭС көмір балансында үлесі шамамен 90% құрайды. Бұл кезде барлық көмірде жұмыс істейтін ЖЭС ұнтақталған көмір алау қазандықтарымен жабдықталған. Екібастұз көмірінің төменгі сортты көмір екенін де ескеру қажет [185]. Дәстүрлі қазандықтарда және көмірдің ұнтақты жануымен төмен сортты көмірлерді жағу кезінде мұндай отынның тиімді жануымен байланысты бірқатар мәселелер туындайды және күлдің, азот оксидтерінің және күкірттің шығарындыларын азайтуға байланысты экологиялық сипаттамаларды сақтау қажеттілігі туындайды. Осыған байланысты әлемде қатты отынды жағудың жаңа технологиялары үнемі қарастырылады және бұл көмірдің тиімді жануын ғана емес, сонымен бірге қажетті экологиялық сипаттамаларын да қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [186].

## **1.5 Қоңыр көмірлер негізінде биобрикет өндірісінің қазіргі жағдайы мен болашағы**

Биобрикет өндірісінің әлемдік нарығы биоэнергетиканы дамытудың мемлекеттік бағдарламалары арқасында дамиды. Алдағы онжылдықтарда әлемдік отын және энергияның өндірісінде, биоэнергетиканың үлесі үнемі артып отырады. Дамыған және дамушы елдер биоэнергетиканың дамуының әр түрлі сатысында. 2001 жылы ғаламдық энергия тұтыну шамамен жанармай эквивалентімен 10,2 гигатон болды. Жаңартылатын биотын үлесі, биоэнергетиканы, кіші гидроэнергетиканы, жел энергетикасын, гелиоэнергетика және толқын энергетикасын қоса алғанда – 2,2 % құрайды [187]. Осылардың ішінде биоэнергетикаға – 68% тиесілі. Дүниежүзілік дәстүрлі немесе заманауи түрдегі биомассадан өндірілетін энергияның үлесі 14% құрайды, ал әлеуеті дамушы елдер үшін 90%, дамыған елдер үшін 20% жоғары деп бағаланады. Бүгінгі таңда әлемдік ауқымда энергияны пайдалану және энергияны дамытудың бірнеше болжамды сценарийлері бар. Дүниежүзілік энергетикалық кеңестің (ДЭК) болжамына сәйкес, 2050 жылы энергияны тұтыну 1993 жылмен салыстырғанда екі еседен астамға артады. Сонымен бірге энергияға деген қажеттіліктің 40%-дан астамы жаңартылатын энергия көздерімен өтелетін болады, оның 32%-ы биоэнергияның үлесі болады. ЕО биоэнергиясын дамыту саясаты жаңартылатын энергияның үлесін арттыруға бағытталған. Еуропалық Комиссияның шешімі бойынша 2020 жылдан бастап ЕО елдері тұтынатын энергияның 20% жаңартылатын көздерден өндірілуде [188, 189].

Әлемдік деңгейде тұрақтылық талаптары декларативті болып табылады. 1992 жылы Рио-де-Жанейрода өткен Дүниежүзілік саммитте бірқатар елдердің басшылары тұрақты даму тұжырымдамасын қабылдады, оның қажеттілігі 2002 жылы Йоханнесбургте өткен БҰҰ-ның Дүниежүзілік саммитінің декларациясымен расталды. Барлық елдер ұмтылатын тұрақты даму мемлекеттің экономикалық жағдайына, оның технологиялық деңгейіне, қоғамды ұйымдастырудың жетілуіне негізделеді, бірақ бұл факторлар қоршаған ортаның қабілетіне қарай жедел қажеттіліктерді ғана емес, сонымен бірге болашақта күтілетін қажеттіліктерді де міндетті түрде қанағаттандыруды ескеруі керек. Басқаша айтқанда, тұрақты дамудың мақсаты болашақ ұрпақтың қажеттіліктерін, қазіргі таңдағы деңгейден төмен емес деңгейде қанағаттандыру болып табылады. БҰҰ-ның қоршаған орта және даму жөніндегі конференциясы (1992 ж.) энергетикалық мәселелерге басым назар қоймағанымен, олар «21 ғасырдың күн тәртібі» құжатының қорытынды бөлімдерінде энергетикалық мәселелерін атаған болатын [190].

2000 жылы Окинавадағы сегіз индустриалды мемлекет басшыларының кездесуінде жаңартылатын энергияны дамыту бойынша арнайы міндеттер тұжырымдалды. Бұл міндеттер 2001 жылы тұрақты даму жөніндегі комиссияның 9-сессиясында, 2002 жылы Йоханнесбургте өткен БҰҰ-ның тұрақты даму жөніндегі Дүниежүзілік саммитінде және басқа да ірі халықаралық конференцияларда түзетіліп, толықтырылды. Бұл конференциялардың мақсаты мен нәтижесі жаңартылатын энергия көздерінің әлеуетін жаһандық және

аймақтық тұрғыдан бағалау және олардың тұрақты дамуының стратегиялық бағыттарын қалыптастыру болды [191, 192].

2006 жылы Германия Министрлер Кеңесі биобрикет өндірісінің негізгі тұрақтылық критерийлерін анықтауға бағытталған жобаны бастады. Нәтижесінде 2007 жылға қарай жалпыеуропалық RED (Radio Equipment Directive) енгізумен бұрын жойылған Биомасса тұрақтылығы туралы ереже (BSR) қайта әзірленді. Алайда, Германия өзінің заңнамалық базасын сол кезде кеңес беретін RED талаптарына сәйкестендірген бірінші ЕО мемлекеті болды. Германия сонымен қатар ISCC (International Sustainability and Carbon Certification), биобрикетның тұрақтылығы мен көміртегі ізінің халықаралық сертификаттау сызбасын әзірлеуге қолдау көрсетті, ол сызба алғаш рет RED талаптарын орындау үшін ұлттық деңгейде 2010 жылы танылды және қабылданды. 2011 жылы Германияда тағы бір сертификаттау сызбасы - REDcert қабылданды. 2015 жылдан бастап Германия биобрикет өндірісін көлемді қондырғылардан кәдімгі көмірқышқыл газы шығарындыларының квоталарына ауыстыруға көшті, бұл биобрикет үшін парниктік газ балансының маңыздылығын едәуір арттырды [193].

Бельгия үкіметі тұрақтылық критерийлерін 2006 жылы электр энергиясын жаңартылатын көздерден өндіруді қолдаудың аймақтық бағдарламасына енгізді. Фламанд аймағында өндірістің қосымша өнімі болып табылатын биомасса (мысалы, ағаш немесе целлюлоза-қағаз өндірісінде пайдалануға мүмкіндігі бар ағаш қалдықтары) «жасыл энергия» ретінде сертификатталуға жарамады. Биомассаны тасымалдау және алғашқы өңдеу үшін пайдаланылатын энергия «жасыл энергия» ретінде сертификаттауға жататын энергия көлемінен шығарылмады. Брюссель мен Валлон облыстарында биоотыннан шығатын парниктік газдардың шығарылуының төмендеуі аймақтағы ең жақсы табиғи газ электр станциясымен салыстырылды және тек осы көрсеткіштер арасындағы айырмашылық «жасыл» энергия ретінде сертификатталды [194, 195].

2008 жылдың сәуірінен бастап Ұлыбританияның, Жаңартылатын көлік отыны бойынша міндеттеме шеңберінде, Жаңартылатын отын агенттігіотын жеткізушілері үшін биоотынға арналған есеп беру талаптарын энергетикалық биомасса өндірісінің қазіргі экологиялық және әлеуметтік тұрақтылық талаптарына сәйкес келуі үшін енгізді [196].

Нидерландыда биомассаны өндіру мен тұтынудың барлық түрлеріне тұрақтылыққа талдау жасалды. 2007 жылы қоршаған орта жөніндегі үкіметтік комиссия биомассаны биоэнергия үшін (қатты, сұйық және газ тәрізді отын үшін) пайдаланудың тұрақтылық қағидаттарының тізімін жариялады [197].

АҚШ-та ЕО-ға ұқсас биоэнергияның тұрақты дамуы саласында мемлекеттік реттеу және бақылау жүйесі бар. Мысалы, АҚШ-тағы жаңартылатын жанармай стандарты әдеттегі отынмен араластырылуы керек әр түрлі биоотынның мөлшерін анықтайды. Бұл бағдарлама 2006-2022 жылдарға арналған 2005 жылғы «энергетикалық саясат» туралы заңмен біріктіріліп, 2007 жылғы «энергетикалық тәуелсіздік» және «қауіпсіздік» туралы заңмен кеңейтілді. 2022 жылға қарай

пайдаланылатын биоотынның жалпы мөлшері 36 млрд. галлонға (136 млрд. литр) дейін өседі деп күтілуде [198].

Көмір Қазақстанның негізгі энергия көзінің бірі. Көмір бұл макромолекулалық органометалды қосылыс тәрізді жаңа отын элементтері мен конденсаторларды, жел диірмендері, күн батареялары, сорбенттер, нанокөмпозиттік материалдар өндіруге арналған энергия мен жаңа материалдар көзі. Қазіргі кезде көмір өндіретін кәсіпорындар үшін кезек күттірмейтін міндет: өндірістің рентабельділігі тек тау-кен өндірісі ғана емес, сонымен қатар көмірді терең қайта өңдеу. Мұндай стратегияны іске асырудың тәсілдерінің бірі – өндірілген шикізатты жоғары дәрежелі құны бар коммерциялық өнімге түрлендіру. Көмір өнімдерінің мақсатына сәйкес оны екі тәсілмен өңдеуге болады. Бірінші бағыт – отын ретінде пайдалану. Екінші бағыт – бұл өндірілетін өнімнің сапасыз бөлігін де өндіріске енгізу, пайдаға асыру [199].

ТМД елдерінің ішінде Қазақстан көмірдің қоры мен өндірісі бойынша үшінші орын, жан басына шаққандағы көмір өндірісі бойынша бірінші орында. Республикада көмір өндірудің ең үлкен көлемі (96,2%) орталық (Қарағанды облысы) және солтүстік-шығыс (Павлодар облысы) аймақтарына жүргізіледі. 2003 жылы Қазақстандағы көмір экспорты 25,7 млн. т. құрап, жалпы өндірісі 89 млн. т. асты [200]. Қазіргі кезде Қазақстан әлемдік нарықта, сондай-ақ алғашқы ондықта көмір өндірушілердің ірі экспорттаушылар ондығына кіреді. Республика әлемдегі жалпы көмір экспортының шамамен 3% -ын қамтамасыз етеді. Жыл сайын тек Қазақстанда ғана емес, бүкіл әлемде көмірге деген сұраныс артуда. Кейбір мәліметтер бойынша [201], дамушы бірқатар елдерде көмірге деген сұраныс жыл сайын 6%-ға өседі. Көмір тұтынудың өсуі электр және жылу энергиясын көбірек өндіретін қажеттіліктен жылу электр станцияларының аздығынан туындайды. Демек, көмір өндіру және жаңа көмір кен орындарын игеру қарқынды ұлғаюда.

Баламалы энергия көздерін іздеу экономикалық дамыған елдердің басты мәселелерінің біріне айналды. Қалдықтарды пайдалану арқылы көп нәрсені үнемдеуге болады, энергия мен шикізат, қоршаған ортаның ластануын азайту және көптеген қосымша жұмыс орындарымен қамтылады. Жаңартылатын және пайдаланылмайтын қалдықтардан тиімді және экологиялық таза отын шығару міндеті іс жүзінде пайдасыз, бірақ зиянды қалдықтарды жою мәселесі өте өзекті. Сонымен қатар, энергетикалық мақсаттар үшін тұтынушылар тиімді отынның қосымша көзін алады. Қазіргі уақытта электр қуатын өндіру жаңартылмайтын энергия көздерін – негізінен көмірсутектерді, мысалы газ, мұнай өнімдері, көмірді пайдалануға негізделген. Жаңартылмайтын энергия көздері жалпы әлемдік отын-энергетикалық баланстың шамамен 92% құрайды, жаңартылатын - шамамен 8% [202]. Сонымен қатар, 20-шы ғасырдың соңғы ширегінде әлемде тұрмыстық және өндірістік қалдықтардан энергия өндіретін қондырғылардың құрылысы көбейе түсті. 2015 жылы Еуропада энергия өндірісі үшін биоотынды тұтыну 3-тен 12 миллион тоннаға дейін өсті, ал 2020 жылы ол 21 миллион тоннаны құрады. 2000 жылы қыркүйекте Стокгольмде өткен жанармай брикеттерін пайдалануға байланысты әр түрлі мәселелер талқыланған брикет

бойынша бірінші Дүниежүзілік конференциядан кейін баламалы отын саласы әлемдік деңгейде қарқын алды. Қалпына келтірілетін және пайдаланылмаған қалдықтарды қайта өңдеудің әртүрлі тәсілдері бар. Бұлардың ішіндегі ең тиімдісі - брикеттеу. Жанармай брикеттері қазір үнемділігіне байланысты танымал отынға айналды. Олар қазірдің өзінде бүкіл әлемде кең таралды. Жанармай брикеттерін баламалы, экологиялық таза және тиімді отын түрі ретінде пайдалану өте перспективалы болып табылады. Ең маңызды өндіруші елдерің (сонымен қатар брикеттердің тұтынушылары) ішінде АҚШ жылына шамамен 2000 мың т, Германия - 100 мың т, Швеция - 650 мың т, Австрия - 110 мың т, Канада - 110 мың т, Финляндия - 100 мың т, Англия - 10 мың т, Жапония - 3 мың т, Дания - 500 мың т өндіреді [203]. Қатты биомассада, қалдық заттардан энергия алу дамытып отырған негізінен Еуропа елдері. Басқа мемлекеттер сапасыз көмірді емес, тас көмірдің өзінен брикет жасап, өндіріске енгізуде. Өнеркәсіптік сектор энергияны тұтынудың дүниежүзілік жалпы көлемінің 29% құрайды, 1973-2016 жылдар аралығында қазба отын шығыны 44% өсті [204]. Қалдықтар мен жаңартылатын энергия көздерін тұтынудың салыстырмалы түрде жоғары өсуіне қарамастан (осы мерзімде 128% -ға дейін), қазба отындары әлі күнге дейін дүниежүзілік өнеркәсіптік энергияны тұтынуда басым болып келеді, ал көмір ең көп пайдаланылатын энергия көзі (30% үлесі 2016 жылғы өсіммен, 132% 1973 жылдан 2016 жылға дейін) болып табылады.

Экономикадағы құрылымдық өзгерістерге және тиімділікке қарамастан ЕО өнеркәсіптік энергия тұтыну да маңызды рөл атқарады (10,929 ПДж, ЕО-ғы 2017 жылғы соңғы энергия тұтынудың 23%). Қазіргі кезде ЕО индустриясындағы энергияға деген қажеттіліктің көп бөлігі қазба отындары мен электр энергиясын тікелей пайдалану есебінен қамтамасыз етіледі, бұл өз кезегінде қазба отынына өте тәуелді болып қалады [205]. Жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) ЕО өнеркәсіптік энергияны тұтыну үшін тікелей пайдаланудың үлесі аз болды (2017 жылы 9%), ал биомасса елеулі қолданыстағы жалғыз ЖЭК болды (өнеркәсіпте пайдаланылған ЖЭК-тің 93%-ы қатты биомасса, 3% тұрмыстық қалдықтар және 2% биогаз). Бұл жаңартылатын отын, кейде алдын-ала өңдеу технологиялары арқылы, таза, аз көміртекті технологияларды өнеркәсіптік тұрғыдан кеңірек қолдануға мүмкіндік береді және жылу мен аралас жылу, электр энергиясына сәйкес келеді, сондықтан өнеркәсіптік пайдалануға (энергияға деген соңғы сұраныстың үштен екісіне жуық) ЕО өнеркәсібі жылудан шығады [206, 207]. Алайда бірқатар кедергілер өндірісте биомассаны кеңірек қолдануға жол бермейді және көптеген биоэнергетикалық жобалар техникалық жағынан мүмкін болғанымен, олар іске асырылмаған [208]. Қазіргі саясатқа сәйкес, ЕО 1990 жылға қарағанда 2050 жылға қарай өзінің парниктік газдарының ішкі шығарындыларын 80% төмендетуге қол жеткізе алмай келеді [209]. Бұл мақсатқа жету үшін алдағы онжылдықтарда жеке және мемлекеттік жаңа саясат пен ірі инвестициялар қажет және барлық секторлар (электр, жылу және көлік) өз үлестерін қосуы керек. Бұл тұрғыда нарықтық механизмдер мен субсидиялар маңызды құралдар болып табылады. Дегенмен, бүгінгі шындық субсидиялардың жылуға бағытталмайтынын көрсетеді: әлемде жаңартылатын энергия көздеріне

субсидиялардың шамамен 80%-ы энергетика саласына, ал тек 1% -ы жылуға кетеді [210]. Жылу өндірісі үшін, оның ішінде өнеркәсіпте де жаңартылатын энергия көздерін енгізуді ынталандыру бәсекеге қабілетті, тұрақты төмен көміртекті экономикаға көшу үшін ЕО мақсатына жету үшін өте маңызды. Жаңартылатын энергия көздерінің, оның ішінде биомассаның өнеркәсіпке енуін арттырудың үлкен пайдаланылмаған әлеуеті бар. Осы әлеуетті іске асыру қазіргі кездегі өнеркәсіптік энергияны пайдалануды нақты түсінуді, сондай-ақ жаңартылатын энергия көздерін ағымдағы және келешекте пайдаланудың экологиялық-экономикалық көрсеткіштерін бағалауды қажет етеді. Бұл жұмыста қоңыр көмірге назар аударылады, өйткені ол өнеркәсіпте негізгі жаңартылатын энергия көздерінің бірі болып табылады және болашақта да осы позицияны сақтайды деп күтілуде [211, 212]. Талдау жылытуға бағытталған, сонымен қатар ЖЭС-ны ЕО-тың кейбір өндіріс салалары үшін маңызды деп санайды.

Кейбір зерттеулер өнеркәсіптік салаларда жаңартылатын энергия көздерінің әлеуетін, сондай-ақ технологияда, экономикада немесе саясаттың тұрақты индустрияға көшуін жеңілдететін құралдарын талдайды [213-221]. Зерттеулер биомассаны өнеркәсіптік пайдалануға бағыттайтын кезде, әдетте белгілі бір салаларға [222-227] немесе технологияларға назар аударады [228]. ЕО өнеркәсібінде энергияны тұтынудың соңғы мөлшері 1990 жылдан 2017 жылға дейін 24% төмендеді. Осы сектордың ЕО энергияны тұтынудағы рөлі 1990 жылғы 34% 2017 жылы 23% дейін төмендейді. Керісінше, жаңартылатын энергия көздерін және қалпына келтірілмейтін қалдықтарды (коммуналдық және өндірістік) тұтыну тұрақты өсуде. Біріншісі 76%-ға өсті, екіншісі төрт еседен асып түсті.

2017 жылы ЕО елдеріндегі өнеркәсіптегі соңғы энергия тұтынудың ең үлкен үлесі (84%) табиғи газ, көмір және мұнай сияқты қазбалы отындарды, сондай-ақ электр энергиясын тікелей пайдалану есебінен қол жеткізілді, сонымен қатар қазба отынына электр қуаты тәуелді. Табиғи газ және электр энергиясы ең көп пайдаланылатын энергия тасымалдаушылары болып табылады, олар соңғы энергия тұтынудың үштен екісінен астамын құрайды. ЖЭК-тің экспрессиясы салыстырмалы түрде аз болды. Электр энергиясынан немесе көлік отындарынан айырмашылығы, жылу сирек өлшенуді қажет етпестен тыс жерде сатылады, бұл жылуға деген қажеттілік туралы деректердің жалпы болмауына алып келеді [229]. Еуропалық Комиссия жылыту және салқындату секторы туралы қосымша білім алудың маңыздылығын және оның ЕО-ның энергетикалық және климаттық мақсаттарына қол жеткізуге қосқан маңызды үлесін мойындайды. Демек, осы секторға арналған стратегияларды сипаттауға және анықтауға талпыныстар болады [230].

Еуропалық Одақтың елдерінде өнеркәсіп пайдаланатын энергияның көп бөлігі жылу болып табылады. Зерттеу әдістері төменнен жоғарыға модельдермен біріктірілді, өнеркәсіптің соңғы тұтынушыларының энергияға деген сұранысын анықтап, ел бойынша соңғы энергия тұтынудың толық балансын құрады. 2012 жылы ЕО индустриясында энергияның соңғы қажеттіліктегі жылыту үлесі 71% құрады, оның 60% технологиялық жылыту және 11% ғарыштық жылыту. Тағы

бір зерттеуде ЕО индустриясының маңызды және энергияны көп қажет ететін салалары 2013 жылы соңғы энергияның 66% технологиялық жылытуға жұмсалғандығы анықталды. Өндірістік процестер мен энергияны конверсиялау технологиялары бірнеше өндірістік секторларда қолданылады. Жылу энергияны көп қажет ететін салалар үлкен үлесті алады. Еуропалық Одақтың елдерінде технологиялық жылудың 84%-ы 5 өнеркәсіптік салада, атап айтқанда, темір және болат өнеркәсібі; химиялық және мұнай-химия; металл емес пайдалы қазбалар; целлюлоза, қағаз және баспа; тамақ өңдеу, сусындар мен темекі өнеркәсібіне жұмсалады. Осы өндірістік секторларда энергия тиімділігін арттыру және жаңартылатын энергия көздерін, атап айтқанда көмір биомассасын енгізу, энергияны тұтынудың жалпы төмендеуіне және ЕО индустриясының қоршаған ортаға әсер етеді. 2012 жылы қазба отындарын тікелей пайдалану есебінен жылуға деген қажеттіліктің 76%-ы қанағаттандырылды. Табиғи газдың өзі өндірістік энергияны тұтынудың 36% құрайды және негізінен 500°C жоғары температурада жылу алу үшін пайдаланылады. Көмір, екінші танымал технологиялық жылу отыны, толығымен дерлік жоғары температуралы жылу алу үшін қолданылды. Биомасса ең көп пайдаланылатын отынның төртінші бөлігі болды, оның үлесі 11%. Биомассаны жоғары температуралы жылу алу үшін қолдануға болатындығына қарамастан, 2012 жылы ол негізінен 200°C-тан төмен температурада жылу беру үшін пайдаланылды, ЕО өнеркәсібінде басқа жаңартылатын энергия көздерін пайдалану көрсеткіші минималды болады [231]. Әдетте энергетикалық мақсаттағы қатты биомассаны аталған материалдардан алуға болады: ормандардан және өңделмеген жерлерден алынған органикалық қалдықтар; энергетикалық дақылдар; өндірістік, ауылшаруашылық қалдықтар және орман шаруашылығы қызметінің қалдықтары мен тұрмыстық қалдықтар. Ол негізінен тікелей өндірісте қолданылады (мысалы: ағаш немесе жаңғақ қабықшалары), сонымен қатар жетілдірілген қатты биоотындар (мысалы: түйіршіктер, көмір немесе биомасса) қолданылады. Жақсартылған биомассаны пайдалану себептерінің бірі тиімділік болып табылады. Кейбір салаларда (мысалы: қара металлургия) шикі биомассаны қолдану тиімсіз, сондықтан ол термиялық өңдеуден өтеді, бұл оның өзіндік энергиясын арттырады. Биомассаның сапасын жақсартудың тағы бір себебі - тығыздалған биомассаны тасымалдау және сақтау оңай әрі арзан. Биомассаны жақсартылған, сапасы жоғарылаған қатты биобрикетға айналдырудың ең танымал технологиялары - түйіршіктер, пиролиз және торрефакция. Алғашқы екеуі жетілген және коммерциялық қол жетімді, ал торрефакция коммерциялық демонстрация кезеңіне өтіп, коммерциализацияның алдында тұр [232]. Қатты биомассаның сапасын жақсартуға [233-237] және сұйық немесе газ тәрізді биоотынға да айналдыруға болады [238-241], алайда олар қазіргі кезде өндірісте жиі қолданыла бермейді.

2017 жылы Еуропалық Одақтың әр түрлі елдері энергияны өндіру үшін қатты биомассаны әртүрлі тәсілдермен тұтынды. Көбісі оның біраз бөлігін тұрғын үй секторында (Мальта, Хорватия, Румыния және Грецияда 80% астам) пайдаланды.

Ирландия өзінің қатты биомассасының жартысынан көбін өнеркәсіпке пайдаланған жалғыз ел болды (53%), бірақ Финляндия, Швеция, Словакия және Португалияда бұл сектор 40%-дан астамын құрады. Екінші жағынан, Мальта, Эстония, Хорватия және Италия өндірістік биомассаның 5% азын тұтынады. 2017 жылы Германия ЕО ірі биомасса энергиясын өндіруші болды (503 ПДж), одан кейін Франция, Швеция, Финляндия және Италия (әрқайсысы 328–452 ПДж). Осы бес елдің үлесіне ЕО қатты биомассаның алғашқы энергия өндірісінің 51,2% тиді. Польша, Испания, Австрия, Румыния және Ұлыбритания үлесі 25,3%, Чехия, Португалия, Венгрия және Латвия 10,5% құрады. Қалған елдерде өндіріс 75 ПДж-ден төмен. Көптеген елдер энергия өндірісі үшін қатты биомассаның таза импорттаушылары болып табылады. Мальта энергияны өндіруге жұмсалатын барлық қатты биомассаны аз мөлшерде импорттады. Дания елдегі импортқа тәуелділік бойынша екінші орынды иеленді, оның негізгі өндірісі жалпы ішкі тұтынудың 46,3% құрайды. Импорты ең көп ел - Ұлыбритания, ал ірі экспорттаушылары - Латвия мен Германия болып табылады. Еуропа елдерінің 2012 жылы энергия өндірісі үшін ағаш биомассасының қол жетімділігі есептелді [242]. Мүше мемлекеттің технологиялық жылу өндірісі үшін қатты биомассаны қосымша жергілікті жеткізу мүмкіндігін білдіру, сілтеме және анықтамалық бойынша есептелген биомасса потенциалдарының арақатынасы 2017 жылы көрсетілген биомассаның жалпы ішкі тұтынуы көрсетілген. Маңызды әлеует Словения, Словакия, Латвия, Эстония, Ирландия, Швеция, Люксембург, Румыния, Португалия, Франция, Болгария, Финляндия, Литва, Чехия, Польша, Германия және Австрияда бар. Энергетикалық мақсаттарға арналған қатты биомассаның жаңару қабілеттілігі, көміртектің бейтараптылығы, жан-жақтылығы, реактивтілігі жоғары, бетінің үлкен ауданы, ал биомассаның кейбір түрлері үшін күкірт пен күлдің мөлшері аз, жергілікті қол жетімділігі және арзан құны сияқты қолайлы сипаттамалары бар. Сонымен бірге оның қазба отынымен салыстырғанда келесі кемшіліктері бар: калориялығы төмен, сусымалы тығыздығы төмен, ұнтақталуы нашар, меншікті энергиясы төмен және ылғалдылығы жоғары. Бұл кемшіліктерді биомассаның сапасын жақсарту арқылы жоюға болады. Жаңартылған биоотынның ішінде көмір ең жоғары тіркелген көміртегі мен калориялық құндылыққа ие. Қатты биомассаны отын ретінде пайдалану үшін оның физикалық, химиялық және жану қасиеттерін білу және түсіну қажет; олардың қасиеттері тотықтырғышқа және процеске тәуелді болады. Термохимиялық биомассаны түрлендіру тұрғысынан маңызды болып саналатын қасиеттерге мыналар жатады: элементтік құрамы, күлділігі, ұшқыш заттар құрамы, ылғалдылығы, калориялығы және жалпы тығыздығы [243]. Әдетте, құрғақ қатты биомассаның ең көп кездесетін элементі - көміртек (30-60%), содан кейін оттегі мен сутегі. Азот, күкірт және хлор кездеседі, бірақ олардың мөлшері 1% аз болады [244] және олардың төмен концентрациясына қарамастан, олар атмосфераға ластаушы заттардың ілеспе шығарындыларына байланысты маңызды. Бейорганикалық элементтер қатты биомассада да болады: ағаш күл мөлшері (1-ден 3%-ке дейін) аз. Кейбір ауылшаруашылық материалдарының (бидай сабаны және күріш қауызы) күлділігі жоғары болады



(сабан мен қауыз үшін 20%) [245]. Биомассаның құрамы мен жалпы күлділігі кейбір элементтердің күл түзілуіне және шлактануына үлес қосуына байланысты жану жүйелерінің құрылымы мен жұмысына әсер етеді [246-248], ал басқалары коррозия мен ластануға ықпал етеді. Әдетте шикі қатты биомассаның (отын) ұшқыш құрамы жоғары және көміртегі мөлшері көмірмен салыстырғанда салыстырмалы түрде аз болады [249], нәтижесінде термохимиялық энергияны түрлендіруге арналған биомассалық отынның артықшылықтары пайда болады. Жоғары ұшпа құрамы қатты биомасса отындарының жылдам реактивтілігіне жауап береді [250] және биомассаны жақсы әлеуетті шикізатқа айналдырады, мысалы, жанама газдандыру үшін және ұнтақты отынның жануы [251]. Алайда, салыстырмалы түрде жоғары оттегінің құрамы төмен калориялық мәнге ықпал етеді, бұл жалпы көлемнің төмен тығыздығымен бірге аз энергия тығыздығына әкеледі. Қатты биомассаның көлемдік тығыздығы маңызды параметр болып табылады, өйткені ол отын беру жүйелерінде сақтау мен процесті басқаруға әсер етеді [252]. Қатты биомассаның көлемдік тығыздығының ауқымы кең: массивті материалдар үшін шамамен 20 кг/м<sup>3</sup>-тен қатты ағаш үшін 900 кг/м<sup>3</sup>-қа дейін болады. Шикі биомассаның тағы бір кемшілігі жоғары ылғалдылық болуы мүмкін, бұл жылу мөлшері мен жану тиімділігінің төмендеуіне әкеледі. Көптеген биомасса отындары ылғалдылығы шамамен 65% жоғары жануды қолдай алмайды, ал ылғалдылығы 50-55% жоғары отындар жанғанда, жану камераларының көпшілігі қосымша отынды қажет етеді және СО сияқты толық емес жану өнімдерін шығаруы мүмкін. Биомасса ылғалдығы жану сипаттамаларына және жалынның адиабаталық температурасына әсер етуден басқа, энергия бірлігінде өндірілетін түгін газдарының көлеміне және жану камераларының көлеміне әсер етеді. Ылғал биомасса отындары ұзақ уақытты қажет етеді, нәтижесінде үлкен пештер болады. Биомассаның төмен калориялық құндылығы мен көлемдік тығыздығын термиялық өңдеу және тығыздау арқылы жақсартуға болады. Түйіршіктеу немесе биобрикеттеу сияқты тығыздықтар биомассаның көлемдік тығыздығын 700 кг/м<sup>3</sup> жоғары етеді [253]. Термохимиялық конверсия үшін термохимиялық түрлендіру биомассаны көмірге ұқсас етеді. Торрефакция, жұмсақ термиялық өңдеу нәтижесінде шикізатқа қарағанда ұшқыштары мен ылғалдылығы аз ішінара газдалған отын пайда болады. Жоғары температураны қажет ететін көмірді өндіру нәтижесінде бастапқы биомассаға қарағанда ұшқыштары мен ылғалдылығы әлдеқайда төмен шикізат пайда болады. Оларды тығыздағышпен біріктіруге болады, бұл өз кезегінде биомассаның отын көлемінің тығыздығын едәуір жақсартады [254]. Биомассаның термиялық өңдеу арқылы жақсартуға болатын тағы бір қасиеті – ұсақтау [255-258], бұл ұсақтауға қажетті энергия шығынын азайту үшін маңызды (олардың талшықты табиғатына байланысты, биомасса материалдарын ұнтақтау көмірге қарағанда қиынырақ [259]).

Африка – өте ірі аймақ, оның энергетикалық контекстін немесе ауылшаруашылық қалдықтарының болуын жалпылау арқылы жеткілікті түрде сипаттауға болмайды. Дегенмен, әлемнің әр түкпіріндегі брикеттеу қондырғыларының жай-күйіне қараған кезде, Африка елдеріндегі жағдайдың

Азия мен Оңтүстік Америкадағы жағдайдан өзгеше айырмашылығын байқауға болады. Африкадағы қалдықтарды брикеттеудің тарихы, әдетте, сәтті болмаған әр түрлі елдердің жеке жобаларының бірі болып табылады. Ұқсас технологияға негізделген брикеттеу қондырғыларының жиынтығы нарыққа шыққан бірде-бір мағлұмат тіркелген емес. Өндіріс процесі туралы ешқандай дәлел жоқ. Брикеттеуге алғашқы қызығушылық 70-ші жылдардың соңында, бірқатар еуропалық компаниялар машиналарды әр түрлі елдерде сатуға тырысқан кезде пайда болды (50-ші жылдардың басында бірнеше брикеттеу машиналары орнатылған, бірақ олар көзге көрінбестен жоғалып кетті). Кейбір жерлерде жетістіктер болған сияқты, бірақ бұл машиналардың ешқайсысы әлі де жұмыс істеп жатқанына нақты дәлел жоқ. Алғашқы машиналардың кейбірі Батыс Африкада жержаңғақ қабығын брикеттеу үшін сатылды; 1979 жылы Нигердегі Ниамейден оңтүстік-шығысқа қарай 140 км қашықтықта орналасқан Доссо зеңбірек зауытында екі Hausmann прессі орнатылды, ал 1981 жылы Данияда өткізілген түрлі нарықтық зерттеулер мен техникалық сынақтардан кейін машина Гамбиядағы Каур зауытында пайдалануға берілді. Бұл зауыттардың ешқайсысы табысты болмады. Жоғарыда аталған кәсіпорындардың барлығын Эфиопия мен Ганадағы жеке кәсіпорындарды, Замбия мен Малавидегі кәсіпорындарды және Кениядағы екі өнеркәсіптік кәсіпорындарды қоспағанда, даму агенттіктері қаржыландырды. Сәтті аяқталмағанның өзінде, брикеттеудің болашағын көріп, сондай технологияға ұмтылғанының өзі қаншалықты маңызды екені түсінікті. Африка елдеріне көп жағдайда энергия көзі ретінде пайдаланып жатқан, арзан өнім – ағаштарды сақтап қалу мақсатында, оларға балама бола алатын өнімдерді (қалдықтарды) брикеттеу үшін керек болды [260].

Бразилиядағы алғашқы брикеттеу машиналарын еуропалық өндірушілермен бірлескен кәсіпорында Hausmann типті машиналарды шығару үшін құрылған бразилиялық HANSA компаниясы орнатқан [261]. Сапасы жағынан жақсы болмаса да, қазіргі күнде өз жұмысын жасап жатыр. Үндістан – өте ірі және әр түрлі энергетикалық экономикасы бар ел, ол шикі биомассаның жағылуына, әсіресе ауылдық үй шаруашылықтарына, электр энергиясын өндірудің және көмірсутектерді пайдаланудың озық технологияларына тәуелді. Дегенмен, Үндістанды ауыл шаруашылығы қалдықтарын брикеттеуді қолдануды талдау үшін өте ауқымды елге айналдыратын төрт жалпы фактор бар. Біріншіден, елдің қатты отынның әр түріне тәуелділігі. Бұл негізінен отынды ғана емес, сонымен қатар шикі ауылшаруашылығы қалдықтары, көнді жағатын ауылдық үй шаруашылықтары мен шағын кәсіпорындарға қатысты. Сонымен қатар, ағаш отыны қалалық жерлерде кеңінен қолданылады және көмір, көбінесе күлді көмір өнеркәсіпте негізгі отын болып табылады. Көмір белгілі бір дәрежеде үй шаруашылығында қолданылады, әдетте түтінсіз брикеттер түрінде, бірақ биомассадан басқа үй шаруашылықтары үшін ең маңызды отын – керосин немесе газ. Осылайша, негізінен, брикеттерді қолданыстағы жабдықты тікелей алмастыру ретінде сатуға болатын бірқатар қолданыстағы нарық бар. Екіншіден, көмір олардың негізгі қазба отыны; сұйық және газ тәрізді көмірсутектер шектеулі мөлшерде ғана кездеседі. Осылайша, кез келген арзан жергілікті

отынның, мысалы, табиғи газдың немесе сұйытылған газдың, үй шаруашылықтары мен өнеркәсіп үшін негізгі отынға айналу мүмкіндігі аз. Үндістанның экономикалық саясаты әрқашан өзін-өзі қамтамасыз етуге үлкен мән береді, сондықтан соңғы жылдары жағдай біршама өзгергенімен, көлік секторынан тыс көмірсутегі шикізатын пайдалануды ұлғайту мүмкіндігі шектеулі. Үнді көмірі мол, бірақ көбінесе құрамында күлі көп, сапасы төмен. Алайда, өндіріс тарлығына және электр энергиясына сұраныстың артуына байланысты, бұл көбінесе өнеркәсіптік пайдаланушылар үшін жеткіліксіз болып табылады. Үшіншіден, бұл өте ірі ауыл шаруашылық саласы, оның құрамына ірі дақылдарды сату үшін өңдейін коммерциялық сектор кіреді. Бұл ауылшаруашылық қалдықтары ауылдық-өнеркәсіптік ауқымға дейінгі барлық мүмкін өндіріс масштабында брикеттеуге негіз болатындай жеткілікті мөлшерде болуы мүмкін. Коммерциялық орман шаруашылығы бірнеше шалғай аудандармен шектелген, сондықтан ағаш қалдықтарын пайдалану соншалықты пайдалы емес. Алайда, соңғы жылдары отынды орман егіндеріне аздап инвестиция құйылды, бұл болашақта ағаш қалдықтарының көзіне айналуы мүмкін. Төртіншіден, брикеттеу қондырғыларының барлық түрін жобалауға және шығаруға қабілетті дамыған машина жасау саласы. Отандық өнеркәсіп жақсы қорғалған, сондықтан брикеттеу жабдықтарын өндірушілер нарықта үстемдік ете алады [262, 263].

Таиландтың энергетикалық саласын екі бөлікке бөлуге болады: елдің көп бөлігін 50 миллион халықтың 70%-ын қамтитын ауылдық бөлік және негізінен Бангкок пен оның айналасында шоғырланған қалалық және өнеркәсіптік бөлігі. Теңіздегі газ бен мұнай қалалар мен өнеркәсіптегі энергияға деген қажеттіліктің бір бөлігін қанағаттандыра алады, бірақ импорттық мұнай елдің энергетикалық қоспасының негізгі бөлігін жалғастыруда. Осы ауданда отын мен қоңыр көмірге негізделген электр энергиясы да басым болады. Дегенмен, көмір таяу болашақта қалалық тұрмысы төмен тұрғындардың, сонымен қатар мейрамханалар мен шағын тамақ өнеркәсібінің негізгі отыны болып қала береді. Ауыл тұрғындары үшін ағаш пен қоңыр көмір негізгі отын болып табылады, ал ормандардың жойылуы оларды елдің кем дегенде кейбір жерлерінде тапшы етті. Ормандардың жойылуының негізгі себебі - отын үшін ағаш кесу емес, плантациялар үшін жерді тазарту және ағаш өңдеу өнеркәсібі үшін ағашты пайдалану. Таиландта Орталық жазықтар мен солтүстік-шығыстың көп бөлігінде отын жинау қиын және халыққа үлкен қиындық туғызады [264].

Отынның жетіспеушілігі дамушы елдерде кеңінен таралған және олар күнкөріс пен плантациялық егіншілік үшін жерді тазартуға, ішкі және экспорттық құрылыстарға коммерциялық кесудің шамадан тыс және тиімсіз болуына, өсіп келе жатқан қалалық сұранысты қанағаттандыру үшін көмір өндіруге байланысты кеңінен таралуда. Сонымен қатар, ормандардың жойылуының экологиялық және әлеуметтік-экономикалық әсері кең таралған және күрделі. Бұл жұмыс отынды көмір брикеттерімен алмастыруға сапасыз отандық көмірді қолдануға бағытталған. Антрацитсіз көмірді немесе көмір брикеттерін жағудан денсаулыққа елеулі жағымсыз әсерлерді күтуге болады,

бірақ көмірді жағудың қауіпсіз түріне айналдыратын карбонизация деп аталатын технология бар. Көмірді биобрикеттеуге және көмірлендіруге байланысты шығындар «түтінсіз» көмір биобрикеттерін ағаш пен көмірге бәсекеге қабілетті бағамен өндіруге болатынын көрсетеді. Жоғарыда аталған жұмыстар бойынша, әлемде ЕО елдерімен қатар АҚШ қарқынды жұмыс жасауда. Ғылым мен өндірісті байланыстыра отырып, түтінсіз отынды шығаруды жылдан жылға көбейту үстінде [265].

Отандық биобрикет өндірісіне тоқталатын болсақ бұл өндіріс елімізде қолға алынбаған. Қазіргі таңда тек дайын көмірді пайдалануда. Сапасы нашар қоңыр көмірді үйінді ретінде жинақтап қойып жатыр. Сол жиналған үйінділерді пайдаға асыру мақсатында ауқымды жұмыстар жасау керек. Алдағы жарты ғасыр ішінде сұраныстың болуына байланысты, Қазақстан үшін маңызды міндеттердің қатарында тұр. Себебі, халықтың көп бөлігі ауылды аймақтарда қоныстанған [266]. Биомассаның тұрақты өндірістік қолданылуын ынталандыру әр түрлі технологиялық, экономикалық, экологиялық және әлеуметтік аспектілерді ескеруі керек. Бұл аспектілер әлемнің әр түрлі аймақтарында және елдерінде айтарлықтай өзгертіндіктен, биомассаны технологиялық жылу ретінде пайдаланудың бірыңғай жаһандық шешімі жоқ. Сонымен қатар, әрбір өнеркәсіптік секторда қатты биомасса энергиясын одан әрі пайдалану бойынша өзіндік міндеттер бар.

Негізгі материалдарды өндіру үшін энергияны көп қажет ететін өндірістерді терең декарбонизациялау экономикалық көрсеткіштердің жақсаруына байланысты емес, ұзақ мерзімді климаттық саясатқа байланысты болады. Көптеген энергияны қажет ететін негізгі материалдар өнеркәсібі халықаралық өнімдер нарығында жұмыс істейді, стандартты өнімдерге, үлкен көлемге және баға бәсекелестігіне негізделген. Демек, оларға әр түрлі ұлттық саясатқа байланысты көміртегі шығындарының айырмашылығы әсер етеді, бұл өнеркәсіпті ығыстыруға және бәсекеге қабілеттілікті жоғалтуға әкелуі мүмкін. Өнеркәсіпте биоэнергияны қолдану жылдамдығын жоғарылату саясатының түрін конверсияның әр технологиясы мен орналасуы үшін анықтау және әзірлеу қажет. Әр түрлі технологиялардың жетілу кезеңі саясат таңдауына әсер етуі мүмкін. Газдандыру сияқты жаппай нарыққа жақын технологиялар сенімділігін арттыратын және шығындарды азайтатын реттеу саясатына сәйкес келеді.

Тұтынушылар үшін отын брикеттерінің сапасының басқа көрсеткіштері де маңызды. Атап айтқанда: ыңғайлы қаптама, үлкен брикеттер үшін де төмен салмақ, жоғары тығыздық - бұл қойманың көлеміне талап етпейді, шикізаттың экологиялық тазалығы, аллергиялық қауіпсіздік, қауіпсіз сақтау - брикеттер өздігінен жануға бейім емес, жану процесі лас қалдықтардың немесе күйенің пайда болуымен жүрмейді, брикеттерінің жануы кезінде атмосфераға көмірқышқыл газының шығарылуы минималды, бұл дамыған елдерде жоғары бағаланады. Брикеттер нарығының әлеуетті тұтынушылары 1 - кестеде көрсетілген [267].

Кесте 1 - Брикеттер нарығындағы әлеуетті тұтынушылары

Тұтынушылар	Даму болашағы
Ірі немесе табысы жоғары қалаларға жақын жеке секторлар	Жеке коттеждерде орнатылған брикеттерді жағуға арналған пиролиз қазандықтары табысы орташадан жоғары азаматтар үшін қол жетімді - олардың құны бірнеше мың еуроға бағаланады.
Бірнеше мың шаршы метрге дейінгі жеке ғимараттар	Отын брикеттерін жағу үшін қазандықтарды пайдалану экономикалық шығындардың төмен болуына байланысты экономикалық тұрғыдан негізделген. Бұл қазандық тұрақты қызмет көрсетуді қажет етпейді, автоматты режимде жұмыс істейді және брикеттерді мезгіл-мезгіл жеткізіп отыруды, күлден тазартуды қажет етеді, оны 2-3 аптада бір рет жасауға болады.
Орталықтан жылытылатын коттедж-қалашықтар	Жылыту қазандығының құрылысы жылу қазандығы инвесторға тиесілі болған жағдайда, жылу энергиясын және ауыл тұрғындарына ыстық сумен жабдықтауды сату арқылы жылу инфрақұрылымына салынған инвестициялардың құнын төмендетуге және бизнестің табыстылығын арттыруға мүмкіндік береді. Көп пәтерлі үйлер мен көпқабатты үйлер туралы да осыларды айтуға болады.
Брикеттелген қазандықтарды жобалау бойынша бағдарламалар.	Биобрикет қазірдің өзінде практикалық қызығушылық тудырады. Оны пайдалану әсіресе орталық жылыту жоқ жерлерде маңызды.
Дәстүрлі отынды қолданатын қазандықтарды брикеттерге ауыстыру	Көптеген қазандықтар мен жылу электр станциялары жабдықтардың тозуына байланысты жедел қайта құруды талап етеді. Әрбір осындай нысан үшін болашақта отынның қандай түрін қолдану керектігін анықтау үшін егжей-тегжейлі талдау жүргізілуі керек.

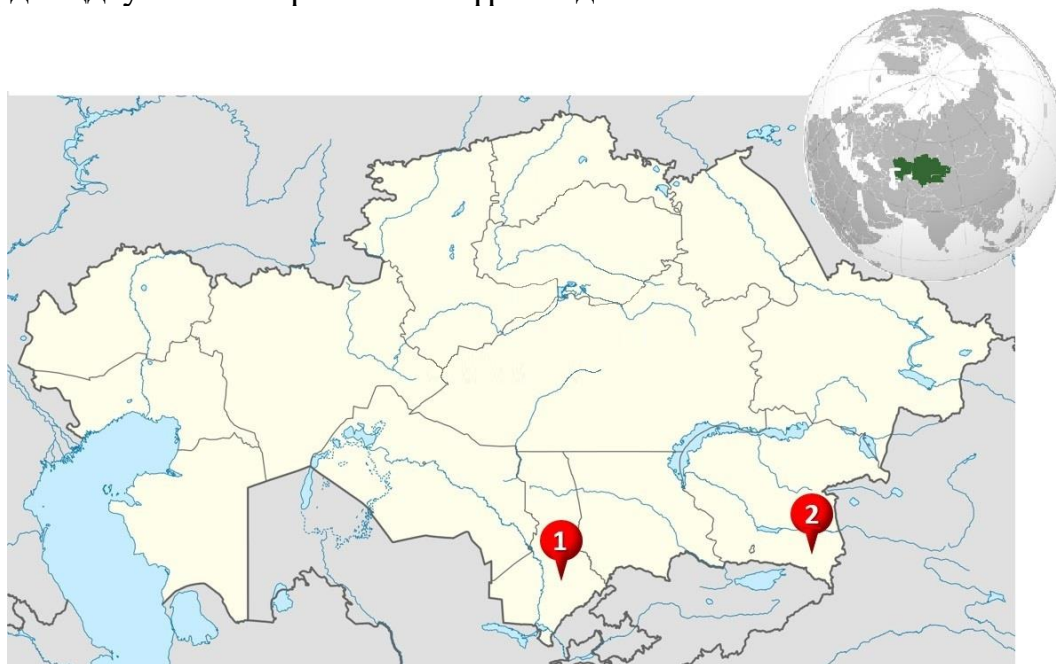
Келтірілген мағлұматтардың барлығы биобиобрикеттеудің дамуы үшін берік негіз болуы керек дегенді білдіреді.

Мұның бәрі биобрикеттеудің дамуы үшін берік негіз болуы керек дегенді білдіреді.

## 2 ЗЕРТТЕУ ОБЪЕКТІЛЕРІ, МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

### 2.1 Зерттеу объектілері

Бұл жұмыста В3 класының Леңгір бассейнінің (Түркістан облысы (1): 42°15'32.7"N, 69°43'14.0"E) қоңыр көмірлері (ЛҚК) және Ой-қарағай бассейнінің (Алматы облысы (2): 43°11'35.5"N, 80°35'42.8"E) қоңыр көмірлері (ОҚК) пайдаланылды (сурет 4). Көмір сынамаларын іріктеу ISO 18283: 2006 «Hard coal and coke - Manual sampling» және МЕМСТ 10742-71 «Қоңыр көмір, тас көмір, антрацит, майлы тақтатаc және көмір брикеттері. Сынамаларды алу әдістері және үлгілерді өңдеу» талаптарына сай жүргізілді.



Сурет 4 - Сынамаларды алу нүктелері: Леңгір (1) және Ой-қарағай (2) қоңыр көмір кен орындары

### 2.2 Зерттеу материалдары

Микроорганизмдерді дақылдау үшін келесі қоректік орталар қолданылды:

Өзгертілген (модифицирленген) минералды орта (мг/л):  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  - 2,50,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  - 1,75,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  - 0,75,  $\text{MgSO}_4$  - 0,75,  $\text{NaCl}$  - 0,25,  $\text{ZnSO}_4$  - 88,0,  $\text{FeCl}_3$  - 88,0,  $\text{CuSO}_4$  - 16,0,  $\text{MnCl}_2$  - 14,0,  $\text{MoO}_3$  - 7,0,  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  - 5,0. Микроорганизмдерге қоректік ортаның құрамындағы көміртегі (C) мен азоттың (N) жалғыз көзі ретінде стерилді қоңыр көмір қосылды [292].

Құрамында стерилді көмірі бар (массасы 1%) Ренни ортасы (MR): pH 7,0,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  - 6,67,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  - 4,  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  - 0,8, лимон қышқылы - 0,8 г  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  бар микроэлементтердің 5 мл ерітіндісін қосқанда - 10,  $\text{CaCl}_2$  - 2,  $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  - 2,2,  $\text{MnSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$  - 0,5,  $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$  - 1,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4\text{H}_2\text{O}$  бар ерітінді - 0,1 және  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$  - 0,02, 0,5 М HCl ерітілген ерітіндісі.

LB ортасының құрамы (г/л): триптон - 10, ашытқы сығындысы - 5, NaCl - 5.

Ет-пептонды агардың құрамы (г/л): пептон - 5,0, NaCl - 5,0, етті сығынды - 1,5, ашытқы сығындысы - 1,5, агар - 15,0.

SOB (Super Optimal Broth) ортасының құрамы (г/л) 1 литр дистилденген суға: бакто-пептон - 10,  $K_2HPO_4$  - 1,5, темір аммоний цитраты - 0,75,  $Na_2S_2O_3 \times 5H_2O$  – 1, агар - 15.

### 2.3 Зерттеу әдістері

#### 2.3.1 Қоңыр көмірлердің техникалық көрсеткіштеріне талдау жүргізу әдістері [268-273]

##### 2.3.1.1 Қоңыр көмірлердің ылғалдылығын анықтау әдісі

Өлшенген бюксті 1 г көмір үлгісімен бірге 105-110°C дейін қыздырылған кептіргіш шкафқа 60 минутқа салады. Содан соң 2-3 минут салқындатып, кейін эксикаторда бөлме температурасына дейін суытып, өлшейді. Нәтижесі ретінде ең төменгі масса алынады. Аналитикалық үлгідегі судың массалық үлесін ( $W$ ) проценттік түрде (1) формулаға сәйкес есептейді:

$$W = \frac{m_1}{m} \cdot 100 \quad (1)$$

мұндағы,  $m_1$  – өлшенген көмір үлгісін кептіргеннен кейінгі массасы, г.;  $m$  – өлшенген көмір үлгісінің массасы, г.

##### 2.3.1.2 Қоңыр көмірлердің күлділігін анықтау әдісі

Көмір үлгісінің 1 г фарфор қайықшасының шетіне тигізбей, біртекті етіп жаймалап, 300°C-қа дейін қыздырылған муфельді пешке салынады. 1 сағаттың ішінде муфельді пешті біртіндеп 800°C-қа дейін қыздырып осы температураға жеткеннен кейін тағы 1 сағат ұстайды. Күл қалдығы бар қайықшаларды муфельді пештен шығарып, ауада 5 минут, кейін эксикаторда бөлме температурасына дейін суытылады. Отын үлгісінің күлділігі (2) формулаға сәйкес есептелінді:

$$A = \frac{G_1}{G} \cdot 100 \quad (2)$$

мұндағы,  $G_1$  – күл қалдығының массасы, г;  $G$  - өлшенген көмір үлгісінің массасы, г.

##### 2.3.1.3 Қоңыр көмірлердегі жалпы күкірт мөлшерін анықтау әдісі

Жалпы күкірт мөлшері ( $S_{total}$ , %) құрамында органикалық күкірт ( $S_O$ , %), пиритті ( $S_P$ , %) және сульфатты ( $S_S$ , %) болады. Талдау жасауға 1 г көмір үлгісі алынады. Қоңыр көмірдің аналитикалық үлгісінде жалпы күкірттің болуын ( $S_{total}$ , %) протоколға сәйкес күкірт қышқылды барийге ( $BaSO_4$ ) қарап анықтайды. Пайыздық жоғарылығы төмендегі формула (3) арқылы анықтайды:

$$S_{total} = \frac{(G_1 - G_2) \cdot 0,1373}{G} \cdot 100 \quad (3)$$

мұндағы,  $G$  – өлшенген көмір үлгісі, г;  $G_1$  - көмір үлгісін талдауда алынған  $BaSO_4$  массасы, г;  $G_2$  - көмір үлгісінің бақылау талдауында алынған  $BaSO_4$  массасы, г; 0,1373 –  $BaSO_4$  массаларының күкірт массасына қайта есептеу коэффициенті.

Сульфатты күкірттің болуы ( $S_s$ , %) қайнату арқылы өлшенген көмір сульфаттарының құрамындағы сульфат-ион түрінде сұйылтылған  $HCl$  араластыру арқылы келесіде тұнбаға түсетін  $BaSO_4$  анықталды.

Пиритті күкірттің болуы ( $S_p$ , %) өлшенген көмірді  $HNO_3$  мен тотықтыру арқылы келесіде титрометриялық колчеданды темірде күкірттің болуымен төмендегі формула (4) арқылы анықтайды:

$$S_p = \frac{N (v - v_1) 0,064 \cdot 100}{m} \quad (4)$$

мұндағы,  $N$  - натрий тиосульфаты ерітіндісінің концентрациясы, н;  $v$  – ерітіндінің титрлеуге жұмсалған көлемі, мл;  $v_1$  – қорытынды тәжірибедегі ерітіндінің көлемі, мл; 0,064 – натрий тиосульфатының 1 н. ерітіндісінің 1 мл-дегі күкірттің мөлшері, г;  $m$  – қоңыр көмірдің нақты мөлшері (өлшемдісі), г.

Органикалық күкірт ( $S_o$ , %) формула (5) арқылы анықтайды:

$$S_o = S_{total} - (S_s - S_p) \quad (5)$$

#### 2.3.1.4 Қоңыр көмірлердегі ұшқыш заттардың шығуын анықтау әдісі

Талдау үшін 1 г қоңыр көмірді алдын ала өлшенген ыдысқа салып,  $850^{\circ}C$ -қа дейін қыздырылған муфель пешке орналастырады. 7 минут өткеннен кейін ыдысты қақпағы жабық күйінде – ауада, кейіннен эксикаторда бөлме температурасына дейін суытады. Салмағын өлшеп, ұшпайтын қалдығынан босатады. Көмір үлгісіндегі ұшқыш заттардың ( $V$ , %) шығуын (6) формула бойынша есептейді:

$$V = \frac{(m_2 - m_3) \cdot 100}{(m_2 - m_1)} - W \quad (6)$$

мұндағы,  $m_1$  – бос ыдыстың салмағы, г;  $m_2$  – қыздыруға дейінгі ыдыстың салмағы, г;  $m_3$  – қыздырудан кейінгі қалдықтың массасы, г;  $W$  – қоңыр көмір үлгісіндегі ылғалдың массалық үлесі (%).

#### 2.3.1.5 Қоңыр көмірлердің жану жылуын анықтау әдісі

Бұл әдіс көмір үлгісінің сығылған оттегі ортасында тұрақты көлем кезінде калориметрлік бомбада толық өртенуіне негізделген. Сұйықтық типті жану калориметрі қолданылады. Көмір үлгісінің меншікті жану жылулығы ( $Q$ , кДж/кг) формула (7) арқылы есептелінеді:



$$Q = \frac{C_i \cdot \Delta t - m_1 \cdot q_1}{m} \quad (7)$$

мұндағы,  $C_i$  – калориметрлік жүйенің энергетикалық эквиваленті, кДж/°С;  $\Delta t$  – калориметр ыдысындағы түзетілген температура өсімі;  $m_1$  – жану алдындағы және кейінгі тұтану сымның массаларының айырмашылығының өлшемі, кг;  $q_1$  – сымның меншікті жану жылуы;  $m$  – көмір үлгісі өлшемдісінің массасы, кг.

### 2.3.1.6 Қоңыр көмірлердің тығыздығын анықтау әдісі

Қоңыр көмірдің механикалық сипаттамасы ретінде нақты беріктікті технометриялық әдіспен анықтайды. Құрғақ салмақтағы көмірдің тығыздығын (г/см<sup>3</sup>) төмендегі формула (8) арқылы есептейді:

$$l = \frac{m}{m_1 - (m_2 - m)} \quad (8)$$

мұндағы,

$$m = \frac{a(100 - W)}{100} \quad (9)$$

$m$  – құтының құрғақ массасы, г;  $m_1, m_2$  – пикнометр массасы, сәйкесінше суландырғыш ерітіндісімен және көмір үлгісімен, г;  $a$  – көмір құтысы, г;  $W$  – көмір үлгісіндегі ылғалдылық мөлшері, %.

### 2.3.2 Қоңыр көмірлердің элементтік құрамын анықтау әдісі

Элементтік талдау микроанализге арналған стандартты vario EL cube (Германия) және EDAX GENESIS 2000 қондырғысына орнатылған JEOL-6380LV (Jeol, Япония) сканерлеуші электронды микроскоппен жасалды.

### 2.3.3 Қоңыр көмірлердің құрылымдық құрамын Раман спектроскопиясы арқылы анықтау әдісі

Қоңыр көмірдің құрылымдық құрамын талдау үшін Solver Spectrum (NT-MDT, Ресей) Раман спектрометрі қолданылды. Спектрлер толқын ұзындығы  $\lambda = 473$  нм болатын қатты күйдегі диодты лазер арқылы қозған кезде алынады. Лазер сызығы диаметрі 2 мкм,  $100 \times / 0.7$  NA Mitutoyo линзасын қолдана отырып, сынамаға бағытталады. Дифракциялық тордың спектрлік ажыратымы  $4 \text{ см}^{-1}$ .

### 2.3.4 Қоңыр көмірлердің минералды бөлігін рентгендік талдау арқылы анықтау әдісі

Қоңыр көмірдің минералды бөлігінің рентгендік флуоресцентті талдауы Empyrean X-ray Diffraction System (Голландия) дифрактометрінде рентгендік сәулеленудің ыдырауы әдісімен іске асырылды.

### **2.3.5 Қоңыр көмірлердің органикалық және бейорганикалық заттардың құрамын Фурье спектроскопиясы арқылы анықтау әдісі**

FTIR-ді Nicolet 6700 с KBr спектрометрін қолдану арқылы талданды. Қоңыр көмір үлгісінің ИҚ-спектрі 400 ден 4000 см<sup>-1</sup> диапазонында тіркелді. Сипаттамасы: сканерлеу саны – 32; тұнықтығы – 4,000; нөлдермен толықтыру – 2; лазердің HeNe жиілігі – 15 798,0 см<sup>-1</sup>; шыңының позициясы – 8 192. Аподирлеу функциясы - N-V; фондық сканерлеу – 32; фондық күшею коэффициенті – 1,0; Оптикалық талшық – 100,00; жоғары жиілік фильтрі - 200,0000; төменгі жиілік фильтрі - 20000,0000; Деректерді жинау әдісі - GC/IR; Соңғы формат - % берілім.

### **2.3.6 Қоңыр көмірлердің микроқұрылымын оптикалық микроскоп арқылы зерттеу әдісі**

Қоңыр көмірдің үлгілерін талдау кезінде тура оптикалық микроскоп DM 6000M (Leica) қолданылды. Микроскоптың максималды ұлғайтуы 150× және тұнықтығы 200 нм-ге дейін жететін алты объективі бар. Зерттеулерде жарық өрісі (BF) және қараңғы өріс (DF) әдістері қолданылды.

### **2.3.7 Қоңыр көмірлердің беттік сипаттамасын сканерлеуші электронды микроскоп арқылы зерттеу әдісі**

Сканерлеуші электронды микроскоп Quanta 200i 3D (FEI, Голландия) тездетуші кернеуі 10-30 кВ негізінде көмір бетінің топографиясы мен микрообъектілерді зерттеу үшін қолданылды.

### **2.3.8 Қоңыр көмірлердің микробиологиясын зерттеу әдістері**

#### **2.3.8.1 Қоңыр көмірлердің микробтық қауымдастықтарын анықтау үшін метагеномды талдау жүргізу әдісі**

Illumina платформасында жаңа ұрпақ секвенирлеу технологиялары үшін кітапханалар дайындаудың жалпы тәсілі бірнеше кезеңнен тұрады: 1. Үлгіден жаппай ДНҚ-ны бөлу; 2. Секвенирлеу үшін бөліктерді анықтау мен полимеразды тізбекті реакция (ПТР) көмегімен ары қарайғы амплификация үшін праймерлердің скринингін жүзеге асыру; 3. Секвенирлеу үшін алынған кітапханаларды екі еселік баркодирлеу; 4. Секвенирлеу; 5. Алынған деректердің биоинформатикалық талдауы мен визуализациясы. Әр кезең өндіруші компанияның стандартты протоколдары бойынша іске асырылды [275]. Үлгілерді секвенирлеу Ішкі Моңғолия университетінде (Қытай) Illumina (АҚШ) компаниясының HiSeq құралында стандартты протоколдар бойынша жасалды [276].

#### **2.3.8.2 Қоңыр көмірлердегі бактериялардың жалпы санын анықтау әдісі**

Көмір үлгілері стерилді құрал көмегімен алынып, сол күні зерттеу жүргізіледі. Кох әдісі бойынша көмір үлгісін Петри табақшасындағы қоректік ортаға отырғызу мен кейіннен өсіп шыққан КТБ саналады [274]. Жұмыс үш кезең

бойынша өтеді: сұйылту дайындау → Петри табақшасына отырғызу → өсіп шыққан колонияларды санау.

Колониялардың сандық есебі (10) формула арқылы жүзеге асады:

$$m = \frac{a \cdot \mu \cdot 100}{V} \quad (10)$$

мұндағы,  $a$  – бір Петри табақшасында өсіп шыққан микроорганизмдердің орташа саны;  $\mu$  – сұйылту деңгейі;  $V$ - егу үшін енгізілген инокуляттың мөлшері.

### **2.3.8.3 Қоңыр көмірлерден бактериялардың таза дақылын бөліп алу әдісі**

Тіршілік әрекетін қамтамасыз ету үшін алынған дақылдардың клеткалары ЕПА-да 30°C температурада 1-2 күн бойы өсірілді, клеткалардың тіршілік әрекетін 1-2 күннен кейін қайта егу арқылы жалғастырып, ~ 7°C температурада сақталды. Таза дақылдарды алу үшін бактериялардың дақылдарының клеткаларын талдамалы (4 сегментті) егу әдісі қолданылды.

### **2.3.8.4 Бөлініп алынған бактериялардың таза дақылдарының қоңыр көмірлерде өсу қабілеттілігін зерттеу әдісі**

Қоңыр көмірде өсу қабілеттілігін зерттеуді концентрациясы 5% қоңыр көмір қосылған 100 мл стерилді минералды ортасы бар 300 мл Эрленмейер колбаларында анықтайды. Қоңыр көмір үлгілері 1 атм автоклавта стерилденді. Қоректік орталарды бактериялар клеткаларының концентрациясы  $10^8$  кл/мл-дей болатын екі тәулікті бактериялық суспензия арқылы инокуляцияланды. Процесс 30°C температурада механикалық араластырумен (150 айн/мин) термошейкерде жүзеге асырылды. Көмір мен бактериялардың байланыс процесі 14 күнге созылды. Қоңыр көмірі бар ортада бактериялардың өсу қабілеттілігін клеткалардың көбею белсенділігіне қарап анықтайды. Тәжірибе үш рет қайталана өткізілді.

### **2.3.8.5 Қоңыр көмірлерде өсу белсенділігі жоғары бактерия дақылдарын идентификациялау әдісі**

Штамдардың идентификациясы геннің 16S rRNA фрагментінің тура нуклеотидті тізбегін анықтау, нуклеотидті сәйкестікті ары қарай Gene Bank халықаралық дерекқорында депозиттелген тізбектермен анықтау және референтті штамдардың нуклеотидті тізбектерімен филогенетикалық дендрограммаларды құрастыру әдісі арқылы іске асырылды.

Осы түрлердің референтті штамдарының 16S rRNA генінің нуклеотидтік реттіліктерімен филогенетикалық ағаштарды тұрғызу жүргізілді (<http://www.bacterio.net>).

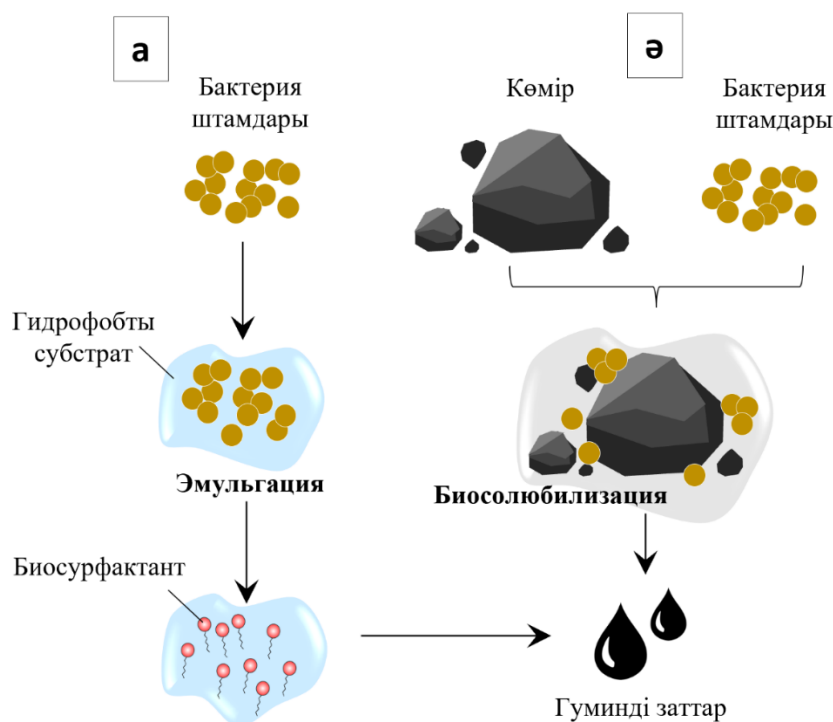
### 2.3.9 Қоңыр көмірлерді биосолюбилиздеу әдістері

#### 2.3.9.1 Биосолюбилиздеуді зерттеудің агар – диффузды әдісі

Бактериялық изолятты газон алу үшін 37°C-та 48 сағат бойы қоректік агары бар табақшаларда дақылдайды. Содан кейін қоңыр көмірдің (диаметрі шамамен 3 мм) стерилді түйіршіктерін бактериялық газонға орналастырып, инкубацияны 7 күн бойы жалғастырады. Биосолюбилизация көмір үлгісінің солюбилизациясын көрсететін қоңыр жиектердің пайда болуымен бақыланды.

#### 2.3.9.2 Қоңыр көмірлердің биосолюбилизациясын зерттеудің сұйық ортада жүргізу әдісі

Қоңыр көмірлердің биосолюбилизациясын бактериялардың сұйық дақылын қолдана отырып аэробты жағдайда жүргізеді. Белсенді штамды OD<sub>600</sub> 0,1 жетпегенше LB (200 мл) ортасына қосып, ары қарай 30°C 24 сағат бойы роторлы шайқағышта дақылдайды. Содан соң, стерилденген көмір ұнтағын 5% (w/v) қосып, 14 күн бойы инкубациялайды. Биосолюбилизация кезінде үлгілерді әрбір екінші күні асептикалық жағдайда жинап, 11 200 rpm 15 минут бойы центрифугалап, мембранды фильтрлерден (пора өлшемі 0,24 мкм) фильтрлейді. Қоңыр көмірлердің ерігіштігін бағалау үшін фильтраттың 450 нм сіңірілуін UV-2600 (Shimadzu, Жапония) спектрометрінде өлшейді. Қалған қоңыр көмірлерді (қалдық) сумен үш рет шайып, 100°C кептіріліп және биотрансформацияланған қоңыр көмірлердің пайыздық құрамын есептеу үшін өлшейді. Қоңыр көмірлер қосылған инокулятсыз LB ортасы бақылау ретінде алынды. Тәжірибелер үш ретті қайталамалармен жасалынды және алынған ақпараттар үшін орташа мәндері, стандартты ауытқылар анықталынды (5 сурет).



Сурет 5 – Бактерия штамдарының эмульгирлеуші (а) және солюбилиздеу (ә) белсенділіктерін анықтау тәжірибесінің сызбанұсқасы

### **2.3.9.3 Көмірсутекті қосылыстардың эмульгациялаушы белсенділігін анықтау әдісі**

Эмульгирлеуші белсенділікті бағалау үшін клеткаларды 15 минут бойы 1372 грм-пен центрифугалау арқылы дақылдық ортадан бөліп алынды. Эмульсияны алу үшін ары қарай супернатантты пробиркада көмірсутекті субстратпен 3:2 қатынаста араластырып, шейкерде 112 грм-та 20 минут бойы қарқынды араластырылды. Одан кейін, сынауықтарды вертикаль күйде бөлме температурасында 24 сағатқа қалдырып, кейін эмульгирлеу белсенділігі өлшенді. Эмульгирлеуші белсенділікті эмульсиялық қабат көлемінің пробиркадағы сұйықтықтың жалпы көлеміне қатынасы ретінде есептеп, %-бен көрсетеді. Есептеу формула (11) бойынша жүргізілді:

$$E_{24}(\%) = \frac{V_e}{V_n} \times 100 \quad (11)$$

мұндағы,  $V_e$  – эмульсия көлемі,  $V_n$  – өзіне супернатант көлем фазасы + көмірсулық фаза көлемі + қалыптасқан эмульсия көлемді қосатын сұйықтықтың жалпы көлемі.

### **2.3.10 Қоңыр көмірлерден солюбилизденген өнімдерді бөліп алу әдісі**

Ауада кептірілген 2 г қоңыр көмірді 0,1 М NaOH 100 мл суспензиялайды және 20°C ортасында 3 грм-да 24 сағат бойы араластырып, ары қарай 11 200 грм-та 15 минут бойы центрифугалайды. Супернатантты Whatman №1 қағазымен сүзіп, содан кейін 6,0 М HCl көмегімен тұндырды да рН 2 дейін жеткізіп, 12 сағатқа қойып қояды. Тұнбаны 11 200 грм-та 15 минут бойы центрифугалап, 3 рет дистилденген сумен шайып, 60°C кептіреді. Алынған өнім химиялық гуминді заттар (ХГЗ) ретінде анықталады. Биосолюбилизациядан кейін өңделген қоңыр көмірді Whatman №1 қағазымен сүзіп, 11,6 М HCl көмегімен рН 2,0 дейін жеткізеді. Бактериялық-трансформацияланған гуминді заттарды (БГЗ) экстракциялау үшін жоғарыда ХГЗ алу мақсатында қолданылған әдіс пайдаланылды.

### **2.3.11 Қоңыр көмірлерден солюбилизденген өнімдердің қасиеттерін зерттеу әдісі**

Бөлініп алынған гуминді заттарды (ХГЗ және БГЗ) келесі сараптамаларға беріледі: FTIR Nicolet 6700 (Thermo Scientific, АҚШ) FTIR-спектрометрін қолдану арқылы 4000-нан 400 см<sup>-1</sup> дейінгі өткізгіш диапазонында жүзеге асырылды. Ақпаратты жинақтаудың келесі параметрлері қолданылады: таңдамалы скандардың саны – 32, ажыратымдығы – 4.000, нөлдік толтыру – 2, He-Ne – лазерінің жиілігі: 15 798,0 см<sup>-1</sup>, кедергілердің жоғарғы пигі – 8 192, аподизация қызметі – N-B күшті, фондық скан – 32, фонды күшейту – 1,0, оптикалық талшық – 100,00, сұрыптау өсімі – 1,0, жоғары өту сүзгісі – 200,0000, төмен өту сүзгісі – 20000,0000, ақпарат жинау әдісі - GC/IR, соңғы формат – % беру.

Гуминдік заттардың сұйықтықты хроматограммасын QqQ LC/MS (Agilent, АҚШ) жүйесін қолдану арқылы өлшейді. Хроматографиялық сараптамаларды ацетонитрилде (элюент А) және суда (элюент В) жылжымалы фазада жүргізді. Ағын жылдамдығы 0,25 мл/мин<sup>-1</sup>-ді құрайды. Бүкіл процесс бойы бағана температурасын 40°C деңгейінде ұстап тұрады. Бүрку көлемі 5 мкл-ді. Масс-спектрометриялық сараптамаға теріс режимдегі электросепкіш ионизация қолданылуымен (ESI) қол жеткізілді. Сканирлеу мониторингі 100-2000 m/z-де қолданылады. Масс-спектрометр құрғатқыш газ, газ қабаты және соқтығысу энергиясы (CE), ретіндегі азоты бар ESI интерфейсі арқылы UHPLC жүйесіне қосылады. Параметрлері: газ температурасы 350°C, газ шығыны 8 л/мин, небулайзер 45 psi, газ қабатының температурасы 350°C, газ қабаты 12 л/мин, капиллярлы кернеуі 4000 В (теріс), шүмек кернеуі 1500 В (теріс). Құралды басқару және ақпаратты жинақтау MassHunter Workstation (В.08 нұсқасы) бағдарламалық жасақтамасының көмегімен жүзеге асырылды.

Гуминді заттардың оптикалық спектроскопиясы (UV-Vis) 1 см кварцты кюветтің және фосфатты буфер бланктің қолданылуымен V-550 (Jasco, Japan) спектрофотометрінде жүргізіледі. Жұтылу спектрін 1 сағаттық үлгі дайындалудан кейін 200-ден 900-ге дейінгі диапозонда тіркейді. Олардың спектрлерінің зерттелуі негізінде E<sub>E1/Bz</sub>, E<sub>2/3</sub>, E<sub>4/6</sub>, E<sub>254/410</sub>, E<sub>265/465</sub> және ΔlogK сияқты стандартты спектроскопиялық көрсеткіштер алынды.

Биоөңделген көмірдің өнімдерінің элементтік құрамы (С және Н) Vario EL (Elementar, Германия) кубтық элементтердің талдағышы көмегімен анықталды.

Рентгенография ақпараттарының жинақталуы Bruker AXS D8 Advance X-ray Powder Diffractometer (Германия) көмегімен жүргізілді. Рентген сәулелері ақпараттарының дифракциясы бастапқы бұрышы 5,00, соңғы бұрышы 80,00 және жылдамдығы 3°/мин болатын 0,02° қадам бұрышын жинайды. Рентгендік трубканың 40 kV кернеуі мен 30 mA тогы бар. Құрылғыларды сынау шарттары: Cu target, иірілген графиті бар монокроматор, Kα сәулелендіруі. Саңылаулық жүйе: DS (эмиссионды саңылау) – 0,6 мм, SS (антиыдырату саңылауы) – 8 мм.

Электронды микроскоп (FE-SEM, Hitachi S-4800) қоңыр көмір адгезиясының морфологиялық өзгерістерін және оның беткейіндегі микроорганизмдерді бақылау үшін қолданылады. Ортасы жоқ үлгі кремний тілігінде бөлшектеліп, ауада кептіріліп, үлгі сатысына орналастырылады. SEM шарттары: кернеуі 10-30 kV, жұмысшы арақашықтығы 8-12 мм болды. Үлгілерді 1 қадам мөлшерінде (2 сағ.) 20-дан 80-ге дейін (2 сағ.) және 1 мин уақыт есебімен сканирленеді. Нәтижелер JADE 6.5 бағдарламасының қолдауымен жинақталды.

### **2.3.12 Қоңыр көмір негізінде биобайланыстырушы агенттерді алудың әдісі**

Леңгір мен Ой-қарағай қоңыр көмірлерінің биоөзгерісін байланыстыруды 30°C температурадағы аэрациясымен механикалық араластырғышы бар биореакторда жүзеге асырады.

Биореакторға бір реттік жүктемені: субстрат – 30% (қоңыр көмір - 70%, көктерек жоңқасы – 30%), инокулят – 20%; жасанды орта – 50% бойынша

есептейді. Бір реттік жүктеменің жалпы көлемі 2 л құрайды. Ферментация алды кезеңі келесідей сатылардан тұрады: субстрат дайындалды (ірілігі <3 мм, ылғалдығы – 32%); белсенді штамдардың бастапқы инокулятын күшейту; биореакторды жұмысқа дайындап – дезинфекциялайды. Ферментацияны келесідей ретпен жүргізеді: инокулят штамының өсуі биореакторда көміртекті органикалық ортада 60 сағат бойы оттегі жағдайында 30°C температурада жүргізілді.

### **2.3.13 Қоңыр көмір негізінде биоотын алу әдісі**

Брикеттеу бойынша эксперименттер келесі кезеңдер бойынша жүргізілді: биосуспензияны кептіру камерасына орналастыру, кептірілген ылғалдылықты мерзімді бақылау өнімі, биоөнімді түсіру және ұнтақтау, гидравликалық преста кұрғақ брикеттеу, брикеттерді сынау және физикалық-химиялық қасиеттерін анықтау.

Брикеттеудің технологиялық параметрлерін анықтау әдісі. Алғашқы көмірді дайындау кезінде көмірдің өлшемі 10 мм ұсақтау, 1 мм дейін ұнтақтау (зертханалық диірмен) және 90°C температурада бастапқы ылғалдылығы 16,5% дейін пеште кептіру. Кептіру кезінде көмірдің ылғалдылығын бақылау мерзімді сынама алу арқылы жүргізілді.

Брикеттеу тәжірибелерінде қолданылатын биобайланыс агенттері көмірдің биомодификациясы кезінде алынған биокөмір суспензияларын (ылғалдылықтың бастапқы мөлшері 70% дейін) кептіру арқылы алынды. Материалдар гидравликалық преста (ПО-500М, Антек, Ресей) басылады, мұндағы меншікті қысым 120 МПа құрайды. Брикеттеу үшін диаметрі 50 мм цилиндрлік қалыптар қолданылады: сынаманың салмағы 50 г, биіктігі 20 мм. Алынған өнімдер МЕМСТ 21189-21191-75 сәйкес сығылу беріктігі мен қажалуға беріктігін анықтау үшін сыналады.

Маркалы преста брикеттерді алу әдісі. Қыздырылған көмір қоспасын престау Қытайда шығарылған GCZ26 жартылай өнеркәсіптік пресс жүргізіледі: 1. максималды меншікті қысу қысымы -150 МПа; 2. пресс өнімділігі (дана/сағат) - 5 000; 3. Брикеттің мөлшері (ені×ұзындығы×биіктігі): 22 мм. Маркалы престегі брикеттеу режимдері өнеркәсіптік аналогтарға толық ұқсас болады.

Алынған өнімдердің жану жылуы ST SEV 1463-78 сәйкес; МЕМСТ 6382-80 сәйкес ұшпа өнімдердің шығымы; ST SEV 751-77 бойынша ылғалдылық; күлдің мөлшері МЕМСТ 11022-75 бойынша анықталады.

### **2.3.14 Алынған нәтижелерді статистикалық талдау әдісі**

Деректер орташа арифметикалық ± стандартты ауытқу түрінде беріледі. Барлық зерттеу жұмыстары 3-5 рет қайталаумен жүргізілді. Суреттерде зерттеу жұмыстарының арифметикалық нәтижелері мен олардың стандарт ауытқулары көрсетілді. Әр үлгіге байланысты микробтар қауымдастығының статистикалық маңызды айырмашылығы Фишердің нақты сынағының көмегімен анықталды (n = 15).

### 3 ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

#### 3.1 Қоңыр көмірлердің техникалық, физика-механикалық және химиялық қасиеттері

Қоңыр көмірлерді қолдану саласына қарай олардың бастапқы және өңделген сынамасының техникалық, физика-механикалық және химиялық қасиеттерін зерттеудің маңыздылығы өте жоғары.

Леңгір (ЛҚК) және Ой-қарағай (ОҚК) кен орнындағы қоңыр көмірлерінің элементтік талдау, техникалық [278] сипаттамаларын зерттеу нәтижелері 2, 3 және 4 кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Леңгір және Ой-қарағай қоңыр көмірлердің механикалық сипаттамасы

	Сынама	ЛҚК	ОҚК
1	Сипаттама		
2	Түсі	Қара-қоңыр	Қара-қоңыр
3	Омырылу	Біріккен	Талшықты
4	Жарқырауы	Шынылы	Майлы
5	Текстурасы	Біркелкі емес, жолақты	Біркелкі емес, жолақты
6	Бөлектік	Эндогенді	Экзогенді

Кесте 3 - Леңгір және Ой-қарағай қоңыр көмірлердің техникалық сипаттамалары

Көрсеткіштер	Талдау нәтижелері	
	ЛҚК	ОҚК
Көмірдің аналитикалық үлгісіндегі ылғалдың массалық үлесі, W, %	10±0,3	7,81±0,9
Көмір сынамасының күлділігі, A, %	21,2±0,1	11,2±1,1
Көмірдегі ұшпа заттардың шығымы, V, %	43±0,2	36,7±0,8
Көмір сынамасының меншікті жану жылуы, Q, кДж/кг	7 300	15 700

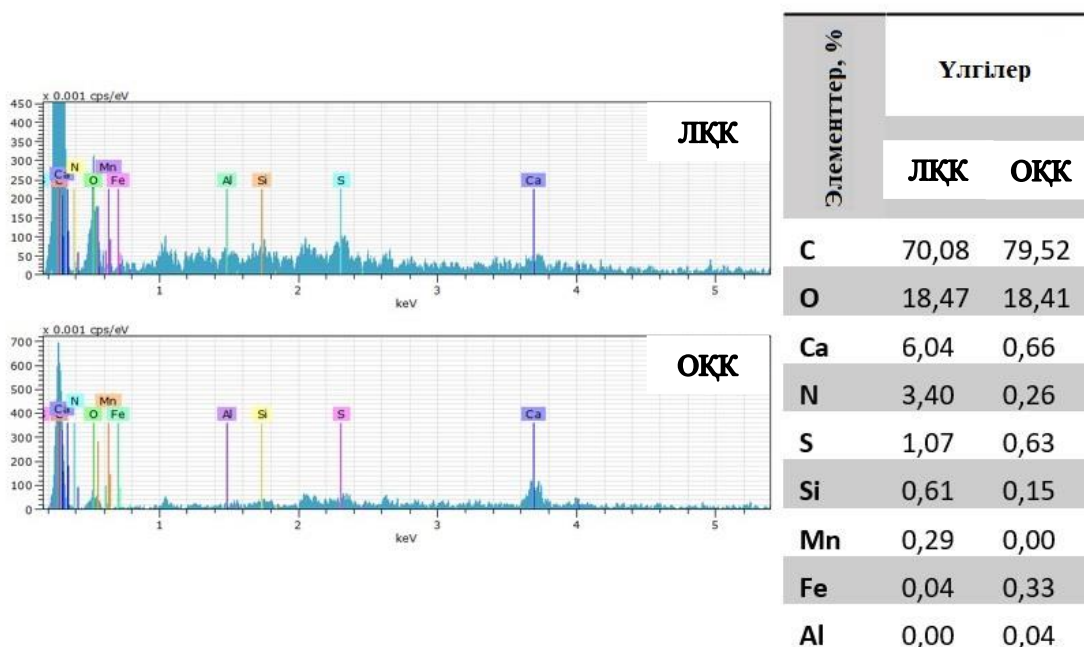
Кесте 4 - Күлсіз, сусыз массаға есептелген қоңыр көмірлердің элементтік талдауы, %

Үлгілер	C	H	N	S	O	Элементтер
ЛҚК	61,3 ± 0,7	3,52 ± 0,1	0,85 ± 0,1	1,61 ± 0,3	32,72 ± 0,6	%
ОҚК	74,2 ± 0,1	4,75 ± 0,2	1,57 ± 0,09	0,13 ± 0,2	19,43 ± 0,7	



Зерттелетін көмір мен бұрын жүргізілген Леңгір кен орнындағы зерттеу нәтижелерімен салыстыру [279] бірқатар көрсеткіштер бойынша олардың сәйкестігі анықталды. Зерттеген аналитикалық үлгілердегі күлдің үлесі төмен, ал күкірт көрсеткіші айтарлықтай жоғары болды. Леңгір кен орнының негізгі қабатынан алынған қоңыр көмірдің зерттеу нәтижесі аналитикалық үлгісі орташа калориялы, орташа күкіртті отынға жатады және оның құрамындағы күл мөлшері мен орташа ылғалдылығы оның В3 класына жататынын көрсетеді. Ал, Ой-қарағай кен орнының көмірін салыстырмалы түрде қарайтын болсақ, көмірдің күлділігі екі есе аз, ал меншікті жану жылуы екі есе жоғары екені анықталды.

EDX GENESIS 2000 детекторымен жабдықталған сканерлейтін электронды микроскоп арқылы қоңыр көмірлердің элементтік құрамына талдау жүргізілді. Леңгір және Ой-қарағай қоңыр көмірлерінің элементтік құрамының көрсеткіштері 6-суретте келтірілген [289].



Сурет 6 – Қоңыр көмірлердің шаққандағы элементтік талдау, %

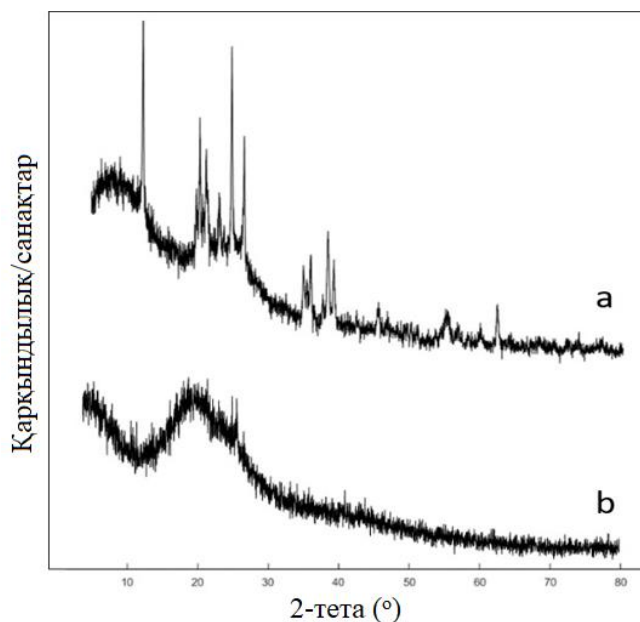
6-суретте көрсетілгендей, зерттелген қоңыр көмірлердің құрамында ауыр металдар табылмаған. Құрамында S, Na, N, Mn, Fe және кварцтің болуы бұл элементтерді қоректік компонент ретінде қолданатын микроорганизмдердің өсуіне және көбеюіне мүмкіндік береді.

Қоңыр көмірлердің тығыздығы (қоңыр көмір көлемінің бірлік массасы), тесіктер мен жарықты қоспағанда, ЛҚК -  $1,45 \pm 0,3$  г/см<sup>3</sup>, ОҚК -  $1,57 \pm 0,2$  г/см<sup>3</sup> құрады.

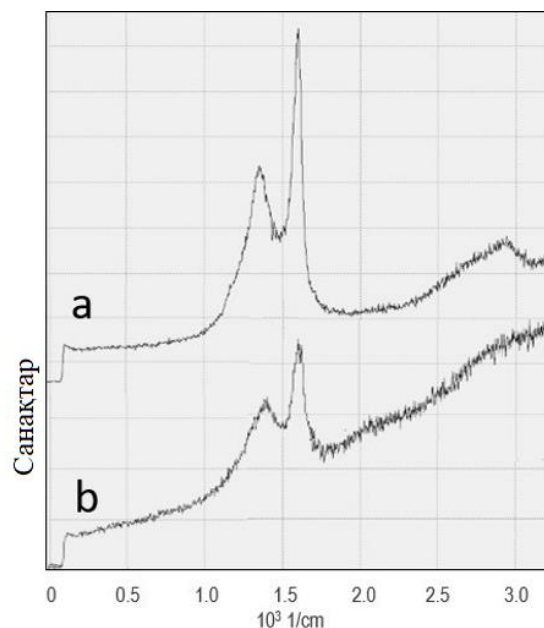
Көмірдің бастапқы және жеке компоненттерінің молекулалық құрылымы спектрлік анализ, УК, Раман спектроскопия арқылы зерттелінді. Рентгенқұрылымдық талдау нәтижесі көрсеткендей көмірдің органикалық массасындағы молекула аралық байланыстардың маңызды көрсеткіштерінің бірі – құрылымдық фрагменттерін анықтауға болады. Көмірлердің химиялық құрамының әртүрлілігі, сонымен қатар оның метаморфизмінің үнемі өзгеруі

ауаның әсерінен көмір құрамбөліктерінің тотыға түрленуінің мүмкіндіктерін кеңейтеді. Тотығу салдары көмірдің молекулалық құрылымының өзгеруіне алып келеді. Рентгенқұрылымдық талдау көмірдің метаморфизм процесінде, әртүрлі химиялық және физикалық факторлардың әсер ету нәтижесінде көмірлердің макроқұрылымының өзгеруін көрсету үшін кеңінен қолданылады.

ОҚК қоңыр көмірлерінің химиялық құрамының қалыптасуының бастапқыда жоғарылауымен реттелген шеткі бөліктің ( $\gamma$ -диапазоны) интенсивтілігінің айтарлықтай төмендеуі және көмірдің күрделі ароматты қосылыстар бөлігінің біртіндеп жоғарылауы байқалады (сурет 7).



Сурет 7 - Қоңыр көмір үлгілерін рентгенқұрылымдық талдау: ЛҚК (а), ОҚК (b)



Сурет 8 – Қоңыр көмір үлгілерінің Раман-спекторы: ЛҚК (а), ОҚК (b)

ЛҚК қоңыр көмірінің кристалды фазаның фракциясы ОҚК-ге қарағанда күрделірек болатындығы анықталды. Бұл жүйелік сәйкестіктің себебі дифракциялық шырдарды ыдыратуда қолданылатын әдістердің айырмашылығында ғана емес, керісінше, зерттелетін үлгілердегі инертті емес компоненттердің төмен болуымен байланысты (витринит индексі 0,8-0,99%) және кристалды фазаның пайда болуына қосқан үлесі маңызды. Рентгендік дифрактограмма жоғары фондық қарқындылыққа ие, бұл аморфты көміртегі түрінде ретсіз материалдардың бар екендігін көрсетті. Атап айтқанда, үлгілердің дифрактограммасы  $10^\circ < 2\theta$  бағытында экстенсивті болып шықты. ЛҚК қоңыр көмірді зерттеу нәтижесіне алынған кең пиктер  $2\theta = 12,2^\circ$  (каолинит),  $20,8^\circ$  (кварц),  $23,2^\circ$  (кальцит),  $24,9^\circ$  (каолинит) және  $26,7^\circ$  (кварц) кезінде байқалды, бұл кристалды көміртекті (графиттекес) құрылымдардың бар екендігін білдіреді.

ОҚК қоңыр көмірінің рентгендік дифракциялық талдау  $\gamma$ -жолақтардың төмендейтінін және рентгендік дифракция үлгілеріндегі (002) жолақтарының интенсивтілігінің жоғарылайтынын анықтады. Бұл осы қоңыр көмірінің

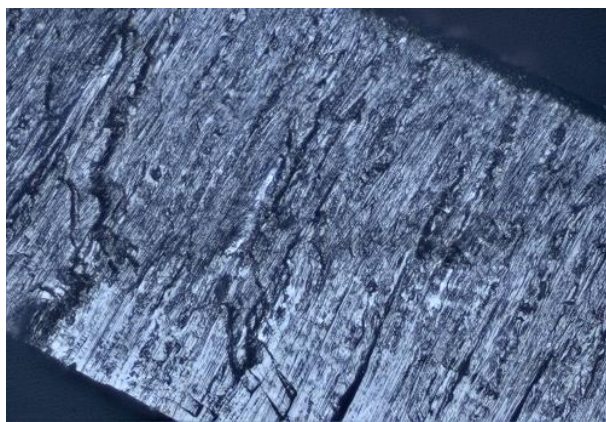
органикалық заттары құрылымы бойынша аморфты полимерлерге жақын деген болжамға негіз болады.

Раманов спектрлері толқын ұзындығы 473 нм өлшенді. Негізінен барлық спектрлер аморфты көміртекке тән екі пикпен ұсынылған (сурет 8). Бұл пиктер D (diamond) және G (graphite) белдеулерге қатысты.

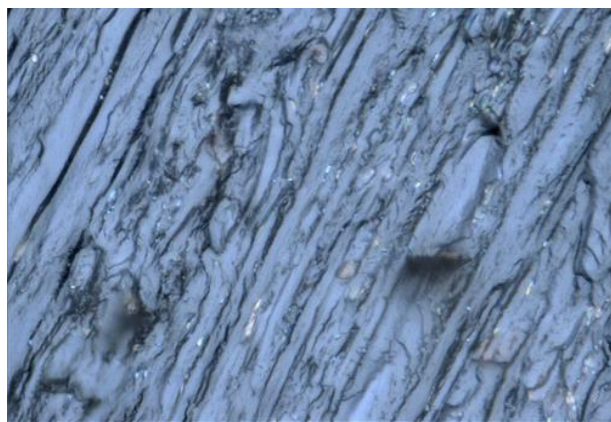
Раманов спектрлері кеңірек ( $3500\text{ см}^{-1}$ ) диапазонда жазылған. D-және G диапазондары деп аталатындар спектрде  $1000\text{-нан } 2000\text{ см}^{-1}$  аралығында жазылады;  $2700\text{-ден } 3200\text{ см}^{-1}$ -ге дейін C-H байланыстарына тән кең жолақтар; ал  $3500\text{-ден } 4000\text{ см}^{-1}$ -ге дейін диффузиялық сигнал, оның қарқындылығы ұшқыштар эмиссиясының ұлғаюымен артады. 8 - суретте көрсетілгендей, қоңыр көмірдің әр түрлі маркаларындағы G-шыңының жиілік позициясы іс жүзінде өзгермейді ( $\sim 1592\text{ см}^{-1}$ ), D-шыңынан айырмашылығы, ЛҚК көмірінде жиілігі  $1360\text{ см}^{-1}$ , ал ОЛК көмірінде  $1390\text{ см}^{-1}$  дейін жоғарылайды. D шыңының жоғары қарқындылығы LLK көмірінің үлгісінде көрсетілген көміртегі құрылымындағы өзгерістің жоғарылауын көрсетеді.  $2500\text{-}4000\text{ см}^{-1}$  аймағында диффузиялық жолақтың пайда болуының себебі тотыққан көміртегі құрамында H, O, S және N атомдары түзетін химиялық байланыстардың және ылғалдың болуымен байланысты.

Люминесценция жолақтарының аясында  $\sim 1370\text{ см}^{-1}$  кезінде (аморфты карбон және метил топтардың ыдырауы) және  $\sim 1600\text{ см}^{-1}$  кезінде (ароматты қосылыстардың сақиналары және олармен жанасқан дикарбонат қышқылдардағы C=O-байланыстарда ыдырау, сонымен қатар алкен C=C) максимумдарында қарқынды Раманов сызықтары байқалады. Көрсетілген үлгілер әрбір жеке бөлшекте облысқа қарай біртекті емес құрылымға ие.

Леңгір және Ой-қарағай қоңыр көмір микроқұрылымын алғаш зерттеу мақсатында Leica DM 6000M оптикалық микроскопы қолданылды. Фотосуреттерде қоңыр көмірдің қабатты архитектурасын көруге болады (сурет 9). Қоңыр көмір үлгісі құрылымының салыстырмалы түрде тегіс беткейінің суреті алынды, беті кеуектермен біркелкі жабылмаған, сонымен қатар көмірдің құрылымының реттелген бір бағытты.



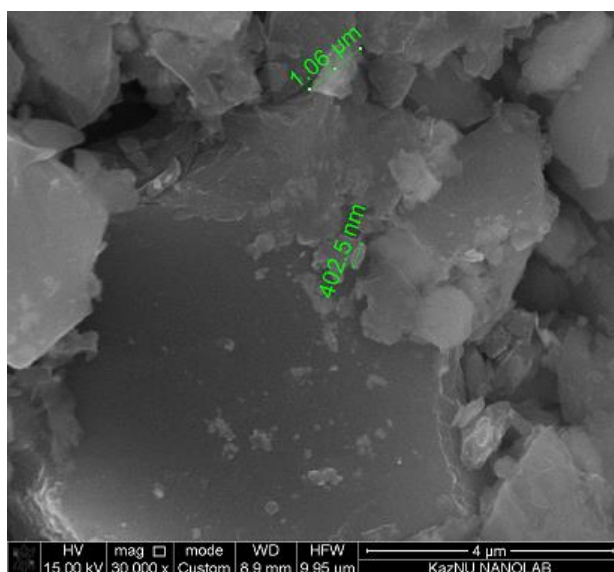
ЛҚК



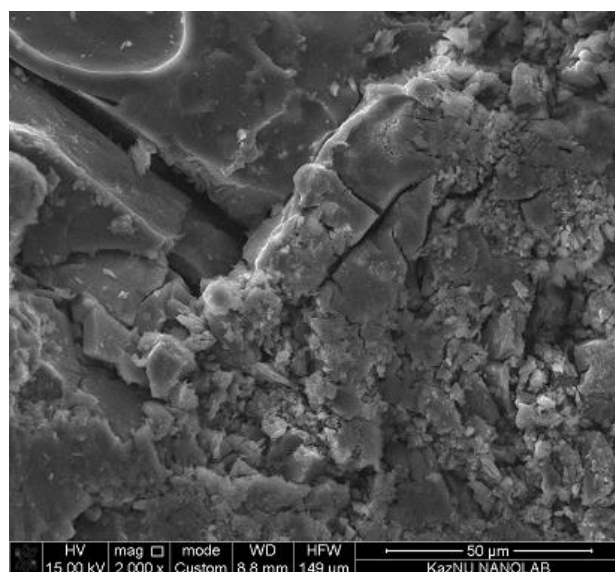
ОҚК

Сурет 9 – Қоңыр көмірлердің кеуекті құрылымы

Қоңыр көмір үлгілерінің беттік құрылымын толық талдау үшін сканерлеуші электронды микроскопия әдісі қолданылды. Леңгір және Ой-қарағай қоңыр көмір үлгілерінің микросуреттері 10-шы суретте көрсетілген. Сканерлеуші электронды микроскопия әдісі арқылы қоңыр көмірді талдау әртүрлі беттік құрылымдарды көрсетеді. Көмірлердің құрылымы жоғары тығыздықпен сипатталады, көмірдің жарықтармен бөлінген гетерогенді бөліктері болады. Көмір құрылымының күрделілігі оның гетерогенділігімен байланысты, себебі құрамында органикалық және минералды компоненттер болады. Көмірдің органикалық бөлігі конденсацияланған алифатты және ароматты құрылымдардың болуымен сипатталады, олардың әрқайсысы айқын кристалды түзілімдер құрайды.



ЛҚК



ОҚК

Сурет 10 – Қоңыр көмірлердің беткейінің сканерлеуші электронды микроскопия әдісі арқылы алынған суреттері

Материалдың беті жергілікті изометриялық формалардың жинақталуымен, әрі, гетерогенді құрылымымен сипатталады, бұл құрамда кварц пен пирит сияқты екінші реттік минералдардың бар екендігін көрсетеді. Бетінде сонымен қатар мөлшері 0,1-2 мкм болатын глобулярлы микроқұрылымдар да бар.

ЛҚК көмірлердің құрылымы, әдетте, гетерогенді; кейбір жерлерде түйінаралық жарықтар байқалады, сонымен қатар изометриялық пішіндердің жергілікті жинақталуы байқалады, беті борпылдақ. ОҚК үлгісінің беті біртекті, бөлшектердің пішіні мен өлшемі тұрақты, ал үстіңгі қабатының құрылымы кеңінен дамыған, бұл әдетте кварцтың болуын көрсетеді.

Ой-қарағай кен орнының көмірлері негізінен органикалық заттардан және минералды қоспалардан тұрады. Көмірдің органикалық заттарын құрайтын негізгі элементтер С, Н, О, N және органикалық S болып табылады. Сонымен қатар олардың құрамында кейбір металдардың химиялық қосылыстары – Ca, Fe, Mg, Mn кездеседі. Ой-қарағай қоңыр көмірінің сапасы Леңгір қоңыр көміріне қарағанда жоғары, оның органикалық заттардың қатысымсыз брикет жасауға

болатындығын көрсетеді. Алынған нәтижелер ЛҚК қоңыр көмірінен биобрикет жасау үшін көмірдің сапасын арттыруды талап ететіндігін айқындайды.

Қоңыр көмірдің техникалық, химиялық құрамы мен физика-химиялық құрылымына жүргізілген анализдер нәтижесінде бұл шикізатты (ЛҚК) биоконверсия жүргізуге жарамдылығы анықталды. Сонымен қатар, Ой-қарағай қоңыр көмірінің физика-химиялық қасиеттерін зерттеудің нәтижесінде олардың қоңыр және қара шірік көмірлерге жататыны белгілі болды.

Қатты отынды пайдалану тәсілін таңдауда көмір сапасының ең маңызды көрсеткіші болып табылатын жалпы күкірттің құрамы ( $S_{total}$ ) ескеріледі. Әдетте, бұл көмір сапасының ең маңызды көрсеткіші болып табылады. Күкірттің формалары ( $S_S$ ,  $S_O$ ,  $S_P$ ) сапасыз отынға толық сипаттама беру қажет болғанда ғана анықталады. Жоғарыда сипатталған элементтік талдау С, Н, О, N және органикалық күкіртпен бірге анықтауды қарастырады. Көмірдегі S құрамы олардың технологиялық көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін болғандықтан, күкірттің әртүрлі түрлерін анықтау бойынша талдау жүргізілді (кесте 5). Қатты отынында жалпы күкіртті металдардың сульфидтері мен бисульфидтеріне кіретін сульфидті ( $S_S$ ) және пиритті ( $S_P$ ) көмірдің органикалық массасының құрамына кіретін органикалық күкіртті ( $S_O$ ), металдар сульфаттары түрінде болатын сульфатты ( $S_S$ ) және отында бос күйде кездесетін элементті күкірт ( $S_E$ ) қосындысы қарастырылды. Көмірдің техникалық табиғатын сипаттайтын көрсеткіштердің бірі – жалпы күкірт ( $S_{total}$ , %) – талданатын сынамаға қатысты шартты түрде элементтік күкіртке ( $S_E$ ) есептелген барлық қосылыстардағы осы элементтің жалпы құрамын көрсетеді.

Кесте 5 – Леңгір мен Ой-қарағай қоңыр көмірлеріндегі әр түрлі күкірт түрлерінің мөлшері

Күкірт түрлері	Құрамы, %	
	ЛҚК	ОҚК
Жалпы күкірт – $S_{total}$	$3,14 \pm 0,02$	$1,71 \pm 0,03$
Сульфатты күкірт – $S_S$	$<0,01$	$<0,01$
Пиритті күкірт – $S_P$	$1,61 \pm 0,01$	$1,18 \pm 0,01$
Органикалық күкірт – $S_O$	$1,53 \pm 0,01$	$0,54 \pm 0,02$

ISO 334-74 сәйкес Mg және Na күкірт қышқылды тұздарының түзілуімен Эшка қоспасымен көмір отынын жағу кезінде пайда болатын күкірт оксидтерін сіңіруге негізделген гравиметриялық әдіс қолданылады. Түзілген тұздар ыстық суда ерітіліп,  $BaCl_2$  тұз қышқылымен қышқылдандырылған ерітіндіге тұндырылады.  $BaSO_4$  мөлшері бойынша күкірттің массалық үлесін есептейді. ISO 157-75 халықаралық стандартына сәйкес, сульфатты күкірт ( $S_S$ ) салмақтық әдіспен анықталады. Бұл әдіс қатты отын сульфаттарының HCl-да еруіне және  $BaCl_2$  сульфат иондарын тұндыруды білдіреді.

ISO 157-75 халықаралық стандартында  $HNO_3$  пиритті тотықтандыру кезінде саны бойынша пирит күкірттің ( $S_P$ ) құрамы анықталатын еритін сульфаттардың

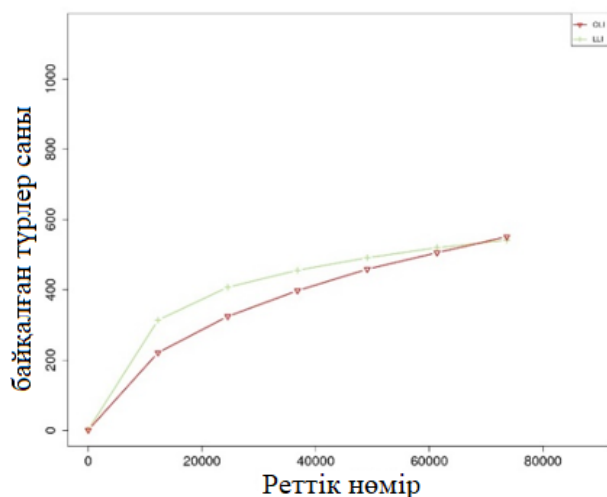
түзілуіне негізделі отырып,  $\text{FeS}_2$  түрінде күкіртпен байланысты темір құрамын анықтауға негізделген тотықтандыру әдісі келтірілген. Органикалық күкірттің ( $S_o$ ) массалық үлесін айырмашылық бойынша массалық үлестен  $S_s$ ,  $S_p$  және  $S_{total}$  шегеру жолымен анықтайды.

Алынған нәтижелер бойынша, Леңгір көмірі үлгісінде жалпы күкірт 3,14%, Ой-қарағай көмір үлгісінде күкірт 1,71% құрайды, яғни олар орташа күкіртті көмірлерге жататынын көрсетеді. Негізінен, күкіртті әр түрлі табиғатты қатты отын бойынша және жетілу дәрежесі бойынша бөлуде ешқандай заңдылық жоқ. Жалпы күкірт 100% ретінде қабылданатын  $S_{total}$  құрамындағы S жеке түрлері көмірде жиі  $S_p$  және  $S_o$  арасында бірдей бөлінеді, себебі  $S_s$  мөлшері барлық күкірттің 15% аспайды [280]. Зерттеуге алынған Леңгір және Ой-қарағай қоңыр көмірлеріндегі күкірттің мөлшері төмен екенін көрсетті.

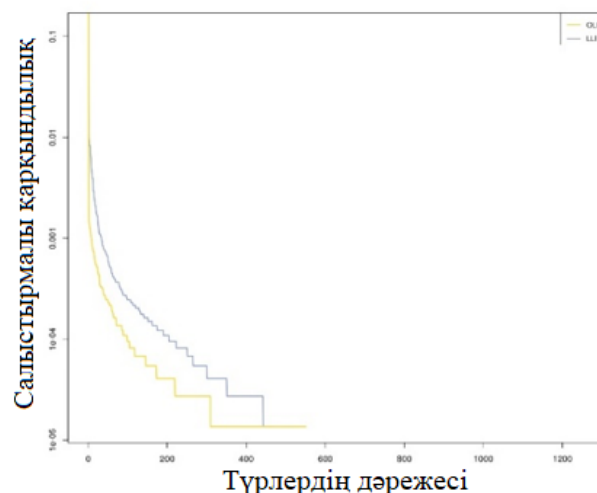
### **3.2 Қоңыр көмірлердің микробтық қауымдастықтарын анықтау үшін метагеномды талдау және бактериялардың жалпы санын анықтау, таза дақылдарын бөліп алу**

Көмір түзуде микроорганизмдердің маңызды рөліне қарамастан, қоңыр көмір микробиомы толық зерттелмеген. Көптеген әдебиеттерде қоңыр көмірде тіршілік ететін бактериялар мен саңырауқұлақтардың әртүрлі қасиеттері туралы айтылады [277, 293].

Осы жұмыстың аясында көмір қабаттарының микробиологиялық мониторингі бойынша зерттеулерде ұтымды пайдалану үшін 16S rDNA генінің таксономиялық әртүрлілігін зерттеу бойынша деректер өңделді. Жұмыста метагеномды технологияларды қолдану арқылы қоңыр көмірлерінің (ЛҚК, ОҚК) микробтық қауымдастығының таксономиялық әртүрлілігі зерттелінді. Қоңыр көмір үлгілеріндегі тізбектердің саны кең диапазонда өзгергендіктен, сондай-ақ микробты алуантүрліктің белгіленген индекстерін есептеу үшін (кесте 6) әрбір үлгінің реттілігінің кездейсоқ үлгілері үшін есептелген көрсеткіштердің орташа мәндері қолданылды (Rarefaction талдау). Осы үлгілер үшін жүргізілген реттілікті талдау нәтижелері сиквенирленген реттіліктің көлемі ұлғаюымен ОТБ (операциялық таксономиялық бірлік) жинақталуының әр түрлі бағытты динамикасын көрсетті (сурет 11, а). Графиктегі қисық сызықтардың көлбеулік бұрышы микробты алуантүрліктің қосымша индикаторы болып табылады – көлбеулік бұрышы неғұрлым үлкен болса, микробиом соғұрлым алуан түрлі болады. Ал сан қисығы (сурет 11, ә) микробтық қауымдастықтың түрлік құрамының динамикасындағы салыстырмалы қарқындылықты көрсетеді.



а. Өсу қисығы



ә. Сан қисығы

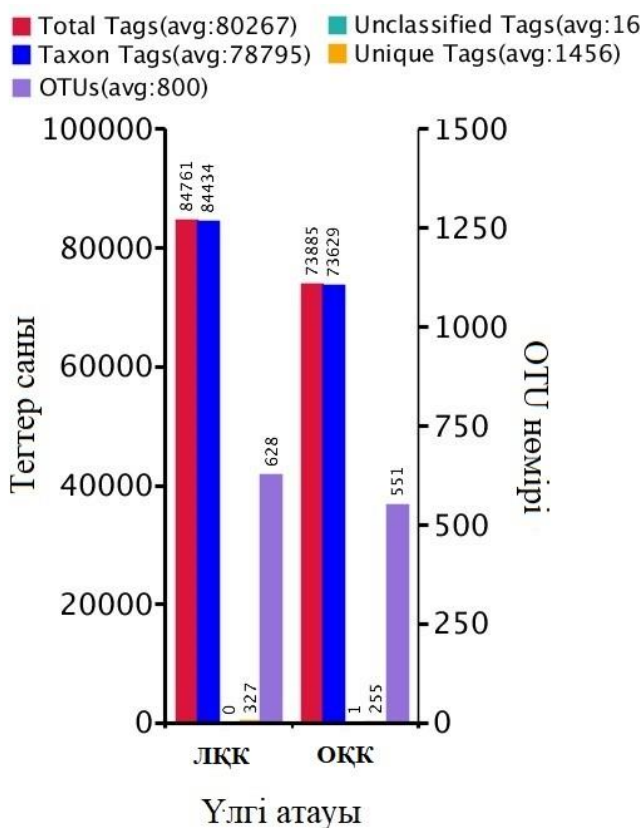
Сурет 11 - «Rarefaction» тесті

Түр дәрежесіндегі деректер (анықталған ОТБ саны) және ЛҚК мен ОҚК үлгілері үшін биоалуантүрлілік индекстері 6-шы кестеде келтірілген.

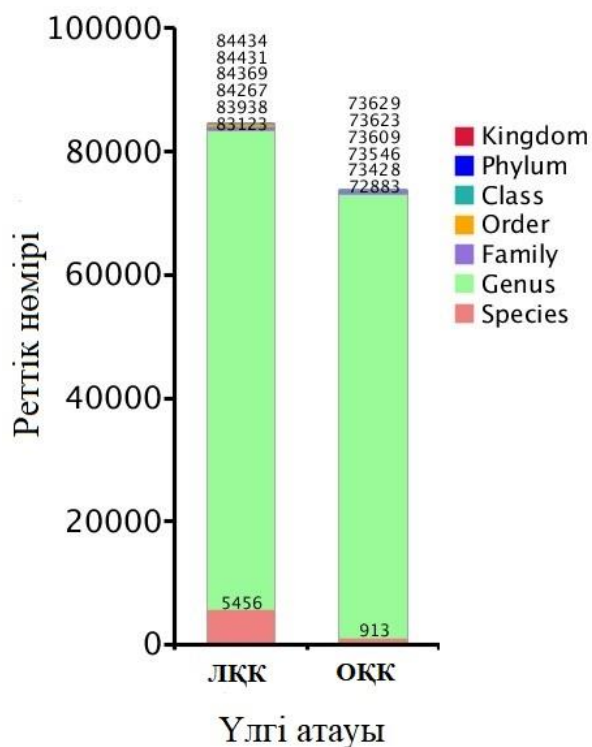
Кесте 6 – Қоңыр көмір үлгілеріндегі микробты алуантүрліктің негізгі көрсеткіштері

Үлгілер	Сиквенс саны	ОТБ саны	Shannon индексі	Chao1 индексі	ACE индексі
ЛҚК	541	628	1.800	593.161	611.707
ОҚК	572	2.637	0.619	633.008	658.940

Микроорганизмдер қауымдастығында анықталған биоалуантүрлік деңгейі, жалпы алғанда, жоғары мәндерге жетті, яғни олардың мыңға жуық түрден тұратыны анықталды. Алуантүрлілік индексіне арналған тест мәліметтері көрсеткендей, ЛҚК мен ОҚК көмірлеріндегі микробты алуантүрліктің аз болуы үлгілерді жерасты қойнауынан алынуына байланысты. Егер тотыққан көмірді қолданатын болсақ, микробты алуантүрліктің сандық мәні жоғары болатынын көруге болар еді, себебі әр түрлі микроорганизмдер үшін энергия көзі бола алатын көмірдің жоғары тотығу (ауалық) күйімен байланысты. Нәтижеде микробтық сандық мәнің жоғары екендігі көрсетілді, бұл көмір үлгілерінің микробиомға бай екенін көрсетеді.



Сурет 12 – OUT бойынша кластерлеу және аннотациялау статистикасы



Сурет 13 – Жіктеудің әр түрлі деңгейлерінде көмір үлгілерінің реттілік статистикасы

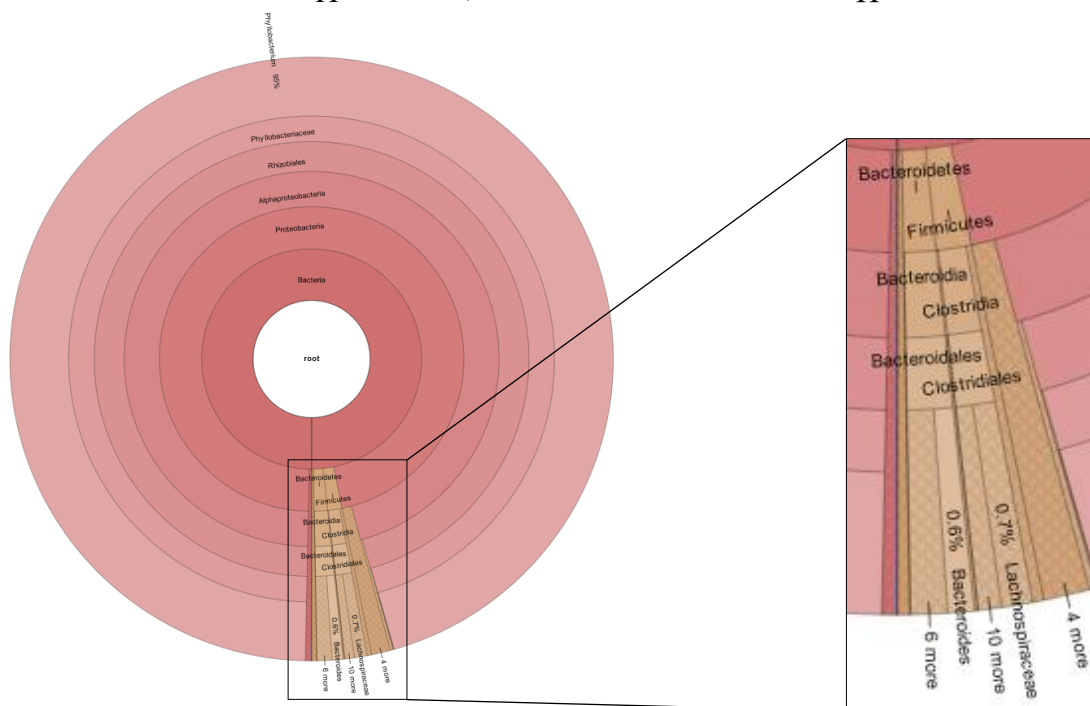
ЛҚК-дің ОҚК-мен салыстырылатын жоғары Shannon индексімен көрінді, бұл сонымен бірге осы объектіде климакс типті микроқоғамдастықтың бар екендігін көрсетеді (сурет 12, 13) [290].

Микробтық қауымдастықтың таксономиялық құрылымын домен деңгейінде талдағанда, микробиомның барлығы толығымен бактериялар екендігі анықталды, яғни, ЛҚК мен ОҚК үлгісінде бактериялардың үлесі 100,0% құрады (сурет 14, 15).

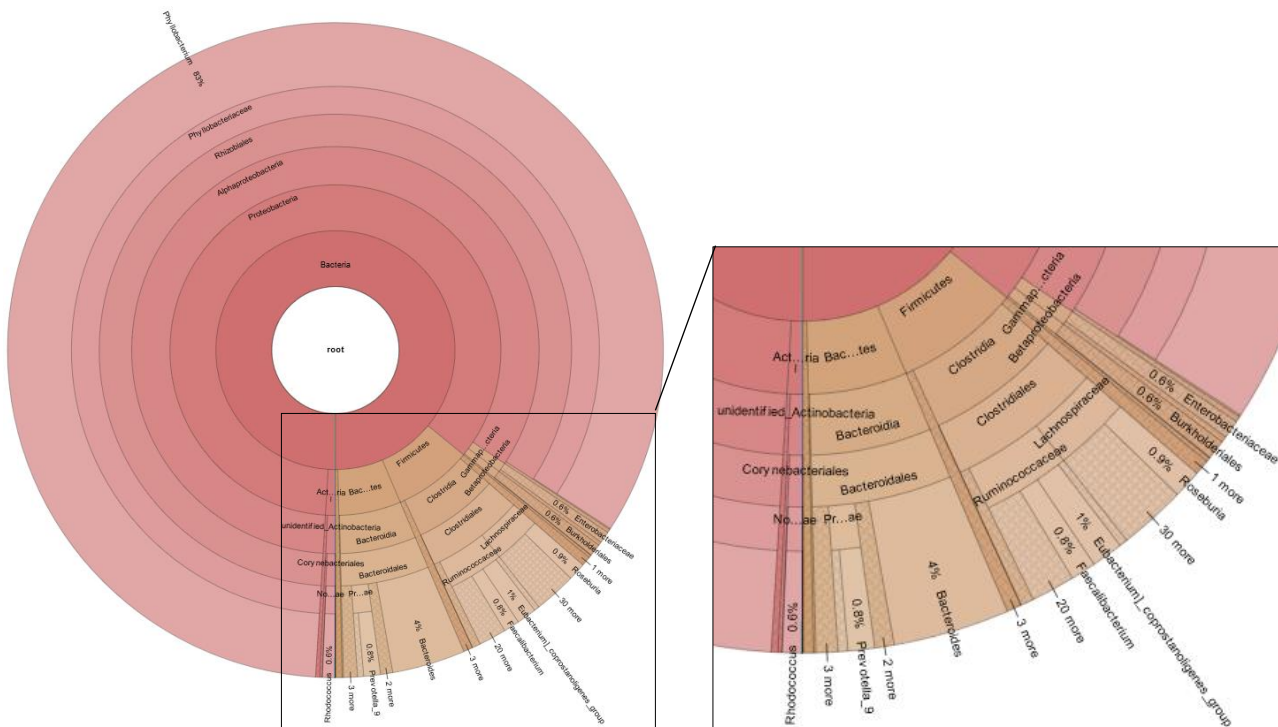
Тип (phylum) деңгейіндегі нуклеотидтер тізбегін таксономиялық талдау кезінде көмір үлгілерінде 10 бактериялық топтың өкілдері *Proteobacteria*, *Tenericutes*, *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Nitrospirae*, *Chloroflexi*, *Gemmatimonadetes*, *Acidobacteria* және *Fusobacteria* анықталды (сурет 16). Белгіленген бактериялардан басқа, бұл сынамаларда тип деңгейінде сәйкеспейтін әр түрлі тізбектер болды, олардың үлесі ЛҚК мен ОҚК үшін де 6% құрады. Екі сынамада да 4/3 бөлігінен көбін *Proteobacteria* туысының бактериялық өкілдері құрады [291]. Зерттелген қоңыр көмір үлгілері тек тип деңгейінде ғана емес, сонымен қатар класс, қатар, тұқымдас деңгейінде де анықталды. Алынған нәтижеге сай 17-ші суреттен көрініп тұрғандай, класс деңгейінде бұл реттіліктердің максималды үлесі екі үлгіде де *Alphaproteobacteria* туысының өкілі басым болып тұр [63], сонымен қатар, *Mollicutes*, *Clostridia*, *Gammaaproteobacteria*, *Actinobacteria*, *Acidimicrobiia*, *Bacteroidia*, *Nitrospira*,



*Betaproteobacteria*, *Thermoleophilia* өкілдері кездеседі. Анықталмаған түрлер ЛҚК сынамасында 1,5% құраса, ОҚК сынамасында 0,06% құрады.

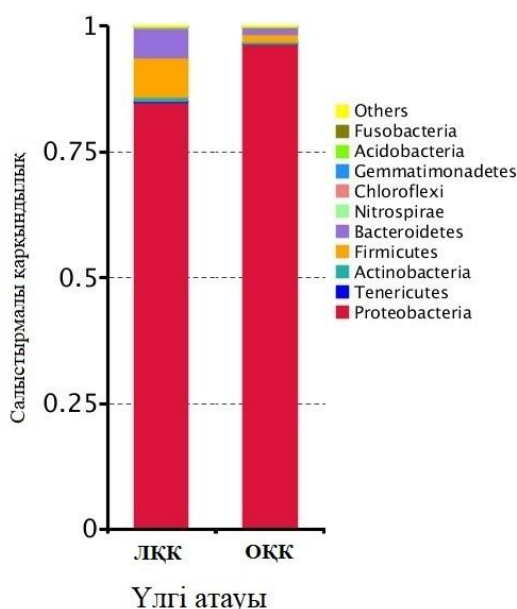


Сурет 14 - Krona бағдарламалық жасақтамасының көмегімен визуализацияланған ОҚК сынамасының бактериялық қауымдастығының таксономиялық жіктелуі

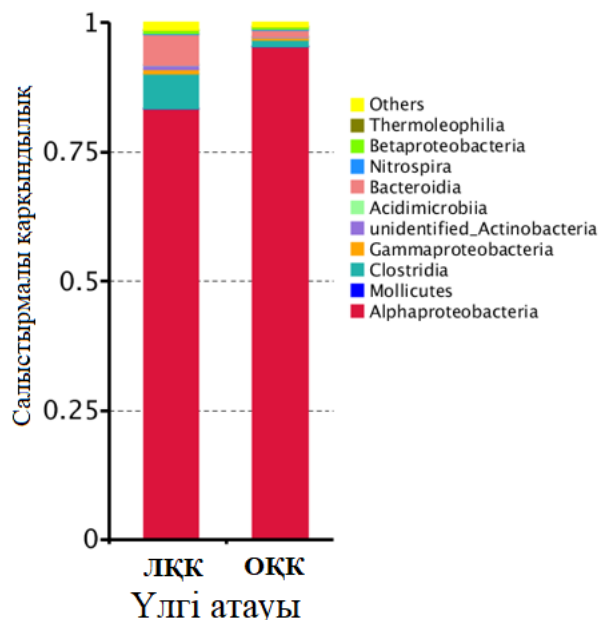


Сурет 15 – Krona бағдарламалық жасақтамасының көмегімен визуализацияланған ЛҚК сынамасының бактериялық қауымдастығының таксономиялық жіктелуі

Қоңыр көмір үлгілерінің қатар деңгейінде қауымдастықтың таксономиялық құрылымы 18-ші суретте көрсетілгендей *Rhizobiales*, *Mycoplasmatales*, *Clostridiales*, *Pseudomonadales*, *Micrococcales*, *Acidimicrobiales*, *Bacteroidales*, *Nitrospirales*, *Alteromonadales*, *Solirubrobacterales* өкілдері құрайды. Солардың ішінде *Rhizobiales* ЛҚК 83% және ОҚК үшін 95% құрады, анықталмаған өкілдері ЛҚК сынамасында 0,03% құраса, ОҚК сынамасында 0,01% құрады.



Сурет 16 – Тип деңгейінде қауымдастықтың таксономиялық құрамы



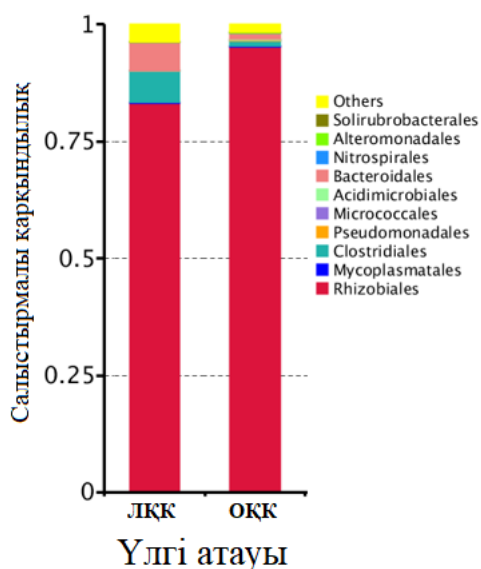
Сурет 17 – Класс деңгейінде қауымдастықтың таксономиялық құрамы

Тұқымдас деңгейінде қауымдастықтың таксономиялық құрамында *Phyllobacteriaceae* тұқымдасы ЛҚК үшін 83% және ОҚК үшін 95% анықталды, сонымен қатар *Mycoplasmataceae*, *Micrococcaceae*, *Nitrospiraceae*, *Pseudomonadaceae*, *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae*, *Bacteroidaceae*, *Shewanellaceae*, *Moraxellaceae* тұқымдас өкілдері де бар. Анықталмаған өкілдері ЛҚК сынамасында 0,06%, ОҚК сынамасында 0,02% болды (сурет 19).

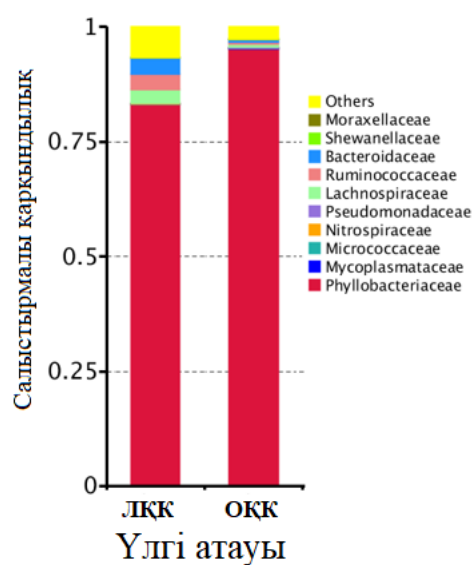
Сонымен, алғаш рет жоғары өткізу қабілеттілігінің секвенирлеу деректерін талдау негізінде қоңыр көмір қабатындағы микробтар қауымдастығы метагеномының таксономиялық құрылымы сипатталды. Алғаш рет *16S rDNA* генінің таксономиялық кеңістігінде Леңгір және Ой-қарағай көмір кен орындарының қоңыр көмір қауымдастығының динамикасын математикалық модельдеу әдістері олардың құрылымы мен динамикасын сипаттайтын интегралды параметрлерді есептей отырып жүргізілді.

Жұмыстың келесі сатысында ЛҚК және ОҚК қоңыр көмірлерінен бактериялардың аэробты дақылдары бөлініп алынды. Дақылдарды байыту әдісі қолданылды, ал бактериялық изоляттарды іріктеу дақылдық-морфологиялық белгілердің ерекшеліктеріне байланысты жүргізілді. ЕПА қоректік ортасында

күңгірт, ақ-сұр түсті, пішіні бұрыс, беті қыртысталған, жиегі әркелкі, мөлшері <5 мм кіші колониялар түзіп өсті.



Сурет 18 – Қатар деңгейінде қауымдастықтың таксономиялық құрылымы



Сурет 19 – Тұқымдас деңгейінде қауымдастықтың таксономиялық әртүрлілігі

Спора түзетін және спора түзбейтін бактериялық клеткалардың морфологиясын зерттеуде Грам мен Ожешко әдістері бойынша дайындалған препараттар қолданылды. Биологиялық материалдарды микроскопиялық зерттеу кезінде оқшауланған клеткалардың мөлшері 2,0-5,0 мкм таяқша екені анықталды.

Қоңыр көмір үлгісіне микробиологиялық сандық сипаттама жасалды. 7-ші кестеде Леңгір және Ой-қарағай қоңыр көмір сынамаларындағы аэробты және анаэробты микроорганизмдердің сандық құрамын зерттеу нәтижелері көрсетілген. ЛҚК мен ОҚК сынамаларындағы аэробты микроорганизмдердің жалпы саны сәйкесінше  $17,2 \times 10^4$  КТБ/г және  $13,4 \times 10^4$  КТБ/г болатындығы анықталды.

Кесте 7 – ЛҚК және ОҚК үлгілерінің жалпы микробтық саны

Үлгілер	Микробтардың жалпы сандық көрсеткіші, КТБ/г	
	Аэробтар	Анаэробтар
ЛҚК	$17,2 \times 10^4 \pm 0,5$	$3,8 \times 10^3 \pm 0,4$
ОҚК	$13,4 \times 10^4 \pm 0,7$	$2,4 \times 10^3 \pm 0,3$

7-ші кестеде келтірілгендей, ОҚК-дегі аэробты микроорганизмдердің саны ЛҚК -ге қарағанда төмен, үлгілердегі анаэробты бактериялардың саны де төмен екендігі белгілі болды; ЛҚК –  $3,8 \times 10^3$  КТБ/г, ал ОҚК-де анаэробтар –  $2,4 \times 10^3$  КТБ/г көрсеткіш көрсетті. Алынған нәтижелер қоңыр көмірдің орналасу ортасына байланысты, себебі ЛҚК және ОҚК сынамалары терең қабаттардан

алынды және метагеномды талдауда көрсетілген бактериялардың басым бөлігі жасанды қоректік ортада өсуге қабілетсіз.

Қоңыр көмірде өсуге қабілетті микроорганизмдердің әр түрлі физиологиялық топтарын анықтау үшін белгілі бір изоляттардың өсуіне және дамуына қолайлы жағдай туғызатын арнайы қоректік орталарды қолдану арқылы элективті жағдайлар жасалды. Сонымен, элективті ортаны қолдана отырып жүргізілген зерттеулер нәтижесінде салыстырмалы түрде 3 кен орнынан: Ленгір қоңыр көмірінен 3 дақыл, Ой-қарағай қоңыр көмірінен 3 дақыл, Қарағанды қоңыр көмірінен 4 дақыл бөлініп алынды.

Зерттеудің келесі кезеңінде бөлініп алынған бактериялардың фенотиптік сипаттамалары анықталды. Қоңыр көмір үлгілерінен бөлініп алынған таза дақылдардың морфологиялық қасиеттері клеткалардың пішіні, мөлшері, агрегациясы, капсуласының болуы, спора түзуі, Грам әдісі бойынша боялуы бойынша зерттелінді. Бөлініп алынған 10 таза дақылдың дақылдық-морфологиялық қасиеттері 8 кестеде келтірілген.

Кесте 8 – Қоңыр көмір үлгілерінен бөлініп алынған изоляттардың дақылдық-морфологиялық қасиеттері

№	Дақыл атаулары	Колония сипаттамасы	Клетка морфологиясы
1	RKB 1	Дөңгелек, ақшыл түсті, беті дөңес, шеттері тегіс, диаметрі ~3 мм	Қысқа, дөңгелек, 1,0-2,0 мкм, грамтеріс, спорасыз
2	RKB 2	Дөңгелек, ашық жасыл, шырышты, беті кедір-бүдір, шеттері тегіс, диаметрі ~4 мм	Үлкен, грамтеріс таяқшалар, көлемі ~ 3 мкм, қозғалмалы
3	RKB 5	Дөңгелек, ақшыл қызыл, беті дөңес, шеттері тегіс, диаметрі ~5 мм	Грамтеріс, таяқша тәрізді, көлемі 2,5-4 мкм, спорасыз клеткалар
4	RKB 7	Дөңгелек, ақшыл түсті, беті дөңес, жиектері қисық, жылтыр, диаметрі ~3 мм	Грамоң, таяқша тәрізді, 0,7-4 мкм, спорасыз клеткалар
5	RKB 10	Дөңгелек, ашық жасыл, шырышты, беті кедір-бүдір, шеттері тегіс, жылтыр, диаметрі ~4 мм	Грамтеріс, таяқша тәрізді, көлемі 2-3 мкм, қозғалмалы клеткалар

Жұмыста оқшауланған бактериялардың физиологиялық және биохимиялық қасиеттерін зерттеу үшін дәстүрлі микробиологиялық әдістер қолданылды (кесте 9).

Кесте 9 – Қоңыр көмір үлгілерінен бөлініп алынған бактериялардың физиологиялық және биохимиялық қасиеттері

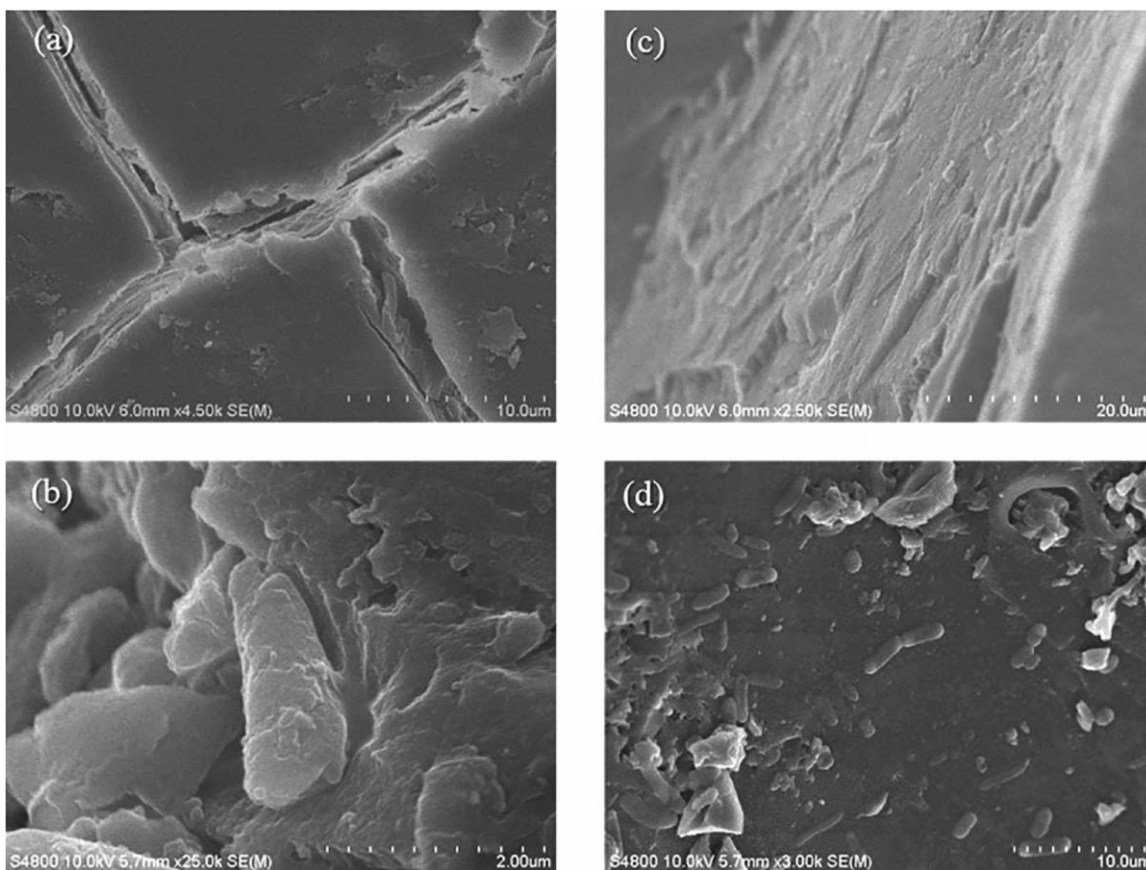
Дақылдар	Сипаттама															
	Катализалық белсенділігі	Оксидазалық белсенділігі	Индол тест	Нитраттың редукциясы	Қозғалу	Гидролиз			Ассимиляция							
						Казеин	Желатин	Крахмал	Глюкоза	Мальтоза	Маннит	Арабиноза	Ксилоза	Лактоза	Манноза	Сорбит
RKB 1	+	-	+	±	-	-	-	-	+	±	-	-	-	-	-	-
RKB 2	+	-	±	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
RKB 5	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
RKB 7	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
RKB 10	+	-	±	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-

### 3.3 Қоңыр көмірлердің бактериялармен байланысы, өсу динамикасы

Қоңыр көмірдің құрылымдық модификациясы мен деполимерленуін зерттеуде екі түрлі принципті ажырату қажет. Қара сұйықтықтың пайда болуына алып келетін қоңыр көмірдің еруі негізінен ферментті еру процесі емес, ол рН мәнінде (рН 7-10) жоғары болады. Микробтық сілтілі түзілуге байланысты және хелат агенттер мен беттік белсенді заттар болып табылады. Сонымен қатар, соңғы зерттеулер кейбір гидролитикалық ферменттердің ерігіштік процесін күшейтетіні туралы жаңа дәлелдер берді. Көмірдің еруі көмірдегі гуминді заттарының молекулалық салмағының айтарлықтай төмендеуіне алып келеді [294].

Сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) көмегімен көмірдің микроорганизмдермен биосолюбилизациясын бағалаудың құнды әдісі болып табылады. Сонымен қатар, көмір бетінің кедір-бұдырлығы СЭМ-ді материалдың бетіндегі жарықтар мен саңылауларда бактериялардың клеткалары мен биоқабықшалардың пайда болуы туралы толық ақпарат беретін құрал болып табылады. СЭМ мәліметтері бойынша, қоңыр көмірде өсуге қабілетті изоляттар биоагрегаттарының клеткадан тыс кеңістігін құрайтын және биоқабатты матрикстің архитектурасын құрайтын полимерлі заттар бөледі. Бұл құрылымдар бактерия клеткаларының көмір бетіне бекінуіне мүмкіндік береді. Қоңыр көмір үлгілерінің СЭМ арқылы алынған микроекскіндері 20-шы суретте бейнеленген, онда көмір бетіне бекітілген таяқша тәрізді клеткалары айқын көрсетілген.

Бактериялардың көмір беткейіне жабысуы, негізінен, жеке клеткалар түрінде көрінеді, алайда клеткалардың колониялары біршама «үнгірлі» жерлерде де кездеседі, бұл олардың оңай агрегациясына ықпал етеді.

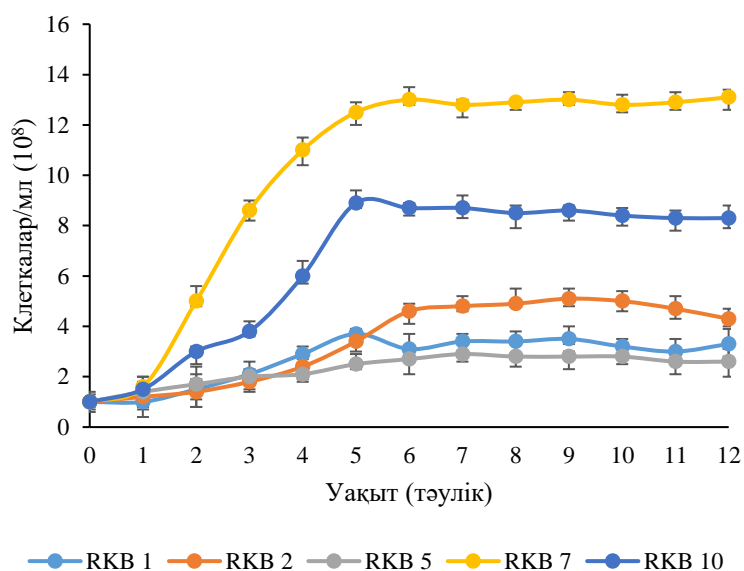


Сурет 20 – Көмір үлгілерінің СЭМ-микроскескіні (әр түрлі ұлғайту): а – өңделмеген ОҚК көмір үлгісі ( $\times 4500$ ), б – ОҚК көмір бетіндегі бактерия клеткалары ( $\times 25000$ ), с – өңделмеген ЛҚК көмір үлгісі ( $\times 2500$ ), d – ЛҚК көмір бетіндегі бактерия клеткалары ( $\times 3000$ )

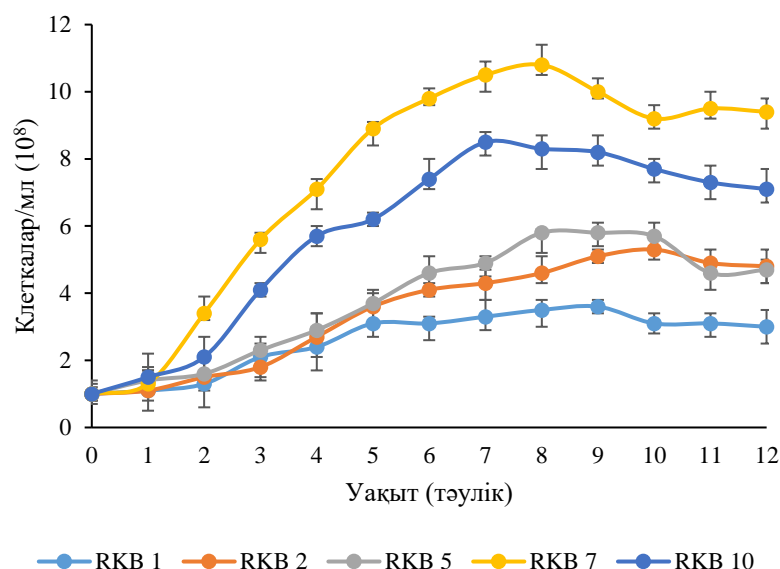
Қоңыр көмірдің ерігіштігі және оның деполимерленуі микроорганизмдердің әсерінен жылдам жүреді [295]. Жасанды ыдырауды алдын ала көмірді өңдеу жұмыстарын зертханада азот қышқылы ( $\text{HNO}_3$ ), сутегі асқын тотығы ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), озон ( $\text{O}_3$ ) немесе сәулелендіру арқылы жүргізуге болады [296]. Жоғарыда айтылған құрылымдық модификациядан басқа, төмен молекулалы ароматты қосылыстардың күрделі қоспасы болып табылатын жылжымалы фазаның бөліктерін қолдану арқылы қоңыр көмірде бірқатар бактериялар өсе алады және көміртектің жалғыз көзі ретінде парафин тәрізді алифатты қосылыстарды пайдаланады [297]. Қазіргі уақытта бұл органикалық қосылыстардың нақты табиғаты туралы ақпарат жоқ, бірақ төмен молекулалық модельдерді қолданатын зерттеулер олардың құрамына фенолдар, бензой қышқылдары, бифенилдер мен дифенил эфирлері, сондай-ақ әр түрлі циклоалкандар, n-алкандар кіретінін көрсетіледі [298]. Кейбір қоңыр көмірлерде кездесетін целлюлоза мен гемицеллюлоза қалдықтары (мысалы, ағаш құрылымын сақтайтын ксилит көмірі) микроорганизмдер үшін көміртектің қосымша көзі бола алады. Көмір бөлшектерінде негізінен микроорганизмдер баяу өседі, бірақ табиғи құрылымдық өзгерістерге ұшыраған немесе химиялық тотыққан көмірлерді қолдану кезінде олардың өсуі айтарлықтай ынталандырылады, себебі тотығу

процесі көмірдегі қосылыстардың биожетімділігін арттыруы ықтимал. Сонымен қатар, минералды ерітінділерді (N, P, S, металл иондары немесе минералды тұздар) қосу немесе құрамында болатын микроорганизмдердің өсуін ынталандырады, бұл табиғи көмірдегі негізгі элементтердің микроорганизмдер үшін шектеулі екендігін көрсетеді. Кейбір жағдайларда қоңыр көмірді қолдану оның еруі арқылы жүруі мүмкін. қоңыр көмірдің биоөндеуіне қатысатын барлық мүмкін болатын механизмдерді сипаттау үшін ABCDE жүйесін [299] ұсынды, олар сілтілі заттар (A = alkaline substances), биокатализаторлар (B = biocatalysts), хелаторлар (C = chelators), детергенттер (D = detergents, беттік белсенді заттар), эстеразалар (E = esterases). Бұл механизмдер қоңыр көмір құрылымын өзгеріске ұшыратады және оның биосольюбилизациясына алып келеді. Қоңыр көмірдің құрамындағы элементтерді қорек көзі ретінде пайдаланып микроорганизмдер көмірдің қуыстарында немесе бетінде тіршілік етеді және оның құрамын үлкен өзгерістерге ұшыратады.

Қазіргі уақытта қоңыр көмірдегі микроорганизмдерді зерттеу негізінен нысаналы микроорганизмдерді іздестіруге бағытталған, ол биоотындарды жасаудың негізі ретінде сапасыз көмірлерді биотүрлендіру үшін қолдануға үлкен септігін тигізеді. Леңгір қоңыр көмірінде бактериялардың таза дақылдарының өсу қабілетін зерттеу үшін 5 бактерия штамдары пайдаланылды. Қоңыр көмірде бактериялардың өсуін зерттеуге арналған тәжірибелерде түрлендірілген минералды орта қолданылды. Зарарсызданған Леңгір және Ой-қарағай қоңыр көмірі көміртегі мен азоттың жалғыз көзі ретінде қосылды. Микроорганизмдердің минералды ортада метаболиттік өсу қабілеті суспензиядағы микробтық клеткалар санының өзгеру динамикасымен анықталды (сурет 21, 22).



Сурет 21 - ОҚК қоңыр көмірі бар ортада бактерия дақылдарының өсу динамикасы



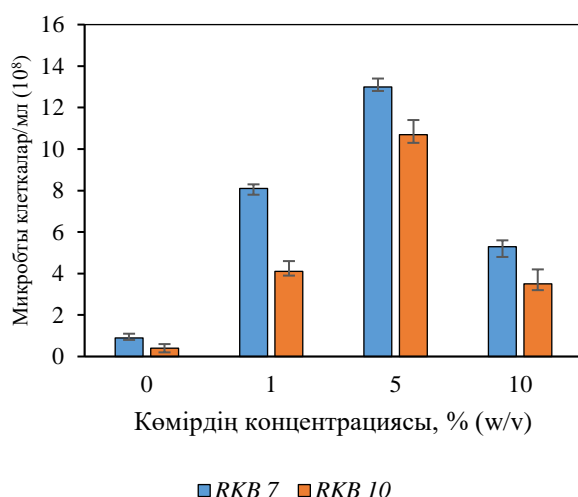
Сурет 22 - ЛҚК қоңыр көмірі бар ортада бактерия дақылдарының өсу динамикасы

Оқшауланған дақылдардың көміртектің жалғыз көзі ретінде 5% көлемінде қоңыр көмір пайдаланылды. Тәжірибе 14 күн бойы жүргізілді. Оқшауланған дақылдардың белсенді көбеюін ОҚК қоңыр көмірі үшін 6 – күні RKB 7 дақылы көрсетті – ортадағы ең көп клеткалар санының пигі  $13,0 \times 10^8$  кл/мл, ал RKB 10 дақылы үшін 5-ші күні  $8,9 \times 10^8$  кл/мл құрады. ЛҚК қоңыр көмірі үшін 8-ші күні RKB 7 дақылы үшін  $10,8 \times 10^8$  кл/мл, ал RKB 10 дақылы үшін 7-ші күні  $8,5 \times 10^8$  кл/мл құрады. ЛҚК мен ОҚК да микроорганизмдердің өсу динамикасын салыстырғанда ЛҚК аз болуын көмірдің құрылымы мен құрамына байланысты болуы мүмкін деген қорытынды жасауға болады.

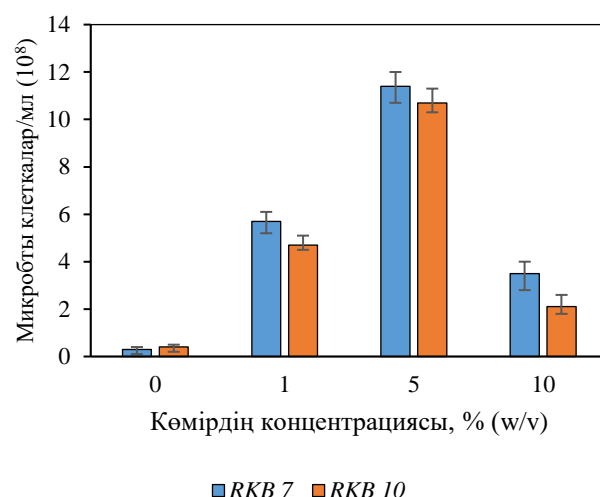
Зерттеу жұмыстарының нәтижелерін ескере отырып суспензиядағы қоңыр көмірдің 5% концентрациясы оңтайлы орта ретінде таңдалды. Ол үшін көмір концентрациясы 0, 1, 5 және 10% болатын ортадағы дақылдардың өсу динамикасы зерттелді. Көміртек пен энергияның жалғыз көзі ретінде залалсыздандырылған көмір қолданылды. 23, 24 – суреттерде қоңыр көмірдің құрамы әр түрлі минералды ортадағы микробтық клеткалар санының өзгеру динамикасы көрсетілген.

23, 24 – суреттерде көрсетілгендей, бактериялардың максималды өсуі ортадағы қоңыр көмірдің концентрациясы 5% болғанда байқалды, ал клетка өсуінің бейімделу фазасы әр дақылда әр түрлі болды.





Сурет 23 – Микроорганизмдердің ОҚК қоңыр көмірінің әр түрлі концентрациясы бар ортасында өсуі



Сурет 24 – Микроорганизмдердің ЛҚК қоңыр көмірінің әр түрлі концентрациясы бар ортасында өсуі

Сонымен, биосолубилизация барысында биосурфактанттардың продуценттері – микроорганизмдердің оқшауланған 2 дақылы құрамында қоңыр көмірі бар ортада қарқынды көбейетіндігін көрсетілді.

### 3.4 Бөлініп алынған бактерия дақылдарының идентификациясы

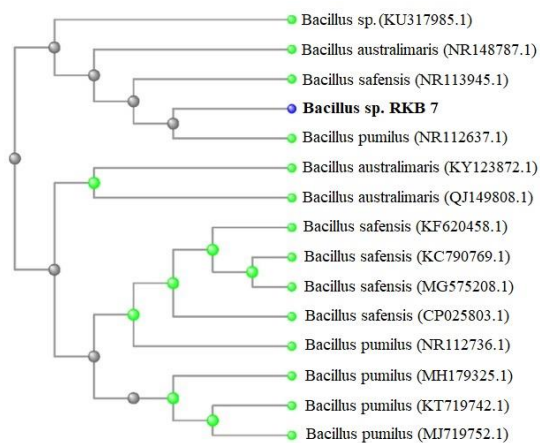
Қоңыр көмір үлгілерінен бөлініп алынған дақылдардың дақылдық-морфологиялық және физиология-биохимиялық қасиеттері зерттелді, сонымен қатар метаболиттік және биосолубилиздеу қасиеттері белсенді RKB 7 мен RKB 10 штамдары түр деңгейіне дейін генетикалық талдау арқылы идентификацияланды. 2 изолятты генотиптеу *16S rRNA* генінің фрагментінің тікелей нуклеотидтік реттілігін анықтау әдісімен, Gene Bank халықаралық мәліметтер базасында депозиттелген реттілікпен нуклеотидтердің сәйкестігін анықтаумен жүзеге асырылды.

Екі сәйкестендірілетін штамдардың *16S rRNA* генінің нуклеотидтік реттілігі талданып, SeqScape 2.6.0 (Applied Biosystems) бағдарламалық жасақтамасында жалпы реттілікке біріктірілді. Осыдан кейін ұштық фрагменттері алынып тасталды, бұл BLAST алгоритмі көмегімен сәйкестендірілген ұзындығы 600 ж.н. жоғары нуклеотидтер реттілігін алуға мүмкіндік берді. Нуклеотидтер реттілігі және сәйкестендіру нәтижелері 10-шы кестеде көрсетілген.

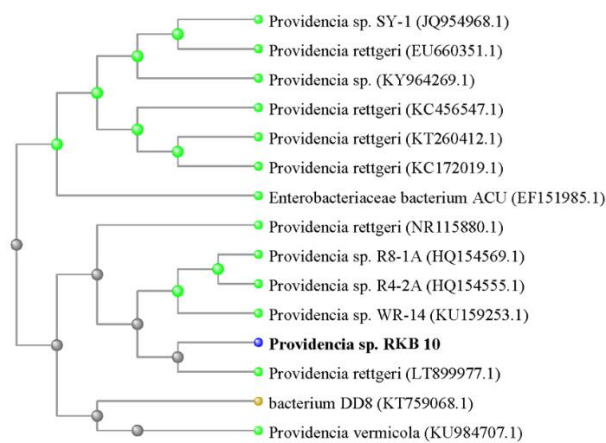
Талдауға филогенетикалық жағынан ең жақын микроорганизмдер *16S rRNA* генінің нуклеотидтік реттіліктері кірді. Нәтижелерден көрініп тұрғандай (сурет 25), RKB 7 штамы *Bacillus pumilus* референтті штамынан шыққан нуклеотидтік реттіліктермен бір тармақта орналасқан. Ал 26-шы суретте көрсетілгендей, RKB 10 штамы *Providencia rettgeri* бір тармақта орналасқан.

Кесте 10 – 16S rRNA генін нуклеотидтік реттілік әдісімен сәйкестендіру нәтижелері

Дақыл атауы	16S р РНҚ генінің фрагментінің реттілігі	BLAST халықаралық деректер қорындағы нуклеотидтер тізбегін анықтау		
		GenBank қосылу нөмірі	Штам атауы	% сәйкестігі
1	2	3	4	5
RKB 7	<p>CTTCGGGGCGCTGGCTCCTAAAGGTTACCTCACGACTTCGGGTGTTGCAAA                      CTCTCGTGGTGTGACGGGCGGTGTGTACAAGGCCCGGGAACGTAATCACCGC                      GGCATGCTGATCCCGGATTAAGCTAGCGATTCCAGCTTCACGCAGTCGAGTTGC                      AGACTGCGATCCGAACTGAGAACAGATTTATGGGATTGGCTAAACCTTGGCG                      TCTTGCAGCCCTTTGTTCTGTCCATTGTAGCACGTGTGTAGCCAGGTCATAA                      GGGGCATGATGATTTGACGTCATCCCCACCTTCTCCGGTTTGTACCCGGCAG                      TCACCTTAGAGTGGCCAACTGAATGCTGGCAACTAAGATCAAGGGTTGCGCT                      CGTTGCGGGACTTAACCCAACTCCTCACGACAGCTGACGACAACCATGC                      ACCACCTGTCACTCTGTCCCCGAAGGGAAAGCCCTATCTTAGGGTTGTGAG                      AGGATGTCAAGACCTGGTAAGGTTCTTCGCGTTGCTTCGAATTAACCCACAT                      GCTCCACCCTTGTGCGGGCCCCGTCAATTCCTTTGAGTTTCAGTCTTGCGA                      CCGTACTCCCCAGGCGGAGTGTCTAATGCGTTAGCTGCAGCACTAAGGGGCG                      GAAACCCCTAACACTTAGCACTATCGTTTACGGCGTGGACTACCAGGGTA                      TCTAATCTGTTCGCTCCCCACGTTTCGCTCCTCAGCGTCAGTTACAGACCA                      GAGAGTGCCTTCGCCACTGGTGTCTCCACATCTTACGCATTTACCCGGT                      ACACGTGGAATTCACCTCTCTCTTCTGCACTCAAGTTTCCAGTTTCCAATG                      ACCCTCCCGGTTGAGCCGGGGCTTTCACATCAGACTTAAGAAACCCGCTG                      CGAGCCCTTACGCCAATAATTCGGGACAACGCTTGGCACCTACGATTTACC                      GCGGCTGCTGGCACGTAGTTAGCCGTGGCTTTCGTTAGGTACCGTCAAGG                      TCGGAGCAGTTACTCTCGCACTTGTCTTCCCTAACACAGAGCTTACGATC                      CGAAAACCTTCATCACTACGCGCGGTTGCTCCGTCAGACTTTCGTCATTGC                      GGAAGATTCCCTACTGCTGCTCCGTAAGGAGTCTGGGCGGTCTCAGTCC                      AGTGTGGCCGATCACCTCTCAGGTCGGCTACGCATCGTCCGCTTGGTGAGC                      CATTACCCACCAACTAGCTAATGCGCCGCGGGTCCATCTGTAAGTGACAGC                      CGAAACCGTCTTTCATCCTTGAACCATGCGGTTCAAGGAACATCCCGGTATTA                      GCTCCGGTTTCCCGGAGTTATCCAGTCTTACAGGCAGGTTACCCACGTGTTA                      CTCACCCGTCGCGCTAACATCCGGGAGCAAGCTCCCTTCTGTTCGCTCGAC                      TNGCATGATAGCACGCG</p>	NR_112637.1	<i>Bacillus pumilus</i>	99
		NR_113945.1	<i>Bacillus safensis</i>	99
		NR_148787.1	<i>Bacillus australimaris</i>	99
RKB 10	<p>CAAAAGTGAGTAAGCGCCCTCCCGAAGGTTAAGCTACCTACTTCTTTTGCAA                      CCCACTCCATGGTGTGACGGGCGGTGTGTACAAGGCCCGGGAACGTAATCA                      CCGTAGCTGATCTACGATTACTAGCGATTCCGACTTCATGGAGTGCAGT                      TGCAGACTCCAATCCGACTACGACGACTTTATGAGTTCGCTTGTCTCGC                      GAGGTGCTTCTCTTTGTATACGCCATTGTAGCACGTGTGTAGCCCTACTCGT                      AAGGGCATGATGACTTGACGTCAATCCCACTTCTCCGTTTATCACCCGGC                      AGTCTCTTTGAGTTCGCGACCGAATCGCTGGCAACAAAGGATAAGGGTTGC                      GCTCGTTGCGGGACTTAACCCAACTTTCAACAACAGAGCTGACGACAGCCA                      TGCAGCACCTGTCTCAGAGTTCGGAAGGCACTAAAGCATCTCTGCTAAATT                      CTCTGGATGTCAAGAGTAGGTAAGGTTCTTCGCGTTGCATCGAATTAACCA                      CATGCTCCACCGCTTGTGCGGGCCCCGTCATTTCAATTTGAGTTTAACTTG                      CGGCCGACTCCCCAGGCGGTGATTTAACGCGTTAGCTCCGAAAGCCACTC                      CTCAGGGAAACAACCTTCAAATCGACATCGTTTACAGCGTGGACTACCAGGG                      TATCTAATCTGTTTGTCTCCACGCTTTCGCACCTGAGCGTCACTTTGTCC                      AGGGGCGGCTTCCGACCCGATTTCTCCACATCTACGCATTTACCCG                      TACACATGGAATTTACCCCTTACAAGACTAGCTGACCAGTCTTAGAT                      GCCATTCAGGTTAAGCCCGGGGATTTACATCTAATTAATCAACCGCCTG                      CGTGCCTTACGCCCAGTAATCCGATTAACGCTTGCACCCTCCGTAATACC                      GCGGCTGCTGGCACGGAGTAGCCGGTGTCTTCTGTGCGTAACGTCAATC                      GTTGATGATATTAGCATCAACGCTTCTCCGACTGAAAGTACTTTACAACC                      CTAGGGCTTCTTATACACGCGGATGGCTGCATCAGGCTTGCGCCATTGT                      GCAATATCCCACTGCTGCTCCCGTAGGAGTCTGGGCGGTGTCTCAGTCCC                      AGTGTGGCTGATCATCTCTCAGACCAGCTAGGGATCGTGCCTTGGTGAGC                      CATTACCTCAACACTAGCTAATCCCATATGGGTTTATCCGATAGCGCAAGG                      ACCGAAGTTCCCTGCTTTGCTCTGAGAGATTATGCGGATTAGTACTACCGTT                      TCCAGTAGTTATCCCTTATCGGGCAGATCCCATACATTAATCAACCCGTC                      CGCCGCTGCTCAGCGAGAAGCAAGCTTCCCTGTACCGCTCGACTGCATGTG                      TAGC</p>	LT899977.1	<i>Providencia rettgeri</i>	99
		HQ154569.1	<i>Providencia sp. R8-1A</i>	99
		KU984707.1	<i>Providencia vermicola</i>	99



Сурет 25 - МК085910.1 *Bacillus* sp. тобындағы *16S rRNA* генінің фрагментін талдау негізінде тұрғызылған филогенетикалық ағаш



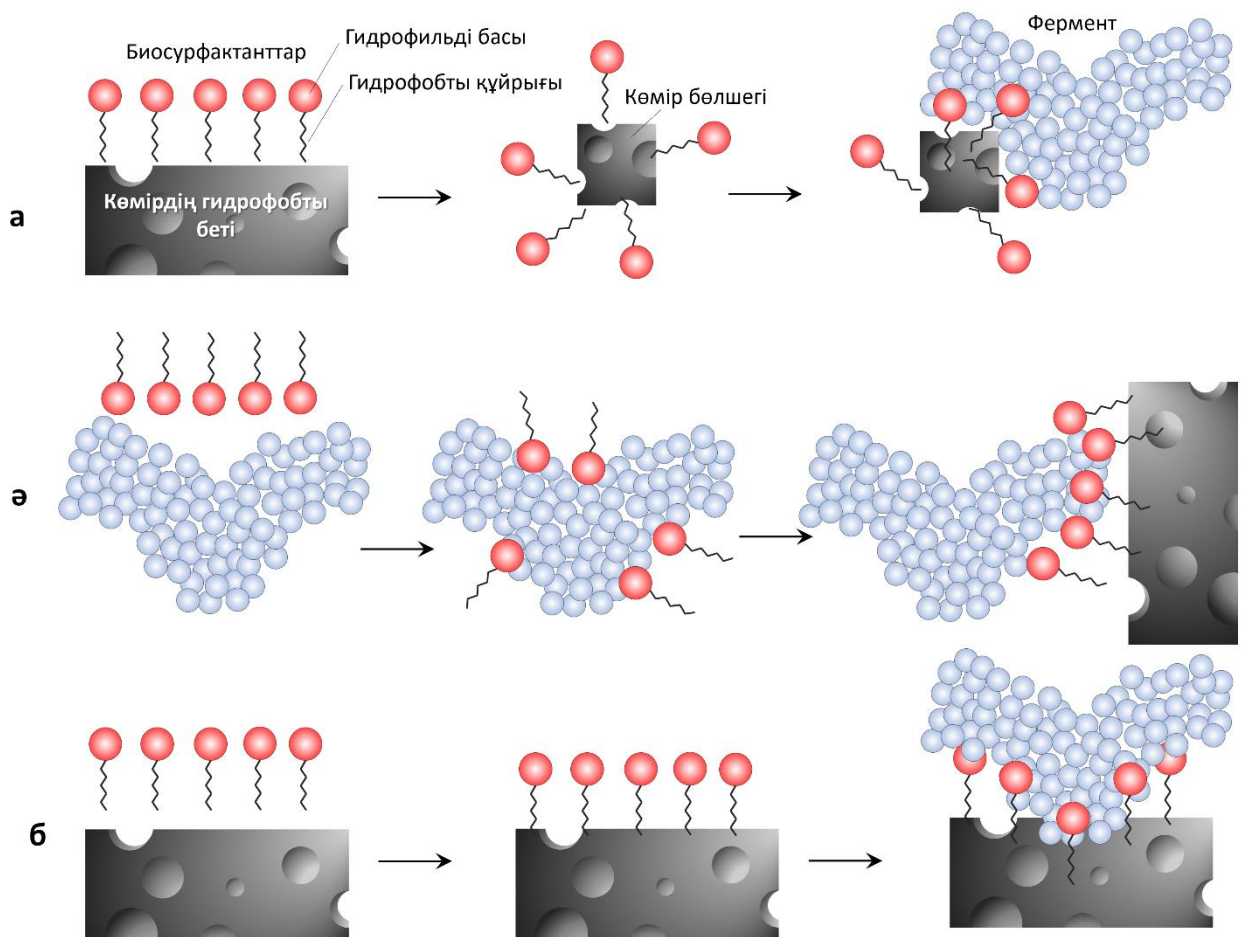
Сурет 26 - *Providencia* sp. тобындағы *16S rRNA* генінің фрагментін талдау негізінде тұрғызылған филогенетикалық ағаш

Дақылдық-морфологиялық, физиология-биохимиялық, биосоллюбилиздеу және генетикалық сипаттамаларды салыстыру нәтижесінде алынған мәліметтер RKB 7 және RKB 10 штамдарының сәйкесінше *Bacillus* және *Providencia* туыстарының түрлік тиістілігіне жатқызуына мүмкіндік берді.

### 3.5 *Bacillus* sp. RKB 7 және *Providencia* sp. RKB 10 штамдарының биосурфактанттар түзу қабілеті

Кейбір бактериялар өсіру ортасында көмірсутектердің болуына жауап ретінде биосурфактанттарды (био-беттік-белсенді заттар – биоББЗ) синтездейтіні белгілі. Мұндай микроорганизмдер көмірдің органикалық бөлігін бөлшектеуге көмектеседі, бұл бактериялардың көмірмен жанасу ықтималдығын арттырады. Дақылдық супернатанттың эмульгирленген белсенділігі биосурфактанттардың өндірушісі ретіндегі бактериялық штамдардың негізгі маркері болып табылады [283].

Көмірдің жоғары дәрежелі биосоллюбилизациясы негізінен ондағы микроорганизмдер/ферменттер мен биосурфактанттардың өзара әрекеттесуі арқылы жүреді [303-305]. Көмір, биосурфактанттар мен ферменттер арасындағы үш ықтимал өзара әрекеттесуі 27 суретте көрсетілген. Бірінші әрекеттесу (27а-сурет) микроорганизмдер биосурфактанттардың қатысуымен мұнай көмірсутектерінің қалдықтарын ыдырату үшін жүргізетін процеске ұқсас. Мұнда биосурфактанттар алдымен көмірдің кейбір гидрофобты бөліктерін эмульсиялайды. Содан кейін эмульсияланған көмірдің ұсақ бөлшектері ферменттердің әсерінен ыдырайды. Екінші әрекеттесуде (27ә-сурет) ферменттер алдымен биосурфактанттармен қамтылады/күрсауланады. Содан кейін биосурфактанттар-ферменттер жүйесі көмірді биосолибилиздеу үшін көмірдің бетіне бекінеді. Үшінші әрекеттесуде (27б-сурет) биосурфактанттар алдымен көмір бетіне бекітіледі, содан кейін сурфактанттардың гидрофильді бастары арқылы көмірді еріту үшін ферменттер көмір бетіне адсорбцияланады.



Сурет 27 - Көмірді биосолубилиздеу кезінде көмір-биосурфактанттар-ферменттер арасындағы үш ықтимал әрекеттесулердің сызбасы

Әр түрлі физиологиялық топтағы микроорганизмдер эмульгирлеу қабілеттілігімен, эмульгирлеу сыйымдылығымен, эмульсия тұрақтылығымен ерекшеленеді және әр түрлі табиғаттағы биосурфактанттар бөліп шығарады. Микроорганизмдер үшін көмірсутектердің қол жетімділігін максималды түрде жоғарылататын көмірдің органикалық массасын ыдырататын/ерітетін биоББЗ заттарды түзу қабілеті супернатантта 24 сағаттан кейін (E<sub>24</sub>) эмульгирлеуші белсенділікті анықтау арқылы зерттейді. Эмульгирлеу белсенділігін анықтау кезінде компоненттердің гидрофобты субстраттары ретінде керосин, бензин, дизель отыны, зәйтүн майы, хлороформ және гексан пайдаланылды.

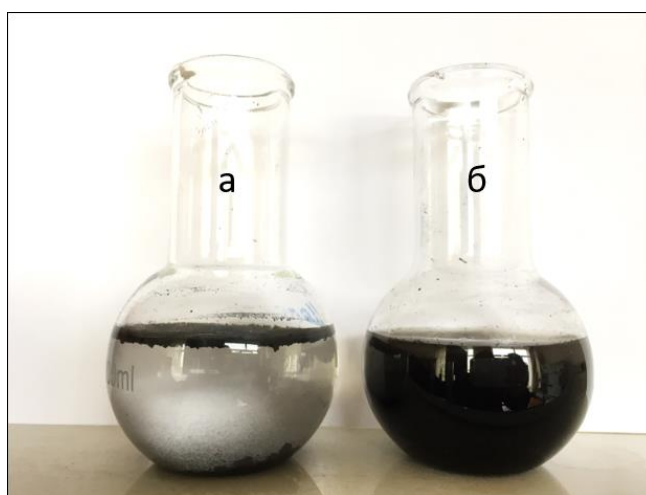
Зерттеу барысында *Bacillus* sp. RKB 7 және *Providencia* sp. RKB 10 биосурфактанттарының штам-продуценттерінің субстраттық ерекшелігі анықталды. 11-ші кестеде микроорганизмдердің дақылдарын субстраттарға қатысты E<sub>24</sub> зерттеу нәтижелері келтірілген. Алынған нәтижелер [288] хлороформға қатысты максималды эмульгирлеу белсенділігі *Providencia* sp. RKB 10 (60%) байқалды, ал дизельдік отынға – *Bacillus* sp. RKB 7 (18,5%). Кестедегі нәтиженің барлығы алынған штамдардың эмульгирлеу белсенділігі жоғары екенін көрсетіп отыр.

## Кесте 11 – Микроорганизмдер штамдарының эмульгирлеу белсенділігі

Штаммдар	E <sub>24</sub> , %					
	Бензин	Дизель отыны	Керосин	Зәйтүн майы	Хлороформ	Гексан
<i>Bacillus</i> sp. RKB 7	7,5±0,1	18,5±0,2	12±0,3	18,4±0,3	33,3±0,5	8±0,4
<i>Providencia</i> sp. RKB 10	6,7±0,3	7,4±0,4	12±0,4	28±0,7	60±0,6	5±0,6

Субстраттарға қатысты микроорганизм штамдарының эмульгирлеу белсенділігін анықтау нәтижесінде микроорганизмдердің екі дақылында да E<sub>24</sub> жоғары болатыны анықталды, яғни олар клеткамен байланысқанда биосурфактанттар түзеді және олардың биомассасын көмірді эмульгирлеу үшін қолданылу керек.

Зерттеудің келесі кезеңінде микроорганизмдердің штамдарын қолдана отырып супернатанттардың қоңыр көмірді эмульгирлеу белсенділігі анықталды. 28-ші суретте биосурфактанттар бар клеткасыз суспензияларымен көмір бөлшектерінің ерітілу дәрежесі көрсетілген.



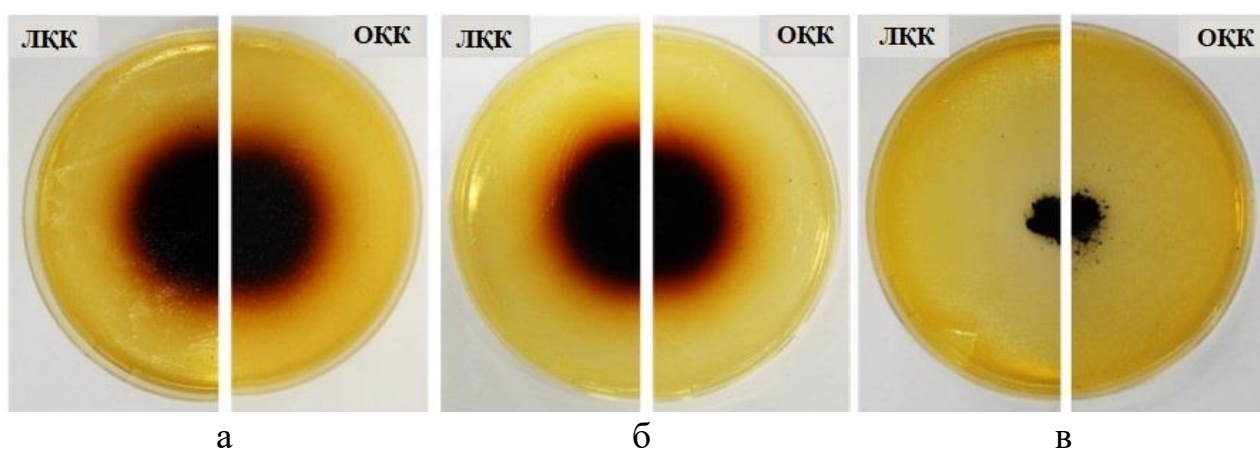
Сурет 28 – Эмульгирлеу белсенділігі: а – бақылау, б – супернатантты орта

Қоңыр көмірдің бактериялық түрленуі оның қатты гидрофобты сипатына байланысты күрделі үдеріс болып табылады. Бастапқы кезеңдерде көмірдегі органикалық полимерлер микроорганизмдер мен олардың метаболиттері әсерінен молекулалық салмағы төмен фрагменттерге дейін бұзылады. Бұл молекулалар сұйық ортада еру қабілетіне ие болады немесе микротамшылар түрінде тасымалданады және микроорганизмдердің метаболизміне қатысады әрі соңғы өнімге айналады. Көмірдің биосольюбилизациясы аэробты жағдайда құрамында ферментативті, сілтілі және хелат компоненттері бар биосурфактанттардың әсерінен жүзеге асырылады [298]. Әдетте, микроорганизмдердің көлемі көмірдегі макро- және микро-жарықшаларға, сондай-ақ макрокеуектерге бекітілеуге мүмкіндік береді. Көмір бөлшектерінің гидрофобтылығы клеткадан тыс бактериялық заттардың әсерінен төмендейді, бұл көмірдің ыдырауына әкеледі [299]. Нәтижесінде полимерлер клеткадан тыс

ферменттер мен сілтілі компоненттердің әсерінен микробтық клеткалар қолдана алатын кішігірім құрылымдарға ыдырайды.

### 3.6 *Bacillus* sp. РКВ 7 және *Providencia* sp. РКВ 10 штамдары арқылы қоңыр көмірдің биосолюбилизациясы

Бактерия штамдарының биосолюбилизациялау қабілетін анықтау агар-диффузиялық және батырылған дақыл әдістерін қолдану арқылы екі тәсілмен жүргізілді. Агар-диффузия әдісті қолдану нәтижелері бойынша *Bacillus* sp. РКВ 7 және *Providencia* sp. РКВ 10 дақылдары 7 күн ішінде агар матрицасының түсінің айқын өзгеруімен қоңыр көмірді тиімді биосолюбилизациялайды. Ал бақылау нұсқаларында (бактериялық газонсыз) солюбилизациялау өнімдерінің пайда болуы байқалмайды (сурет 29).



Сурет 29 – Көмірді биосолюбилизациялау: а – *Bacillus* sp. РКВ 7 штамымен, б – *Providencia* sp. РКВ 10 штамымен, в – бақылау

Бактерия штамдарымен батырылған дақыл әдісі арқылы қоңыр көмірді солюбилизациялау нәтижелері агар-диффузиялық әдісті қолданып алынған нәтижелермен ұқсас болды. Алынған нәтижелер Леңгір және Ой-қарағай кен орындарындағы қоңыр көмірдің микробтық солюбилизациялауға биоқолжетімді екендігін көрсетеді.

ОҚК көмірдің РКВ 7 қатысында биосолюбилизация дәрежесі 3-ші күні 15,6%-ға жетсе, 14-ші күні 24%-ға дейін өсті (кесте 12). ЛҚК үшін бұл дәреже 3-ші күні 5,7%-ға жетсе, 14-ші күні 7,4%-ға дейін өсті. РКВ 10 қолдана отырып, көмірді биосолюбилизациялау ОҚК 3-ші күні 11,5%, 14 күннен кейін 19,3% нәтижесін көрсетті, ал ЛҚК үшін 3-ші күні 4,9%-ға, ал 14-ші күні 6,8%-ға дейін өсті. Бақылау үлгілеріндегі көмірдің ыдырау дәрежесі осы уақыт аралығында 0,2-2,8% құрады. Көмірді қосу инокулятсыз қоректік орталардың рН-ын төмендетті (кесте 13), бұл құбылыс төмен сапалы көмірлердің қышқылдық қасиетімен түсіндіріледі. Сонымен, бастапқы рН ~ 7.1 болды, бақылау ортаның бастапқы рН-ы көмір сынамаларын қосқаннан кейінгі алғашқы 3 күнде рН 6,3 (ОҚК) және рН 5.9 (ЛҚК) өзгерді, 14 күннен кейін рН 5,7-5,8-ге төмендеді. Ал РКВ 7 мен РКВ 10 көрсеткіштерінің мәні жақын болды, 3 күннен кейін РКВ 7 ОҚК – 7,7 болса, ЛҚК – 8,8 болды, РКВ 10 екі көмірде де 7,8 көрсетті. Ортаның

pH 14 күннен кейін ОҚК РКВ 7 – 8,2, РКВ 10 – 8,1, ал ЛҚК РКВ 7 – 7,3, РКВ 10 – 7,9 көрсетті. Бақылауда 3 күннен соң ОҚК – 6,3, ЛҚК – 5,9 болса, 14 күннен кейін ОҚК – 5,8, ЛҚК – 5,7 құрады. Яғни, РКВ 7 мен РКВ 10 штамдары салынған сынама-ларда биосолюбилизация үдерісі жүргенін pH көтерілгенінен бақылауға болады.

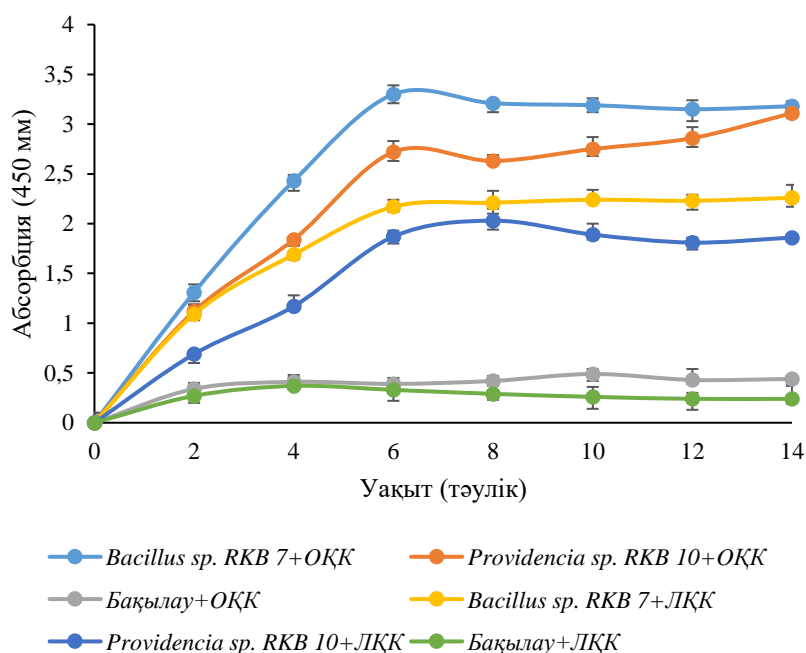
Кесте 12 – Қоңыр көмірді биосолюбилизациялау кезінде көмірдің салмақ жоғалту жылдамдығы

Тәулік	Салмағының жоғалуы, %					
	РКВ 7		РКВ 10		Бақылау	
	ОҚК	ЛҚК	ОҚК	ЛҚК	ОҚК	ЛҚК
3	15,6 ± 0,6	5,7 ± 0,7	11,5 ± 0,5	4,9 ± 0,4	1,4 ± 0,2	0,02 ± 0,00
5	16,9 ± 0,8	6,1 ± 0,5	13,7 ± 0,3	5,2 ± 0,4	1,5 ± 0,2	0,07 ± 0,01
10	18,1 ± 0,9	7,3 ± 0,9	16,6 ± 0,8	6,4 ± 0,5	2,6 ± 0,9	0,1 ± 0,02
12	21,8 ± 0,1	7,3 ± 0,9	18,2 ± 0,2	6,7 ± 0,4	2,8 ± 0,1	0,2 ± 0,01
14	23,9 ± 0,8	7,4 ± 0,1	19,3 ± 0,4	6,8 ± 0,3	2,8 ± 0,3	0,2 ± 0,01

Кесте 13 – Қоңыр көмірді биосолюбилизациялау барысында дақылды ортадағы pH мәнінің өзгеруі

Тәулік	pH мәні					
	РКВ 7		РКВ 10		Бақылау	
	ОҚК	ЛҚК	ОҚК	ЛҚК	ОҚК	ЛҚК
3	7,7 ± 0,07	8,8 ± 0,03	7,8 ± 0,04	7,8 ± 0,06	6,3 ± 0,04	5,9 ± 0,01
5	7,9 ± 0,06	7,5 ± 0,09	7,8 ± 0,07	7,7 ± 0,08	5,7 ± 0,09	5,8 ± 0,09
10	8,2 ± 0,01	7,3 ± 0,08	7,9 ± 0,02	7,8 ± 0,06	5,7 ± 0,07	5,8 ± 0,07
12	8,3 ± 0,06	7,3 ± 0,06	8,2 ± 0,05	7,8 ± 0,03	5,7 ± 0,01	5,8 ± 0,01
14	8,2 ± 0,09	7,3 ± 0,03	8,1 ± 0,06	7,9 ± 0,02	5,8 ± 0,06	5,7 ± 0,06

Көмір биосолюбилизациясының кинетикасын зерттеу үшін супернатанттың сәулені сіңіру көрсеткіші 480 нм шамасында өлшенді. Толқын ұзындығы солюбилизацияланған өнімдердің болуына сезімтал екендігі белгілі [300]. А<sub>450</sub> мәнінің бағыты мен pH жоғарылауы өзара байланысты және бұл екі көрсеткіш биосолюбилизацияның жоғары дәрежесін көрсетеді (сурет 30). Инокуляцияланған көмірлі ортаның pH мәні 7,9-ге жеткенде, 450 нм кезіндегі оптикалық тығыздық біртіндеп арта бастады, бұл өз кезегінде қоңыр көмірдің еру дәрежесінің жүруін көрсетеді. Нәтижелер биосолюбилизация кезінде pH жоғарылауы сілтілі метаболиттердің биосинтезіне байланысты екендігін растайды. Көмірге қатысты ең жоғарғы метаболиттік белсенділік *Bacillus* sp. РКВ 7+ ОҚК үшін көрсетілді, ондағы спектрлік сіңіру  $3,3 \pm 0,4$  құрайды.



Сурет 30 – Қоңыр көмірлердің биосоллюбилизация дәрежесі

Көмірден бөлінген гуминдік заттардың құрылымы мен табиғатын зерттеу олардың қоңыр көмірдің байланыстырушы қасиеттерін арттырудағы потенциалды рөлін объективті бағалау үшін қажет. Қазіргі кезде гуминдік заттарды әр түрлі материалдардағы негізінен жоғары рН ортасында еритін органикалық молекулалардағы қолданылатын жалпы органикалық көміртекті талдауға негізделген. Осы рН-та еритін барлық органикалық заттар, олардың шынайы құрылымына қарамастан, гумин қосылыстары ретінде қарастырылатындығы белгілі [300]. Бұл тұрғыда гуминдік заттарды, олардың құрамын және гумификация дәрежесін сапалы сипаттауға мүмкіндік беретін қолайлы талдау әдістерін таңдау үлкен қызығушылық тудырады. Олардың арасында, мысалы, қоңыр көмірді соллюбилизациялау өнімдерін, атап айтқанда, гуминдік заттарын сипаттау үшін спектроскопиялық талдауды қолдану үлкен мүмкіндіктерді ұсынады. Жұмыста әр түрлі спектроскопиялық әдістермен биосурфактанттардың қоңыр көмірге әсерінен пайда болатын гуминдік заттар өнімдері зерттелді. Биосоллюбилизация өнімін химиялық жолмен алынған өніммен салыстыру мақсатында жасалған жұмыс ретінде қарастырылды.

ОҚК мен ЛҚК алынған гуминдік қосылыстардың элементтік талдау нәтижелері 14-ші кестеде берілген. ГЗ биосоллюбилизация нәтижесінде элементтік құрамы өзгерді. Қоңыр көмір сынамаларының бактериялық биотрансформациясы ГҚ құрылымдық өзгерістерін тудыратын метаболитті процестерге байланысты N және O көп мөлшерде құрайтыны анықталды. Ал, ГЗ құрамындағы N-топтардың жоғары мөлшері бұл қосылыстардың фитостимуляторлық белсенділігін анықтай алады. Нәтижелер ОҚК-ден алынған БГЗ (биологиялық жолмен алынған гуминді заттар) гидрофильді, ароматты конденсациясы төмен екенін растайды. Н/С атомдық қатынасы ароматты қосылыстардың көрсеткіші болып табылады. Оның аз биотрансформацияланған үлгілердегі мәні ЛҚК ХГЗ және БГЗ және ОҚК ХГЗ (химиялық жолмен алынған



гуминді заттар) төмен болды, бұл молекулалық салмақты жоғары және күрделі ароматты қосылысты құрылымдардың жоғары мөлшерін көрсетеді. О/С атомдық коэффициенті-органикалық заттардағы оттегі бар топтардың (көмірсулар мен карбоксилдік топтар) мөлшерінің көрсеткіші, әдетте ГҚ мәндері 0,4 құрайды. Бұл индикатордың төменгі мәндері ГҚ-да ароматты қосылыстардың конденсацияның жоғары дәрежесін көрсетеді. N/C атомдық қатынасы органикалық заттардағы азот мөлшерін көрсетеді; Бұл қатынастың жоғары мәндері ГҚ әр түрлі шығу тегін анықтайды, ал қоңыр көмірден алынған ГҚ үшін бұл әдетте <0,05. N/O қатынасы өнімдерді биосоллюбилизациялау кезінде азот құрамының төмендегенін және олардың төменгі молекулалық салмағын көрсетеді. Нәтижелерге сәйкес ОҚК БГЗ төмен молекулалық массаны және ароматты қосылысты заттарды көрсетті.

Кесте 14 – Соллюбилизденген өнімдердің химиялық талдауы

Сынамалар		Элемент (%)						Ароматты қатынас			
		C	H	N	S	O <sup>diff.</sup>	Күл	H/C	O/C	N/C	N/O
ОҚК	ХГЗ	55,7 ±0,2	3,90 ±0,3	1,55± 0,04	0,14± 0,01	34,24 ±0,03	4,46± 0,05	0,84± 0,04	0,46± 0,03	0,02± 0,01	0,05± 0,02
	БГЗ <sub>РКВ</sub> 7	54,4 2±0, 03	4,05 ±0,0 2	3,10± 0,03	0,17± 0,02	35,66 ±0,03	2,60± 0,02	0,89± 0,02	0,49± 0,03	0,04± 0,01	0,09± 0,02
	БГЗ <sub>РКВ</sub> 10	55,0 1±0, 02	4,19 ±0,3	3,31± 0,02	0,11± 0,03	35,37 ±0,04	2,01± 0,01	0,88± 0,03	0,48± 0,03	0,04± 0,01	0,08± 0,02
ЛҚК	ХГЗ	57,5 0±0, 03	3,55 ±0,2	1,40± 0,2	1,25± 0,1	30,03 ±0,01	6,27± 0,03	0,74± 0,07	0,39± 0,02	0,02± 0,01	0,05± 0,02
	БГЗ <sub>РКВ</sub> 7	58,3 0±0, 1	4,02 ±0,0 2	2,17± 0,1	1,45± 0,04	31,02 ±0,02	3,03± 0,02	0,83± 0,05	0,39± 0,04	0,03± 0,01	0,07± 0,02
	БГЗ <sub>РКВ</sub> 10	56,5 0±0, 2	4,18 ±0,0 3	3,02± 0,04	1,37± 0,05	31,42 ±0,04	3,51± 0,01	0,79± 0,04	0,42± 0,04	0,04± 0,01	0,08± 0,02

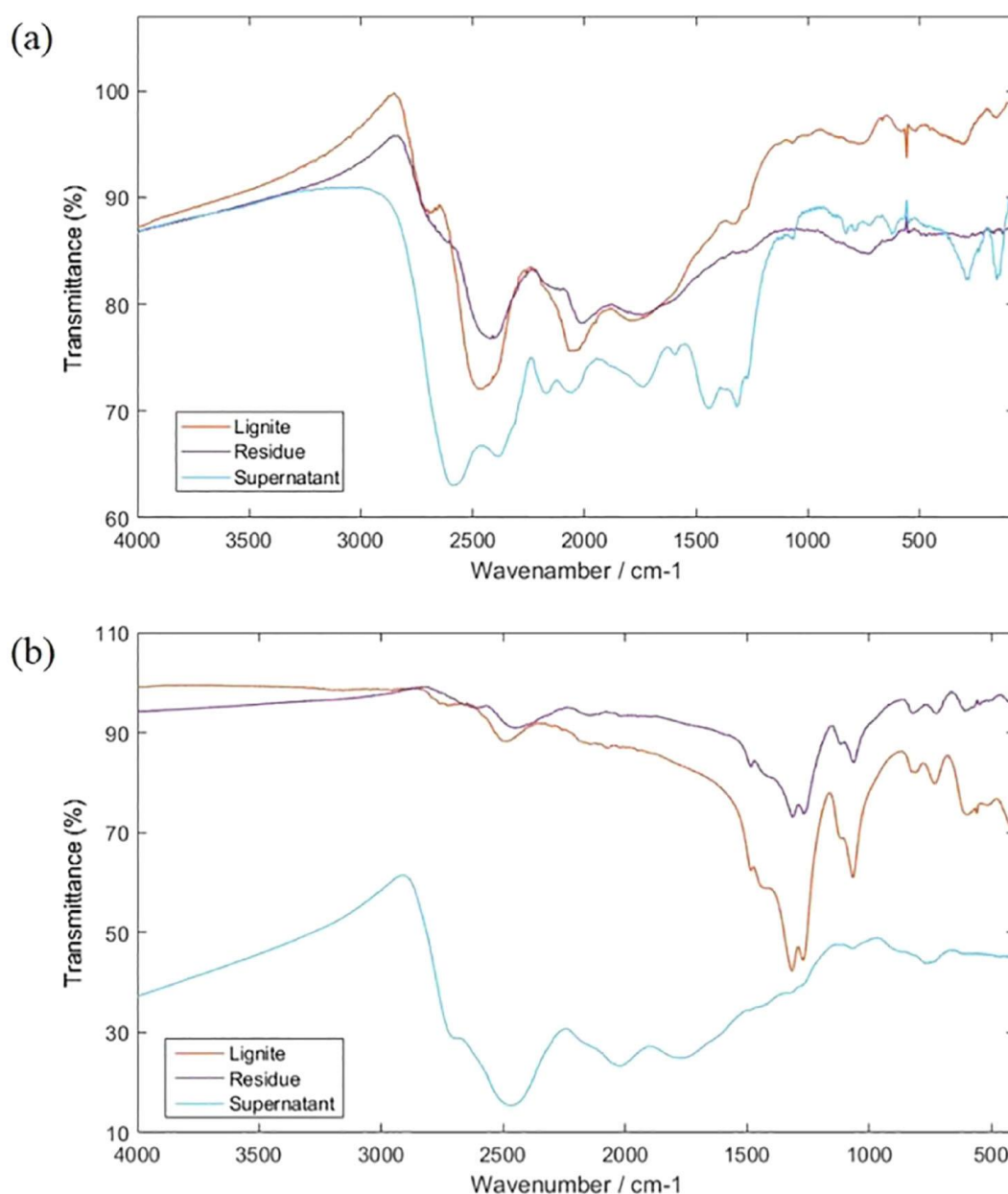
Анықтама: O<sup>diff.</sup> - басқа элементтерден айырмашылығы

Гуминдік заттарының ИҚ-спектрлері. Қоңыр көмір өнімдерінің ИҚ-спектрлерінде әр түрлі шығу тегі гуминдік заттарына тән сіңіру жолақтары бар [284]. 31a суретте қоңыр көмірлердің ИҚ-спектрі көрсетілген. Ол 3400 см<sup>-1</sup> кезінде интенсивті жолақпен сипатталады, бұл гидроксил топтарының едәуір мөлшерінің болуын көрсетеді (-ОН). Гуминдік заттардың спектрлерінде 3192 см<sup>-1</sup> ауданында алкил топтарының (-CH<sub>3</sub> және -CH<sub>2</sub>) валентті тербелістерінен туындаған орташа қарқындылық бар.

1554 см<sup>-1</sup> ауданындағы жолақ С=С ароматты қосылысты байланысының бар екендігін көрсетеді. 1400 см<sup>-1</sup> шамасындағы жұтылу жолағын СН<sub>2</sub> топтарындағы С-Н байланысының деформациялық тербелістеріне жатқызуға болады. 1000-500

см<sup>-1</sup> ауданында сіңіру пиктері минералды компоненттерге байланысты пайда болуы мүмкін.

Қоңыр көмірлердің ИҚ-спектрлерінің ерекшеленетіні 31b суретте көрсетілген; 1646 см<sup>-1</sup> ауданындағы орташа қарқындылық жолағы амидтер тобында басым; оның болуы гуминдік заттардың құрамында белок тәрізді фрагменттердің бар екендігін көрсетеді. Карбоксил топтары (1247 см<sup>-1</sup>), сондай-ақ гидроксил топтары (1038 см<sup>-1</sup>) сияқты оттегі құрамды функционалды топтарға әлсіз қарқындылықтың бірнеше жолақтарын жатқызуға болады. Спектрлер арасындағы айтарлықтай айырмашылық – БГЗ-де 3192 см<sup>-1</sup> ауданында жолақтардың болмауы.



Сурет 31 – Қоңыр көмір үлгілерінің *Bacillus sp.* РКВ 7 қатысындағы ИҚ-спектрі: ОҚК (a), ЛҚК (b)

Қоңыр көмірдің екі үлгісінің де биосолубилизация өнімдерінің ИҚ спектрлері олардың функционалды топтарының әртүрлілігін көрсететін сіңіру

жолақтарының мәні анықтады. Үлгілердің -ОН негізгі аймақтары (3700-1220 см<sup>-1</sup>) -NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, -NH<sub>2</sub><sup>+</sup>, -CO-NH<sub>2</sub><sup>+</sup>, -CO-NH- қосындылары бар созылмалы тербелістерге; алифатикалық жолақтар (C-H) 2980-2845 см<sup>-1</sup>; эфирлердің шамалы үлесі бар 1850-1650 см<sup>-1</sup> аймағында COOH, -CHO, -CO карбонил жолақтары; 1635-1600 см<sup>-1</sup> ароматты қосылысты жолақтардың (C=C, COO-) созылу тербелістері, 873-728 см<sup>-1</sup> кездесетін алмастырылмайтын сақиналар, 430-550 см<sup>-1</sup> органикалық галогенидтер мен минералдар жатады.

ОҚК үлгілерінің сіңіру жолақтары басқа үлгілермен салыстырылды. Бастапқы қоңыр көмірдің 2845 см<sup>-1</sup> тән қарқындылығы алифатты топтарға байланысты болуы мүмкін. Өнімдердің 1700 см<sup>-1</sup> сіңіру жолақтары альдегидтердің, кетондардың және карбоксил тобының карбонилдік тербелістеріне тән. Гидроксил топтарының болуына байланысты тербелістер 1410 мен 1310 см<sup>-1</sup> аралығында байқалады.

1450, 1429 және 1360 см<sup>-1</sup> жолақтарын сәйкесінше алифаттық C-H, бастапқы амидтердің C=N және -CO, -CH<sub>3</sub> жатқызуға болады. Супернатантта жолақтар неғұрлым қарқынды болып көрінеді, бұл *Bacillus* sp RKB 7 бөлетін метаболиттер биосоллюбилизденген өнім құрамында елеулі өзгерістер тудыруы мүмкін екенін көрсетеді. 2845 см<sup>-1</sup> минимумы жоғалады, бұл бактериялық метаболизмге байланысты алифатикалық тізбектердің деградациясын көрсетеді.

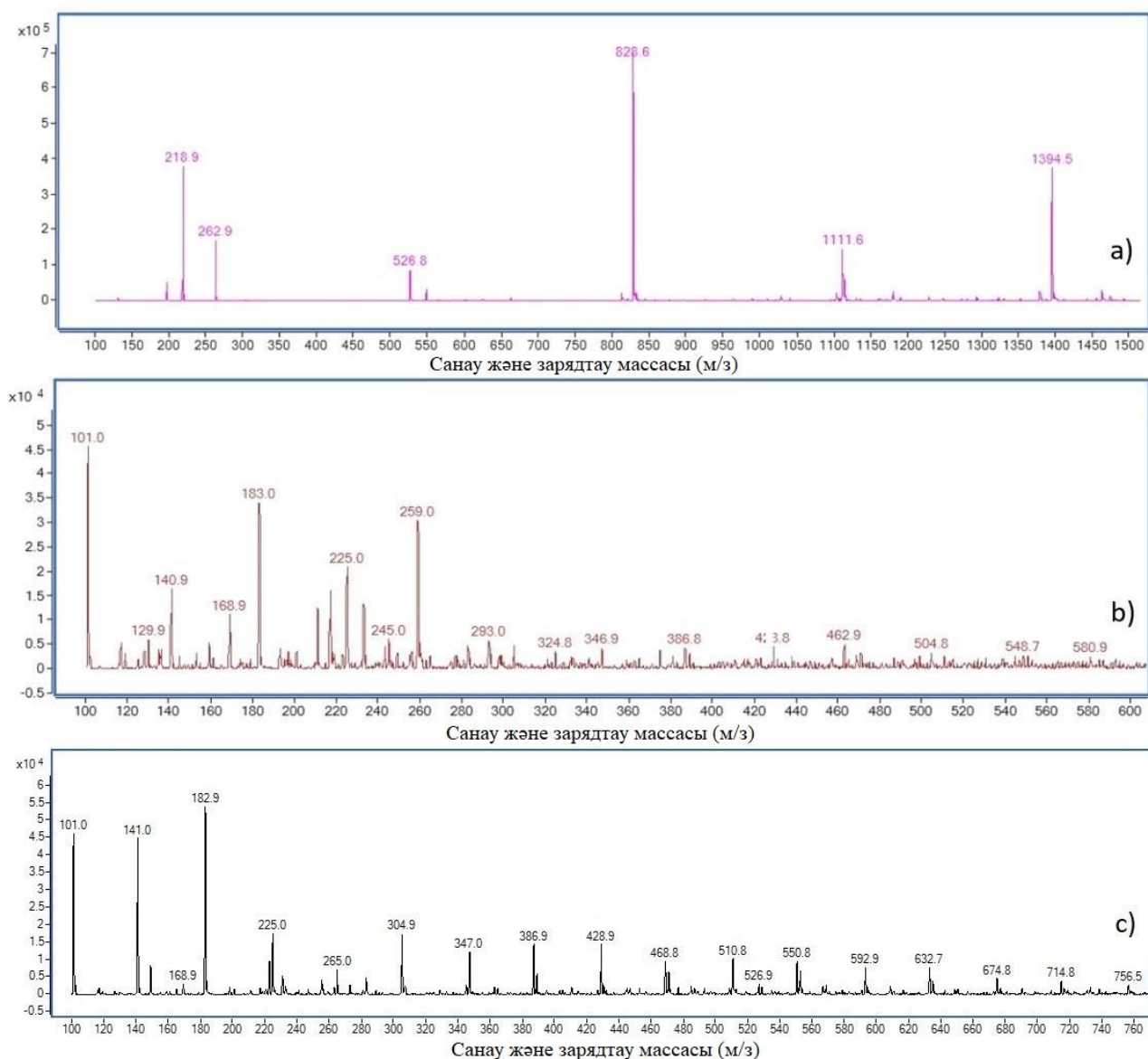
ЛҚК-дің ОҚК-ден айырмашылығы, ЛҚК қоңыр көмірі мен оның биосоллюбилизденгеннен кейінгі қалдығы 1315 см<sup>-1</sup> (сульфон топтары (SO<sub>2</sub>)), 1420 см<sup>-1</sup> (бастапқы амидтердің C=N) және 1020 см<sup>-1</sup> (CO полисахаридтерінің қосындылары бар күшті жолақтарды көрсетті S=O, PO-алкил).

ЛҚК қоңыр көмірін ИҚ-спектрлік зерттеу нәтижелері 30-шы суретте келтірілген. Бастапқы қоңыр көмірдің ИҚ-спектрінде келесі фрагменттер сәйкестендірілді (ν, см<sup>-1</sup>): ароматты циклдар (1500-1600 және 700-900); алкил тізбектерінің метил және метилен топтары (1450-1470 және 800-1100); қос байланыстар (1320-1270 және 870-520); алифатты және алкилароматикалық кетондардың карбонил топтары (1100, 1220-1130 және 1330-1220); күрделі эфир топтары (1320-1000); алкоксил топтары (2850, 2830-2815); фенолдар мен спирттердің гидроксил топтары (1450-1370); оттегі-, күкірт- (1565, 1030-1015, 870-845 және 800-740) және құрамында азот бар гетероциклдар (1100-1000, 1210-1190 және 900-670).

Гуминдік заттардың LC/MS QqQ. Жоғары тиімді сұйық хроматография әдісі полярлы ұшпайтын заттарды, атап айтқанда гуминтекес қышқылдарды детекторлау үшін қолданылатыны белгілі [301]. Ажыратымдылық қабілеті пиктің зарядына массаның қатынасы (m/z) арқылы бағаланды. Берілген ХГЗ масс-спектрлеріндегі мәліметтердің массалар диапазоны 2000 Da-ға дейін және БГЗ 1000 Da-ға дейін жетеді, бірақ пиктер, негізінен, 600 Da-ға дейін созылатын масса диапазонында байқалды. 32-шы суреттегі спектрлердегі маңызды айырмашылықтарды атап өтуге болады.

ХГЗ әр түрлі масс-спектрлерінде кластерлер көрсетеді. Кейбіреулері 200-300 Da аралығында болса, ал басқалары 500-600 Da шамасында немесе 800-900 Da шамасында, сондай-ақ 1100 Da және 1400 Da шамасында да болады. БГЗ әр

түрлі масс-диапазондарында шамамен 100 Da, 120 Da, 220 Da, 300 Da және т.б. пиктердің үлкен тобын көрсетеді. Номиналды массадан едәуір жоғары болып көрінетін пиктер, әдетте, аминқышқылдары мен май қышқылдары сияқты жоғары сутегі құрамы жоғары заттар болып табылады. 300-600 Da аймақтары арасында БГЗ пиктерінде номиналды масса кезінде немесе одан төмен көрінеді, демек бұл аймақта орналасқан молекулаларда сутегі мен оттегінің қатынасы өте төмен деп болжауға мүмкіндік береді. Пиктің бұл түрін бензой қышқылдарымен және қоюландырылған ароматты қосылыстармен байланыстыруға болады. Бұл қосылыстардың құрамында сутегі аз және көбінесе оттегінің едәуір мөлшері болады.



Сурет 32 – ХГЗ (а) және БГЗ<sub>РКВ 7</sub> (b), БГЗ<sub>РКВ 10</sub> (c) масс-спектрлері (ОҚК негізінде)

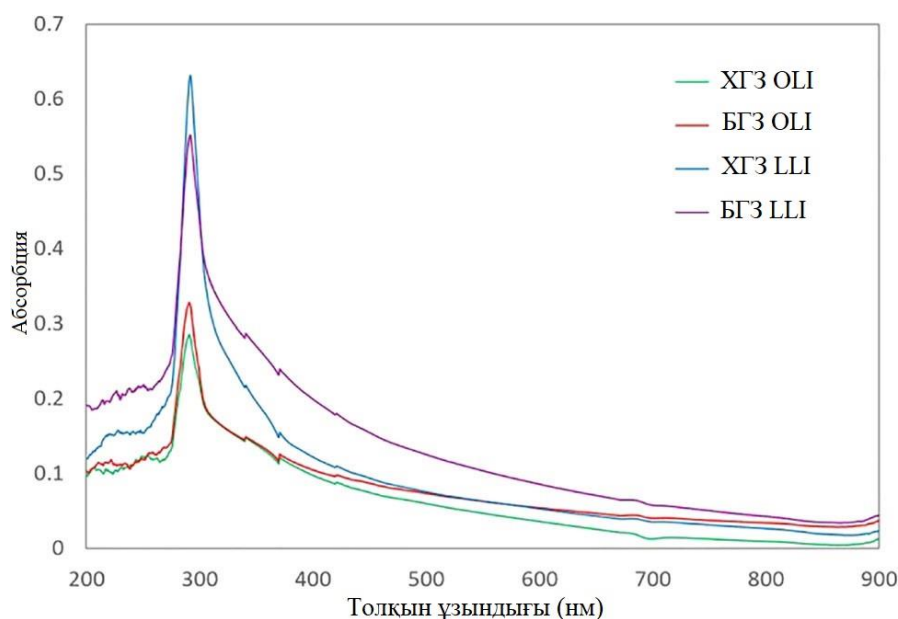
БГЗ кезінде спектрлік диапазоны 300 Da-ға дейін, пиктер Н-байытылған молекулалары ретінде номиналды массаларының үстінен шыға бастайды. Сутегі мен оттегінің арақатынасы жоғарылағанда, алифатты қосылыстардың көп

болуына байланысты пиктер орташа ұзындықтағы май қышқылдарымен байланысты болуы мүмкін. Мысалы, 183 Da кезіндегі пикті 11 көміртегі атомы бар (11:2) полиқаньқпаған май қышқылына жатқызуға болады, ал 259 Da кезіндегі пик 16 көміртек атомы бар қанықпаған қышқылды (16:0) білдіреді, ал 293 Da моноқаньқпаған 19 көміртек атомын (19:1) көрсетеді.

Биосолюбилизация үшін перспективтік бактериялық изоляттар қоңыр көмірді 30%-ға дейін өзгертеді [89]. Алайда, осы зерттеулерде пайдаланылған көмір үлгілері едәуір төмен концентрацияда болғанын немесе негізінен химиялық және биологиялық әдістермен өңделгенін, бұл солюбилизациялау үдерісін едәуір жақсартқаны анықталды. Бұл жағдайда *Bacillus* sp. РКВ 7 үшін 23,9% жуық, *Providencia* sp. РКВ 10 үшін 19,3% жуық өңделмеген қоңыр көмірді (5% w/v) 12 күн ішінде ыдыратуға қабілетті, бұл көмірдің биоконверсиясы үшін оның әлеуетті құндылығын көрсетеді.

БГЗ-ның FTIR-спектрлері ХГЗ салыстырғанда әр түрлі функционалды топтардың пайда болуын көрсетеді. БГЗ сипатты өзгерістер 1300-1000 см<sup>-1</sup> арасындағы эфир және алкоголь топтарына жататын жолақтар болып табылады. Нәтижесінде, пиктердің масс-спектрлерде таралуы ХГЗ мен БГЗ арасында айтарлықтай ерекшеленеді: гумин заттары үшін табылған интенсивті пиктердің көпшілігі m/z 1000 Da төмен, бұл биосолюбилизденген заттары шағын гетерогенді молекулалар екенін көрсетеді.

Оптикалық спектроскопия коэффициенттері (UV-Vis). UV-Vis спектрлерінен алынған коэффициенттердің орташа мәндері гуминдік заттарда функционалдық топтардың бар екендігі және олардың химиялық табиғаты туралы ақпараттандыру үшін пайдаланыла алады. 15-ші кестеде зерттелетін үлгілердің спектроскопиялық көрсеткіштері келтірілген. Қоңыр көмірден алынған ГЗ үлгілерінің UV-Vis сіңіру спектрлері 33 суретте көрсетілген. Жалпы алғанда, олар ГЗ типтік спектрлеріне салыстырмалы түрде ұқсас. Спектрлік қисықтардың максималды жолақтары π-π\*-ге электронды ауысуларға байланысты 256 және 312 нм шамасында ароматты қосылыс фрагменттердің болуын көрсететін. Бұл жолақтардың қарқындылығы мен орналасуына негізінен фенолдар, карбон қышқылдары мен алифатты тізбектер сияқты ароматты сақинадағы алмастыру дәрежесі әсер етеді. Спектрлердің оң жақ бөлігінде максимумдардың болмауы ГЗ молекулаларының күрделі құрылымына байланысты олардың сәйкес келуін көрсетуі мүмкін.



Сурет 33 – Гуминдік заттарының UV-VIS сіңіру спектрлері (БГЗ *Bacillus* sp. РКВ 7 мысалында алынған)

Кесте 15 – Гуминдік заттарының спектроскопиялық көрсеткіштері

UV-Vis коэффициенті	ОҚК			ЛҚК		
	ХГЗ	БГЗ <sub>РКВ 7</sub>	БГЗ <sub>РКВ 10</sub>	ХГЗ	БГЗ <sub>РКВ 7</sub>	БГЗ <sub>РКВ 10</sub>
$E_{Et/Bz}$	1,23 ± 0,01	1,37 ± 0,02	1,39 ± 0,03	1,18 ± 0,04	1,13 ± 0,03	1,11 ± 0,04
$E_{2/3}$	0,89 ± 0,09	1,04 ± 0,04	1,07 ± 0,02	0,91 ± 0,05	1,01 ± 0,02	0,97 ± 0,03
$E_{4/6}$	3,58 ± 0,07	5,29 ± 0,03	4,67 ± 0,04	2,29 ± 0,10	3,59 ± 0,07	2,94 ± 0,08
$E_{254/410}$	1,30 ± 0,04	1,57 ± 0,02	1,49 ± 0,05	1,18 ± 0,03	1,24 ± 0,04	1,21 ± 0,06
$E_{265/465}$	1,78 ± 0,05	2,49 ± 0,08	2,33 ± 0,06	1,54 ± 0,03	1,95 ± 0,03	1,76 ± 0,07
$\Delta \log K$	3,27 ± 0,03	4,31 ± 0,05	4,07 ± 0,05	2,33 ± 0,02	3,31 ± 0,05	2,84 ± 0,04

Гуминдік фракциялардың жұтылу спектрлерін сипаттау үшін  $\lambda = 253$  нм толқын ұзындығында  $E_{Et/Bz}$  коэффициенттері және  $\lambda = 203$  нм ( $A_{253}/A_{203}$ ) қатынасы пайдаланылады.  $E_{Et/Bz}$  мәні гидрофиль топтарымен (гидроксил, карбонил, күрделі эфир және карбоксил) алмастырылған ароматты сақиналардың орташа дәрежесіне жататын ақпаратты береді.  $A_{253}/A_{203}$  қатынасы қаншалықты жоғары болса, ароматты сақиналарда алмастыру соншалықты көп болады. Зерттеуге сәйкес, БГЗ үшін байқалатын  $E_{Et/Bz}$  жоғары көрсеткіші оттегі құрамды функционалдық топтармен алмастырылған ароматты сақиналардың пайда болуын көрсетеді.

$E_{2/3}$  және  $E_{4/6}$  УК-диапазонда көрінетін спектрлердің спецификациясы үшін қажетті негізгі мәндер болып табылады.  $E_{2/3}$  – 250 нм және 365 нм кезінде жұтылу арасындағы қатынас, ол гумификация үшін индикатор ретінде саналады.  $E_{4/6}$  – 465 және 665 нм толқын ұзындықтары арасындағы жұтылу коэффициенті, ол жиі «гумификация дәрежесі» деп аталады. Алайда осы екі көрсеткішті салыстыру олар гуминдік заттары құрылымының әр түрлі спектрлерін сипаттауы мүмкін деп болжауға мүмкіндік береді. Спектрофотометрияның физикалық-химиялық қағидаларына негізделіп отырып,  $E_{2/3}$  жоғары қатынасы, әдетте, біршама төмен молекулалық масса мен ароматты қосылысты көрсетеді, ал  $E_{4/6}$  мәні болса гуминдік заттарында функционалдық топтардың болуын білдіреді. Алынған деректерге сәйкес, БГЗ-те  $E_{2/3}$  қатынасы ХГЗ қарағанда жоғары, бұл БГЗ аромат пен молекулалық массаның төмен дәрежесіне ие екендігін көрсетеді.  $E_{4/6}$  біршама орташа мәні БГЗ үшін байқалды, бұл функционалдық топтардың маңыздылығын көрсетеді.  $E_{2/3}$  және  $E_{4/6}$  қатынастарын салыстыру ұқсас үрдісті анықтады, яғни биосоллюбилизацияланған ГЗ функционалдық топтар құрамы жоғары кіші өлшемді молекулаларды білдіреді.

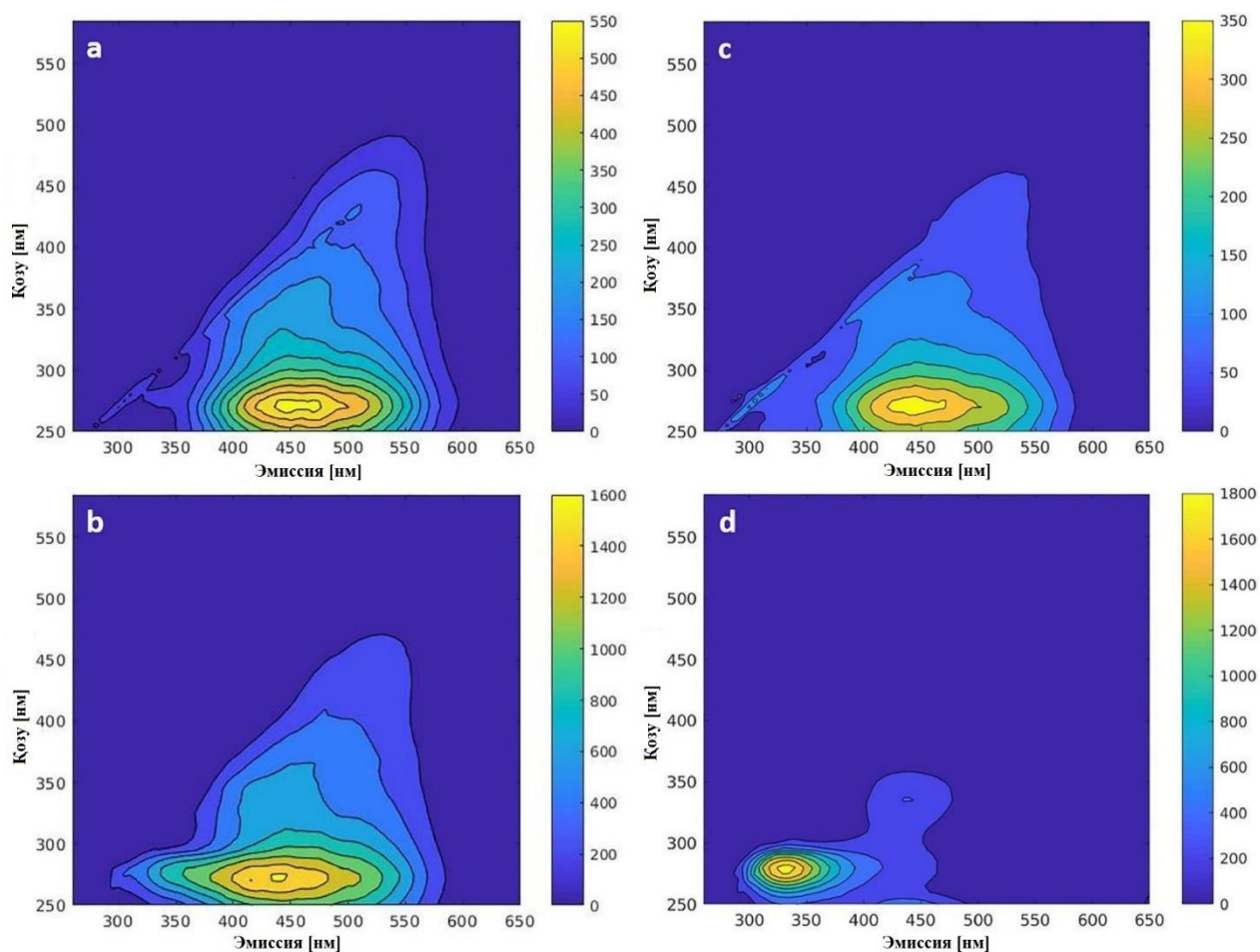
Одан бөлек,  $E_{254/410}$ ,  $E_{265/465}$  және  $\Delta \log K$  қатынастары есептелді (400 нм және 600 нм кезіндегі жұтылу қатынасы). Бұл коэффициенттер де ароматты қосылыс дәрежесі мен молекулалардың өлшемін көрсетеді. Біршама төмен қатынас біршама жоғары ароматты қосылыс пен молекулалық массаны көрсетеді деп тұжырымдауға болады, нәтижесінде осы коэффициенттер  $E_{2/3}$  және  $E_{4/6}$  белгілі бір визуалды ұқсастық дәрежесіне ие болды.

Флуоресценция әдістері өте дәл және сезімтал әдістер деп саналады. Қозу мен эмиссия спектрлерінің жиынтығы зерттеу деректерінде толығырақ мәлімет ұсынады және құнды жаңа ақпарат бере алады. Жұмыста қоңыр көмір сынамаларынан ГҚ қоздырғыш-эмиссиялық матрицасының (ЕЕМ) қасиеттері мен әдістемелік әлеуеті зерттелді. ЕЕМ және қоңыр көмір биосоллюбилизациясына қатысты ЕЕМ деректерін UV-Vis/FTIR спектроскопиясынан алынған мәліметтермен салыстырылды.

Әдеттегі ЕЕМ контурлық картасы флуоресценцияның пиктермен бейнеленеді, олар белгілі бір фторофорларға немесе функционалды топтарға сәйкес келеді. 34 (а, б) суретте ОҚК-нің ХГЗ ЕЕМ спектрлері берілген. Күшті фторофорлар ХГЗ-да 270/445 нм (қозу/эмиссия) кезінде байқалады. Кобл флюоресцентті пиктердің жалпы сегіз түрін ұсынды [302], оның ішінде гуминдік, ақуыз тәрізді және пигментті флуоресцентті белгілер. Бұл зерттеуде максималды пиктер аталған аймақтың шегінде орналасқан, бұл Кобл бойынша гумин тәрізді заттарға сәйкес келетін пик ретінде сипатталады. БГЗ жағдайында пик 275/440-450 нм диапазонында таралғаны анықталды, ол оның гетерогенділігіне байланысты болуы мүмкін.

ХГЗ мен БГЗ ЕЕМs арасындағы барлық пиктер гуминдік пиктерге жатқызылады. Бірақ, пик позицияларындағы байқалған ауытқулар үлгілер арасындағы ГҚ құрамының айырмашылығын көрсетеді. ЛҚК-нің БГЗ толқын ұзындығы 340 нм болатын басқа үлгіні көрсетті. Әдебиеттердегі мәліметтер

бойынша, 340-430 нм шегіндегі эмиссиялық толқын ұзындығы 3-4 сақиналы ароматты құрылымдармен байланысты болуымен түсіндіріледі.



Сурет 34 – Қоңыр көмірден алынған ГҚ үлгілерінің флуоресцентті козу/эмиссиялық матрицасы: (a) ОҚК ХГЗ, (b) ОҚК БГЗ, (c) ЛҚК ХГЗ, (d) ЛҚК БГЗ (БГЗ *Vacillus* sp. РКВ 7 мысалында алынған)

Кесте 16 – Флуоресцентті талдаудың арнайы индекстері

Флуориметрияның индекстері	ОҚК			ЛҚК		
	ХГЗ	БГЗ <sub>РКВ 7</sub>	БГЗ <sub>РКВ 10</sub>	ХГЗ	БГЗ <sub>РКВ 7</sub>	БГЗ <sub>РКВ 10</sub>
FI (ex.370 nm, em.470/520 nm)	1,05 ± 0,02	1,85 ± 0,03	1,67 ± 0,07	1,14 ± 0,03	1,39 ± 0,01	1,22 ± 0,04
VIХ (ex.370 nm, em.380/430 nm)	0,11 ± 0,01	0,98 ± 0,01	0,81 ± 0,02	0,23 ± 0,01	0,34 ± 0,02	0,29 ± 0,02
НИХ (ex.255 nm, em.435-480/300-345 nm)	13,86 ± 0,13	9,14 ± 0,09	10,49 ± 0,06	11,31 ± 0,11	10,77 ± 0,04	9,37 ± 0,09

Биологиялық тазартылған көмір өнімдерінің табиғатын (микробтық метаболиттердің әсері, гуминді заттардың көздері және гумусты заттардың



жетілу дәрежесі) зерттеу үшін флуоресценциялық талдаудың үш көрсеткіші (FI, BIX және NIX) таңдалды. Флуоресцентті талдаудың арнайы индекстері 16 кестеде келтірілген.

Жалпы флуоресцентті индексті (FI) әр түрлі көздерден алынған ГҚ-ның салыстырмалы мөлшерін бағалаушы ретінде жасалады. 370 нм-дегі қозудан кейін, мән 450 нм-де 500 нм-ге шығарылу қарқындылығының қатынасы ретінде есептеледі. FI мәндері 1,3 немесе одан төмен болса, жер бетіндегі топырақтан алынған ароматты қосылыстар жоғары органикалық заттарға сәйкес келеді, ал 1,9 немесе одан жоғары мәндер микробтық-балдырлық көздеріне және көмірсулардың аз мөлшеріне сәйкес келеді. ОҚК ГҚ-ның FI мәні 1,05 құрады және биотермиядан кейін 1,85 дейін өзгерді. Осы уақытқа қоңыр көмір биосоллюбилизациясынан алынған ГҚ қатысты әдебиеттерде жарияланған деректер жұмыста алынған деректермен салыстыруға келмейтіні белгілі болды [281, 282, 285].

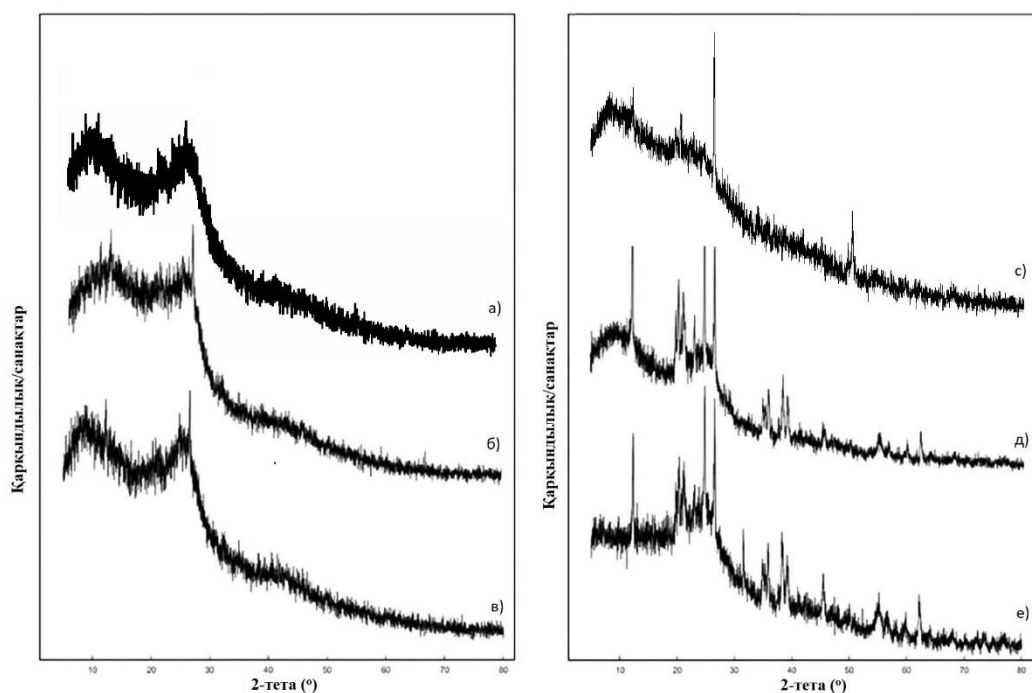
Биохимиялық индекс (BIX) автохтонды топырақтың биологиялық белсенділігінің үлесін бағалау үшін жасалды. BIX жоғары мәндері биологиялық туынды органикалық заттардың үлесіне сәйкес келеді. Биохимиялық индекс 1-ден жоғары мәндер негізінен биологиялық және микробтық үлгілермен байланысты, ал төмен мәндер ГҚ-да автохтонды материалдың аз екендігін көрсетеді. BIX 370 нм-дегі қозудан кейін 380/430 нм сәуле шығару қарқындылығының қатынасы ретінде есептеледі. Жұмыста BIX мәндері 0,11-0,98 аралығында болды, ол гумин тәрізді фторфорлардың басым болуына байланысты. Алайда, осы күнге дейінгі әдебиеттерде қоңыр көмір биосоллюбилденген өнімдердің BIX мәніне қатысты басқа зерттеулер жоқтың қасы.

EEM спектрлік мәліметтерінен алынған ылғалдандыру индексі (NIX) немесе Zsolnay индексі туынды ГҚ ароматтылығын бағалау үшін кеңінен қолданылады. NIX ex. 255 нм толқын ұзындығындағы em. (300-ден 345 нм-ге дейінгі сәулелену толқындарының арасында өлшенген қарқындылыққа бөлінген 435-тен 480 нм-ге дейінгі сәулелену толқындарының арасында өлшенген флуоресценция қарқындылығының біріктірілген ауданы) қарқындылықтардың қатынасы ретінде есептеледі. NIX жоғары мәндері (>10) жоғары ылғалданған немесе хош иісті органикалық заттарды көрсетеді, негізінен жер беті, ал төмен мәндер (<4) автохтонды немесе микробтық шығу тегіне сәйкес келеді. Бұл зерттеуде ОҚК-ден БГЗ ароматты қосылыстар дәрежесі төмен болды. Бұл ГҚ флуоресценттік индексі UV-Vis спектроскопиясымен алынған сіңіру көрсеткіштерінің нәтижесіне сай келеді.

Жұмыста алынған нәтижелер ароматты қосылыс құрылымдардың конденсация деңгейінің төмендеуін көрсетті, бұл зерттелген бактерия штамдары бастапқы құрылымын метаболитті тұрғыдан өзгертеді, бұған, негізінен, олардың полиароматты ядросын түрлендіру арқылы қол жеткізуге болады.

Рентгенограммалар (XRD). Рентгендік құрылымдық талдау материалдардың минералдық сипаттамаларын анықтайтын негізгі әдіс болып табылады. Микробтық белсенділік зерттелген үлгілердің кристалдық

құрылымын өзгеріске ұшыратуын бағалау үшін қоңыр көмірдің шикі сынамалары мен олардың ерітіндісінің биосоллюбилизацияланған қалдықтары тексерілді. Қоңыр көмірдің өңделмеген және өңделген үлгілерінің дифрактограммаларын салыстыру басты (кең) пиктердің орналасуы биосоллюбилизацияға байланысты өзгермегенін көрсетті, бірақ дифракциялық пиктердің қарқындылығы айтарлықтай өзгерді. Биосоллюбилизацияның зерттелген көмірлердің кристаллдық құрылымына әсерін бағалау үшін осы әдістің көмегімен бастапқы көмір үлгілері мен биосоллюбилизацияланған көмір қалдықтары зерттелінді. Өңделмеген көмірдің және өңделген көмірдің дифрактограммаларын салыстыру кең пиктердің орналасуы биосоллюбилизация кезінде өзгермейтінін, бірақ дифракция пиктерінің қарқындылығы өзгертіндігін көрсетеді (сурет 35). Екі басым дифракция пиктері ОҚК бастапқы көмір сынамаларында  $2\theta = 12,2^\circ$  (каолинит) және  $26,7^\circ$  (кварц) деңгейінде орналасқан. Өңделген ОҚК қалдықтары фазалары неғұрлым қарқынды және сәл кеңірек болып көрінді, бұл бактерия метаболизмінің ОҚК кристаллдылығына аз әсер еткенін көрсетуі мүмкін.



Сурет 35 – Қоңыр көмір үлгілерінің дифрактограммалары: (а) өңделмеген ОЛІ қалдығы, (б) биосоллюбилизденген ОЛІ<sub>РКВ 7</sub> қалдығы, (в) биосоллюбилизденген ОЛІ<sub>РКВ 10</sub> қалдығы, (с) өңделмеген ЛҚК қалдығы, (д) биосоллюбилизденген ЛҚК<sub>РКВ 7</sub> қалдығы, (е) биосоллюбилизденген ЛҚК<sub>РКВ 10</sub> қалдығы

ЛҚК алынған үлгілердің рентгендік дифрактограммаларында фондық интенсивтілік жоғары болды, бұл үлгілерде аморфты көміртек тәрізді ретсіз материал бар екенін көрсетеді. Атап айтқанда, бұл қоңыр көмірдің дифракциялық үлгісі  $10^\circ < 2\theta = 12,2^\circ, 20,8^\circ, 23,2^\circ, 24,9^\circ, 26,7^\circ$  және  $39,4^\circ$  кезінде байқалған кең пиктер сәйкесінше каолинит, кварц, жарозит, каолинит, кварц және пиритке сәйкес келеді. Бұл таза жолақтар биологиялық шабуылға төзімді

кристалды көміртекті (графит тәрізді) құрылымдардың болуын көрсетеді. Алайда, ЛҚК биосоллюбилизациясынан кейін шамамен 30° пирит биосоллюбилизация нәтижесінде жаңа кезең байқалды.

Сонымен жұмыстың нәтижесі ОҚК үлгісінен бактерия штамдары арқылы шығаратын ГЗ көп екенін көрсетті, ал ЛҚК үлгілерінің салыстырмалы түрде ГЗ аз болуынан биобайланыстырушы ретінде ағаш үгінділерін қосуды қажет ететінін көрсетті.

### 3.7 Биоөңделген қоңыр көмірлердің құрылымдық қасиеттерін жоғарылату

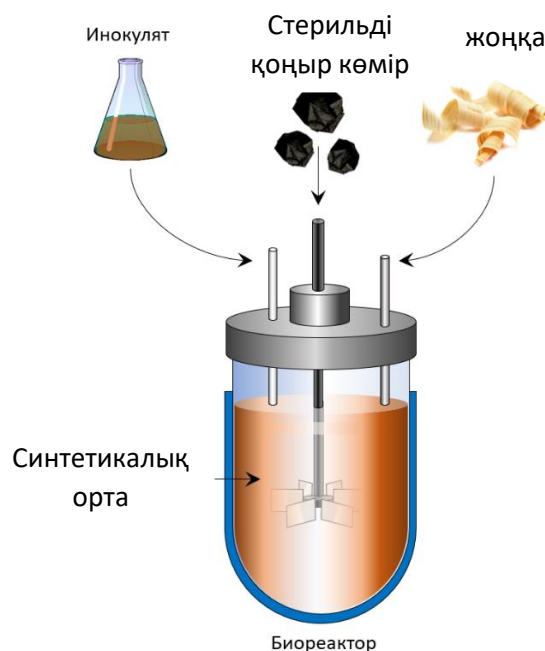
Зерттеудің бұл кезеңінде қоңыр көмір үгінділерін аэробты биоөңдеу кезінде ағаш қалдықтарының (көктерек жоңқалары) биосурфактанттар генерациясына әсері зерттелді. Мұндай әдіс брикеттеу үшін қоңыр көмірдің пластикалық қасиеттерін арттыруға/оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Биосоллюбилизацияланған көмірде байланыстырушы қасиеттердің болуы бастапқы субстратпен салыстырғанда түзілген өнімдердегі гуминдік заттардың көбеюімен байланысты. Бұл жағдайда полярлық функционалды топтардың жоғары концентрациясы түзіледі, олар көмір үгінділерінің пластикалық қасиеттерін, сонымен қатар байланыстырушы агенттердің генерациясын арттырады.

Органикалық-көміртекті шикізаттың биооллюбилизациясы бойынша тәжірибе биореакторда аэробты жағдайда қоңыр көмірге бейімделген *Bacillus* sp. RKB 7 және *Providencia* sp. RKB 10 штаммы клеткаларының сұйық дақылдарын қолдану арқылы жүргізілді (сурет 36, 37).



Сурет 36 – Қоңыр көмірді биоөңдеу бойынша тәжірибе жүргізуге арналған биореактор



Сурет 37 – Қоңыр көмірді биоөңдеуді жүргізу үшін тәжірибелік қондырғының сызбанұсқасы

Бастапқы (БҚК - ОҚК, БҚК - ЛҚК) және биоөңделген қоңыр көмірлердегі (БИОҚК - ОҚК, БИОҚК - ЛҚК) өнімнің сапа көрсеткіштерін анықтау, сондай-ақ ағаш жоңқаларын қосып, қоңыр көмірді бірлескен биоөңдеу (ЖБҚК - ЛҚК) элементтік талдау және флуориметрия көмегімен жүргізілді.

Биоөңделген қоңыр көмір мен ағаш жоңқаларымен өңделген үлгілерді басқапқы қоңыр көмірмен салыстырғанда Н/С қатынасының жоғарылауы байқалды. ЖБҚК үшін Н/С максималды мәні белгіленді, бұл гуминдік заттар құрылымындағы алифаттық фрагменттер үлесінің артуын көрсете алады (кесте 17).

Кесте 17 – Н/С қатынасының көрсеткіштері

Үлгілер	С, мас. %	Н, мас. %	Н/С қатынасында
БҚК ОҚК	80,1 ± 0,2	5,37 ± 0,3	0,78 ± 0,2
БҚК ЛҚК	74,2 ± 0,1	4,75 ± 0,2	0,76 ± 0,1
БИОҚК ОҚК	78,9 ± 0,4	6,13 ± 0,1	0,86 ± 0,4
БИОҚК ЛҚК	73,1 ± 0,3	5,13 ± 0,4	0,83 ± 0,3
ЖБҚК ЛҚК	72,9 ± 0,1	5,24 ± 0,4	0,86 ± 0,1

Нәтижеден көргеніміздей, биоөңделген қоңыр көмір үлгілері (БИОҚК - ОҚК, БИОҚК - ЛҚК) мен ағаш жоңқаларын қосып, қоңыр көмірді бірлескен биоөңдеу үлгілеріндегі С элементінің кеміп, Н элементінің артады және Н/С қатынасының да жоғарылауы айқын көрінеді.

### **3.8 Қоңыр көмірлерді биоөңдеу арқылы брикеттеудің технологиялық сызбасы**

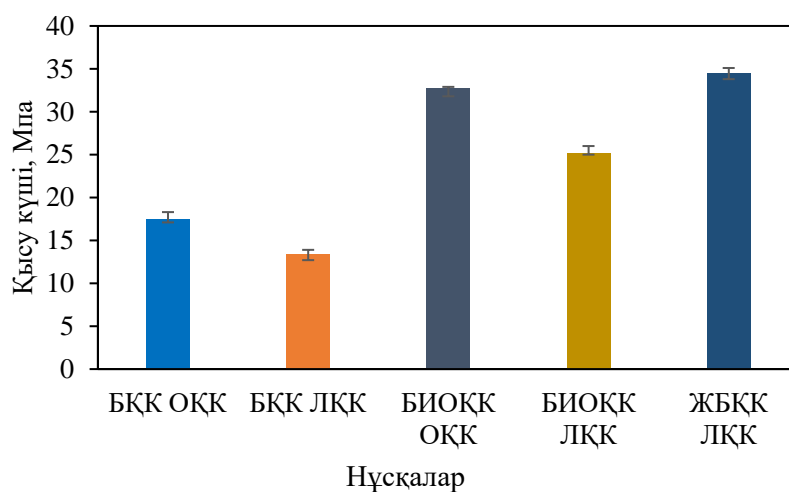
#### **3.8.1 Биоотынның функционалдық қасиеттерін зерттеу**

Қатты отынды брикеттеу үшін тікелей көмірдің өзінен алынған байланыстырғышты қолдану технологиясының болашағы зор. Осыған ұқсас технология – бұл көмірдің биотехнологиялық трансформациясы.

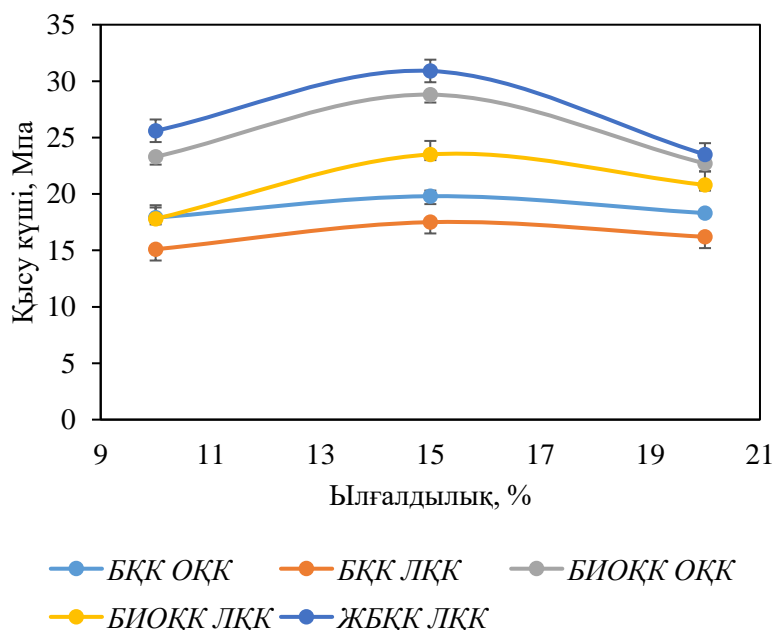
Зерттеудің осы кезеңінде қоңыр көмір биотрансформация үдерісінің технологиялық параметрлерінің қатты отынның байланыстырушы қасиеттерінің генерациясына әсері зерттелді. Брикеттердің беріктік қасиеттерін сипаттайтын негізгі факторлар көмір үгінділерінің ылғалдылығы және меншікті тығыздау қысымы болып табылады. БҚК, ВВС және ЖБҚК негізінде алынған брикеттер сығымдау және қажалу сынақтарынан өтті. Зерттеу барысында келесі технологиялық параметрлер қолданылды: көмірдің барлық нұсқалары бойынша фракциялары: <0,7 мм; биоөңдеудің БИОҚК және ЖБҚК үшін ұзақтығы: 30 сағат. Осылайша 38-ші суретте брикеттердің сығылу беріктігінің (тығыздау қысымы 120 МПа) тәуелділігі көрсетілген. Деректерден көрінетіндей, биоөңдеу кезінде (БИОҚК және ЖБҚК) алынатын брикеттердің беріктігінің артқандығы анықталды.

Зерттеудің келесі кезеңінде БҚК, БИОҚК және ЖБҚК компоненттерінің ылғалдылығының брикеттердің беріктік сипаттамаларына әсері бағаланды (сурет 39). Қолданылатын тығыздау қысымына (120 МПа) байланысты, одан алынған брикеттердің максималды беріктігіне сәйкес келетін барлық нұсқалар үшін ылғалдылықтың оңтайлы мөлшері 15% болатындығы анықталды, бұл жағдай қысу күшінің жоғарылауына алып келеді.

Көмірдің биотрансформациясы барысында ылғалдылығы ~70% болатын биосуспензиялар түзіледі. Бірақ оларды байланыстырушы агент ретінде одан әрі пайдалану үшін ~15% көмір ылғалдылығын алу қажет. Осыған байланысты биокөмірлі суспензияның қолайлы температурасының алынған өнімдердің байланыстырушы қасиеттеріне әсері бағаланды.



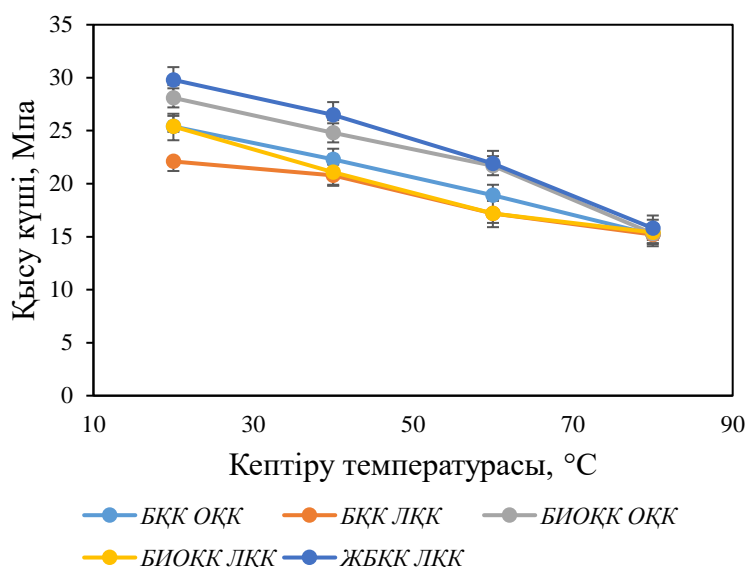
Сурет 38 – Брикеттердің беріктік көрсеткіштері



Сурет 39 – Брикеттер беріктігінің 120 МПа тығыздау қысымы кезінде ылғалдылыққа тәуелділігі

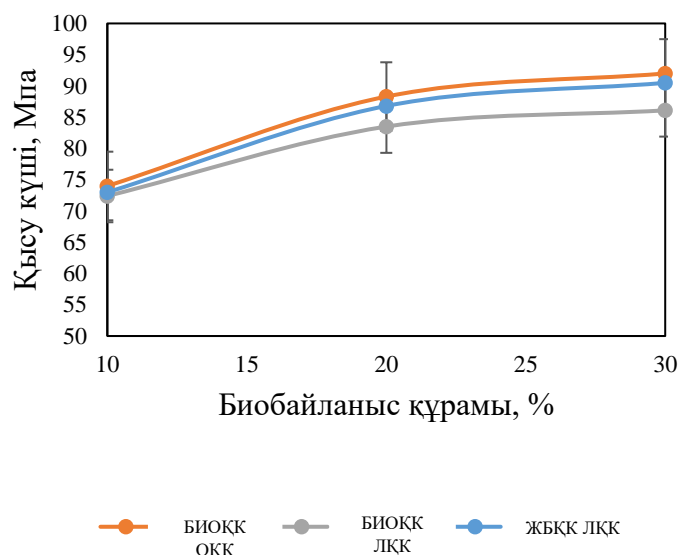
40-ші суреттегі мәліметтерден көрінетіндей, биосуспензияның кептіру температурасы 20-дан 80°C дейінгі аралықта брикеттердің сығылу күшіне әсер етеді (меншікті тығыздау қысымы 120 МПа). Пайда болған брикеттердің максималды беріктігі биосуспензияларды 20°C температурада кептіру режимімен қамтамасыз етілді; кептіру температурасының жоғарылауымен алынған брикеттердің беріктігі төмендейді.

Жұмыстың келесі кезеңінің мақсаты жоғары сапалы брикеттер алу үшін брикеттеу кезінде үгінділердің құрамындағы биобайланыстырғыш заттың минималды құрамын анықтау болды. Зерттеу барысында келесі технологиялық параметрлер қолданылды: тығыздау қысымы – 120 МПа; биобайланыстырғыштың ылғалдылығы массаның 15,0% құрайды, ал брикеттелген көмірдің ылғалдылығы массаның 16,5% құрайды (МЕМСТ 7299-84). Көмір класы және биобайланыстыру көлемі <0,7 мм қолданылады; шихтадағы биобайланыстырғыштың мөлшері массаның 30, 20 және 10% құрады.



Сурет 40 – Брикеттер беріктігінің кептіру температурасына тәуелділігі, °C

41-ші суретте көрсетілген мәліметтер, қажетті сападағы брикеттерді алу үшін, үгіндідегі биобайланыстырғыштың құрамын массаның 20%-дан аспайтын мөлшерде қолдану қажет екенін көрсетеді. Тығыздау қысымы 120 МПа болған кезде және үгіндідегі биобайланыстыру құрамы массаның 20% болған кезінде алынған брикеттердің беріктігі БИОҚК үшін 83,5% және ЖБҚК үшін 86,8% тең болды, бұл МЕМСТ 7299-84 талаптарын қанағаттандырады (қажалуға беріктігі 77,8%-тан кем емес). БҚК үшін (биобайланыстырғышсыз бастапқы көмір) бұл көрсеткіш 68,2% құрады.



Сурет 41 – Брикеттің қажалуға беріктігі құрамындағы биобайланыстырушылардың үлесіне тәуелділігі

БҚК, БИОҚК және ЖБҚК негізіндегі Ленгір көмірінің брикеттелуін бағалауға арналған жартылай өнеркәсіптік сынақтар Алматы қаласындағы (Қазақстан) ЖШС «АІМ Lab» пилоттық-өнеркәсіптік фабрикасында штемпель басқышында өткізілді. Бастапқы материалдар балға диірменінде 1 мм дейін ұсақталды. ЖБҚК нұсқасы үшін тиісті түйір-өлшемдік құрамды ағаш үгінділері (0,5 мм) қолданылды.

Кесте 18 – Штемпель басқышта алынған брикеттердің тұтынушылық қасиеттері мен көмірдің құрамы

Нұсқалар	Көмір құрамы, %			Ылғалдылық, %		Брикеттердің беріктігі	
	Көмір	Ағаш жаңқасы	Биобайланыстырушы	Көмір	Биобайланыстыру	Қысу, МПа	Қажалу, %
БҚК ОҚК	100	-	-	16,5	15	18,9	71,7
БҚК ЛҚК	100	-	-	16,5	15	17,5	68,2
БИОҚК ОҚК	80	-	20	16,5	15	28,1	88,3
БИОҚК ЛҚК	80	-	20	16,5	15	23,5	83,5
ЖБҚК ЛҚК	70	10	20	16,5	15	30,9	86,8

Әрбір нұсқаға сәйкес көмір үгінділерін мұқият араластырғаннан кейін, оны кептіргіш шкафқа қойып, тығыздау алдында 40°C-қа дейін қыздырды. Бұл температура түйір-өлшемдік құрам және ылғалдылық көрсеткіштерімен бірге Б2-3 қоңыр көмір штемпель басқыштарында брикеттеуге дайындаудың стандартты технологиясына қатысты таңдалды [286, 287].

Брикеттеу бойынша сынақ нәтижелері және брикеттердің тұтынушылық қасиеттерін бағалау 18-ші кестеде ұсынылған.

Кестеде келтірілген мәліметтерге сәйкес, штемпель бастырғышында биобайланыстырғыш (БҚК және БИОҚК) қолдану арқылы алынған брикеттер қатты отынға қойылатын стандартталған беріктік талаптарына сәйкес келеді.

### 3.8.2 Биоотынның энергетикалық және жылу-техникалық қасиеттерін зерттеу

Алынған брикеттер тұтынушылардың талаптарына, стандарттарға және тұрмыстық-коммуналдық қажеттіліктерге арналған, сондықтан олардың энергетикалық және жылу-техникалық шарттарына сәйкестігі тексерілді. 19-шы кестеде биологиялық агенттер көмегімен алынған Ленгір қоңыр көмірінен пиролиз өнімдерінің химиялық және техникалық қасиеттері туралы мәліметтер келтірілген. Алынған нәтижелер, қолайлы сипаттамалары бар түтінсіз брикетті отынын алу үшін 550°C температурада пиролиздеумен биомодификацияланған (БИОҚК және ЖБҚК) брикеттер қажеттігін көрсетті.

Кесте 19 – Қоңыр көмірлерден алынған пиролиз өнімдерінің сипаттамалары

Нұсқалар	Техникалық сипаттамасы			Элементтік құрамы, %				
	A, %	V, %	Q, МДж/кг	C	H	N	S	O
БҚК ОҚК	9,3± 0,1	31,2± 0,02	19,2± 0,1	79,2± 0,1	4,91 ± 0,3	1,47± 0,02	0,11± 0,01	14,31 ± 0,03
БҚК ЛҚК	18,5± 0,2	39,1± 0,01	12,1± 0,2	75,6± 0,4	3,7± 0,2	0,81± 0,03	0,85± 0,	19,04 ± 0,02
БИОҚК ОҚК	7,4± 0,2	19,7± 0,4	29,4± 0,3	82,6± 0,2	3,3± 0,1	1,59± 0,04	0,07± 0,01	12,44 ± 0,03
БИОҚК ЛҚК	9,8± 0,1	27,2± 0,1	21,5± 0,2	78,5± 0,4	3,4± 0,1	0,90± 0,03	0,81± 0,03	16,39 ± 0,04
ЖБҚК ЛҚК	10,1± 0,2	18,5± 0,3	27,1± 0,3	81,5± 0,3	2,2± 0,1	1,02± 0,01	0,84± 0,05	14,44 ± 0,03

550°C пиролиз температурасында БҚК, БИОҚК және ЖБҚК брикеттерінің күлділігі сәйкесінше 18,5%, 9,8% және 10,1% құрайды. ЖБҚК және БИОҚК биомодификацияланған брикеттеріндегі ұшпа заттар құрамы БҚК-мен салыстырғанда айтарлықтай төмендейді және сәйкесінше 18,5%, 27,2% және 39,1% құрайды. Осылайша, ұшпа заттардың құрамы бойынша алынған биобрикеттер түтіндігі төмен отынға жатқызылады. Пиролиз өнімдерін 550°C



температурада тәжірибелер көрсеткендей, биобрикеттердің жануы ~100 сек ішінде жүреді, сонымен қатар, жану кезінде күйенің бөлінуі байқалмайды. Сонымен бірге пиролизденген БИОҚК және ЖБҚК жану жылуы бастапқы БҚК-мен салыстырғанда артады және сәйкесінше 27,1, 21,5 және 12,1 МДж/кг құрайды.

Элементтік талдау мәліметтерінен пиролиз кезінде биобрикеттердегі көміртегі құрамының едәуір жоғарылауы биобрикеттердегі сутегі құрамының төмендеуі байқалады. ЖБҚК-де көміртегі мөлшері 81,5% дейін көтеріледі. Пиролиз кезінде сутегінің мөлшері 550°C температурада брикеттер үшін 3,7% -дан (БҚК) 3,4% -ға (БИОҚК) және 2,2% (ЖБҚК) дейін төмендейді.

Пиролиз кезінде биоотындардағы оттегінің айтарлықтай төмендеуі байқалады. Егер БҚК-де оттегінің мөлшері 19,04%, ал ВВС-де - 16,39% болса, ЖБҚК-де оның мөлшері 14,44% дейін төмендейді. Барлық брикеттерді пиролиздеу процесінде азот пен күкірттің құрамында айтарлықтай өзгеріс болмайтындығы тән.

Осылайша, Леңгір қатты отындары мен биоагенттерін (ВВС және ОВВС) пиролиздеу нәтижесінде алынған брикеттер қарапайым брикетке (БҚК) қарағанда 0,7-2,0 есе жоғары жану жылуына ие, механикалық беріктігі мен суға төзімділігі жоғары болады (сурет 42).

Пилоттық режимде биоотындарының тұтынушылық қасиеттерін бағалауға стандартты жылыту пешінде жану кезіндегі оның отын-энергетикалық параметрлері зерттелді.



Сурет 42 – Леңгір көмірінен алынған брикеттер



Сурет 43 – Қарапайым жылыту пештерінде жағу кезінде брикеттердің отын-энергетикалық тиімділігін анықтау

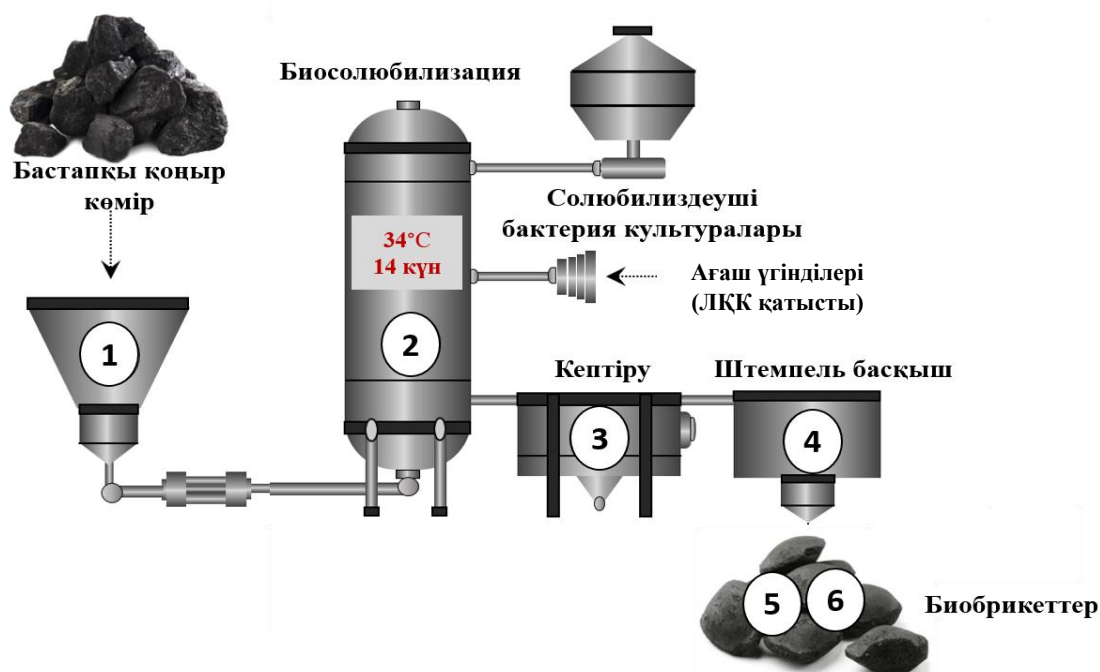
Биобрикеттердің тұтынушылық қасиеттерін зерттеу оларды тұрмыстық жылыту және пісіру пешінде жағу арқылы жүргізілді (сурет 43). Бұл пештің жұмыс уақыты отын материалының тұтануынан бастап жану өнімдерінде  $CO_2$  ~ 3% көлемге дейін бөлінуіне дейін анықталды. Жұмыс циклі кезінде мұржадағы газ тәрізді жану өнімдерінің температурасы және олардағы CO мөлшері волюмометрия әдісімен өлшенді. Жылу техникалық параметрлерін есептеу МЕМСТ 9817-82 сәйкес жүргізілді (кесте 20).

Кесте 20 – Көмір брикеттерін жағудың отын-энергетикалық параметрлері

№	Жағу көрсеткіштерінің атауы	Отын-энергетикалық көрсеткіштері				
		БҚК ОҚК	БҚК ЛҚК	БИОҚК ОҚК	БИОҚК ЛҚК	ЖБҚК ЛҚК
1	Пештің жану камерасына салынған брикеттердің массасы, кг	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
2	Тамызық материалдың салмағы, кг	1,5± 0,1	1,6± 0,2	0,8± 0,1	0,9± 0,2	0,5± 0,1
3	Пештің жұмыс уақыты, сағ	4,1± 0,1	4,0± 0,1	4,2± 0,2	4,1± 0,2	4,5± 0,3
4	Пештен шығатын жану өнімдерінің орташа температурасы, °С	175,2± 0,3	174,1± 0,2	176,3± 0,4	176,4± 0,5	175,6± 0,2
5	Бөлмедегі ауаның орташа температурасы, °С	25,5± 0,4	25,4± 0,3	25,7± 0,5	25,6± 0,4	25,5± 0,2
6	Жану өнімдеріндегі СО-ның көлемдік үлесі, %	-	-	-	-	-
7	Шығатын газдарымен жылу жоғалту, %	5,3± 0,1	5,6± 0,3	5,0± 0,1	5,8± 0,3	5,1± 0,2
8	Бастапқы отынның жұмыс күлділігі, %	13,4± 0,1	19,1± 0,3	10,2± 0,2	9,1± 0,1	10,5± 0,2
9	Отынның жануының төменгі жылулығы, МДж/кг	15,7± 0,2	12,8± 0,3	24,6± 0,3	21,6± 0,2	27,5± 0,1
10	Тиімділік коэффициенті, %	68,7± 0,3	56,5± 0,2	78,4± 0,4	74,2± 0,3	81,1± 0,2

Тиімділік коэффициентімен бағаланатын отандық пештердегі БИОҚК және ЖБҚК жану тиімділігі ІВС қарағанда айтарлықтай жоғары. Осындай, жүргізілген зерттеулер биобрикеттер тұрмыстық отынның тез жанатын түрі екенін анықтады, өйткені тамызық материалдың аз мөлшері қажет; биобрикеттерді жағу кезіндегі тұрмыстық жылыту-пісіру пешінің пайдалы әрекет коэффициенті анағұрлым жоғары.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері биобайланыстырушы негізінде қоңыр көмірден қатты түтінсіз отын алу бойынша өндірістік модулінің қағидаттық технологиялық сызбанұсқасын жасау үшін пайдаланылды. Модуль келесі негізгі кезеңдерді қамтиды (сурет 44).



Сурет 44 – Леңгір қоңыр көмірінен брикеттелген түтінсіз отынды өндірудің технологиялық сызбанұсқасы

1. Көмірді дайындау кезеңі: мөлшері 1 мм-ге дейінгі және ылғалдылығы ~16% болатын В2-В3 класындағы бастапқы көмірді алдын ала ұсақтау;

2. Биосолюбилизация кезеңі: көмір компоненттері мен биобайланыстырушы тұтынумен биореакторларда (100 м<sup>2</sup>) көмір үгіндісін биоөндеу. Биосурфактанттардың тиімді өндірушілері *Bacillus* sp. РКВ 7 және *Providencia* sp. РКВ 10 болып табылады;

3. Кептіру кезеңі: цикл аяқталғаннан кейін ~70% ылғалдылығы бар биокөмір суспензиясы ~16% ылғалдылыққа дейін механикалық ылғалсыздандыруға жіберіледі;

4. Биобрикеттерді алу кезеңі: 70:20:10 массаның арақатынасында көмір мен биобайланыстырушы араластырғышқа үгітуді және одан кейін 120 МПа-да штемпель басқышта брикеттеуді қамтиды;

5. Алынған биобрикеттерді 5000 дана/сағат көлемінде салқындату кезеңі;

6. Биобрикеттерді жеке тұтынушыларға ыңғайлы қаптамаға салу кезеңі.

Биобайланыстырушы ретінде көмірді микробтық биомодификациялау өнімдерін қолдана отырып қоңыр көмірден түтінсіз биобрикет алудың берілген технологиялық сызбанұсқасына сәйкес алынған нәтижелер Леңгір көмірінен экологиялық таза және жоғары сапалы түтінсіз қатты отын өндірісін құру үшін қолданылуы керек деп болжануда.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижелері бойынша келесі қорытындылар жасалды:

1 Леңгір және Ой-қарағай көмір кен орнынан қоңыр көмір сынамаларының физикалық, механикалық және химиялық талдауларының нәтижелері бойынша келесі сапалық сипаттамалары анықталды: ЛҚК/ОҚК жалпы ылғалдылық – 10/7,8%; күл мөлшері - 21,2/11%; меншікті жылу мәні - 7 300/15 700 кДж/кг, ұшпа заттардың шығымы – 43/36,7%. Қоңыр көмірдің элементтік талдауы келесі мәліметтерді көрсетті (%): ЛҚК/ОҚК С - 61,3/74–2; Н - 3,52/7,–5; N - 0,85/1,57; S – 1,61/0,13; О – 32,72/19,43. Талданатын көмірдің молекулалық құрылымы, сонымен қатар оның жеке компоненттері әр түрлі спектрлік (ИҚ, УК, Раман) талдаулармен және микроскопиялық әдістермен сипатталды.

Қоңыр көмірлердің (ЛҚК/ОҚК) күкірті құрғақ салмақтың 3,14/1,71% құрайтыны анықталды. Көмірдегі күкірттің жекелеген түрлерінің мөлшері анықталды, сынамаларда кездесетін негізгі күкірт қосылыстары үлгілерінде төмендегіндей нәтиже көрсетті (%): ( $S_s$ ) ЛҚК/ОҚК - <0,01; пирит күкірті ( $S_p$ ) ЛҚК - 1,61, ОҚК - 1,18; органикалық күкірт ( $S_o$ ) ЛҚК - 1,53, ОҚК - 0,54.

2 Алғаш рет қоңыр көмір үлгілерінің микробтар қауымдастығының биоалуантүрлілігі мен таксономиялық құрылымы Illumina жоғары өнімді секвенирлеу деректерді талдау негізінде сипатталды. Нәтижелер негізінде *Proteobacteria*, *Tenericutes*, *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Nitrospirae*, *Chloroflexi*, *Gemmatimonadetes*, *Acidobacteria* және *Fusobacteria* жататын бактериялардың 10 таксономиялық тобы талданды. *Bacillus* және *Providencia* тектес бактериялар бөлініп алынды және идентификацияланды. Олардың дақылдық-морфологиялық және физиологиялық-биохимиялық ерекшеліктері зерттелді.

*Bacillus* sp. RKB 7 және *Providencia* sp. RKB 10 дақылдары биосурфактанттарды өндірушілер болып табылды және биосолюбилизация процесінде қоңыр көмірдің көп мөлшері бар ортада белсенді түрде көбейді, сонымен қатар бұл микроорганизмдердің өсуінің бейімделу фазасы 24 сағатты құрады. Биомассаның максималды өсуі қоршаған ортада қоңыр көмірдің концентрациясы 5% болғанда байқалды.

3 Биосурфактанттардың өндірушілері *Bacillus* sp. RKB 7 (дизель - 18,5%) және *Providencia* sp. RKB 10 (хлороформ - 60%) органикалық субстратқа қатысты жоғары эмульгаторлық белсенділікке ие. Бактериялардың штамдарының биосолюбилиздеу қабілеттілігін анықтау *Bacillus* sp. RKB 7 изоляты қоңыр көмірдің органикалық массасын ыдырау/пайдалану қабілетінің жоғарылауымен сипатталатынын көрсетті, бұл оның 14 күн ішінде 23,9%-ға дейін еруіне алып келді. Биосолюбилизация кезінде ортаның рН жоғарылауы (рН 8) оңтайлы болып табылады және микроорганизмдердің сілтілі метаболиттердің синтезіне байланысты.

Қоңыр көмірді өңдеу кезінде гуминдік заттардың түзілуіне биосурфактанттардың айтарлықтай әсері анықталды. LC/MS (QqQ) және FTIR талдауларының нәтижелері ақуыз тәрізді және май қышқылының заттары

биосоллюбилизацияны катализдейтін негізгі факторлар екенін көрсетті. UV-Vis коэффициенттері бастапқы және биотрансформацияланған қоңыр көмірлердің гуминді заттарының молекулалық массасы мен ароматтылық дәрежесінің айырмашылығын растады.

4 Қоңыр көмірді бактерия дақылдары және органикалық қалдықтармен биоөңдеу көмір зарядының пластикалық қасиеттерін арттыратын полярлық топтардың интенсивтілігі жоғары гуминді заттардың пайда болуын арттыратыны көрсетілген. Осылайша, флуоресцентті ЕЕМ спектрлерінің мәндері биосоллюбилизденген гуминді заттардың микробиологиялық (FI~1.9, VIX~1) табиғатын ашты, ал НІХ индексі биокөмір өнімдерінің төмен ароматты қосылыстарын көрсетті.

5 Брикеттеудің химиялық және технологиялық параметрлерінің брикеттердің функционалдық қасиеттеріне әсері зерттелді. Биокөмірді суспензия үшін кептірудің оңтайлы температурасы 20°C екендігі дәлелденді. Тұрақты қатты отын алу үшін байланыстырғыштардың ылғалдылығы ~ 15%, ал брикеттеуге арналған үгіндідегі байланыстырғыштардың құрамы БИОҚК мен ЖБҚК 20% болуы керек екендігі анықталды. Бұл жағдайда 120 МПа арнайы қысымы қажет.

6 Зерттеу нәтижесінде пештің тиімділігімен бағаланатын тұрмыстық пештердегі биобрикеттердің жануының отын-энергетикалық тиімділігі бастапқы көмір брикеттерімен салыстырғанда едәуір жоғары (81,1% дейін) екендігі анықталды. Ұзақ уақыт сақтауға және тасымалдауға жарамды, биобайланыстырушылар көмегімен қоңыр көмірден түтінсіз отын алудың негізгі технологиялық сызбанұсқасы ұсынылды.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1 Finkelman, R.B., and Brown, R.D., 1991, Coal as a host and as an indicator of mineral resources, *in* Peters, C.C., ed., *Geology in coal resource utilization*: Fairfax, Va., Tech Books, p. 471–481.

2 Электронный ресурс: <https://www.britannica.com/science/coal-fossil-fuel/Origin-of-coal>

3 Brannon, J.C., Podosek, F.A., and Cole, S.C., 1997, Radiometric dating of Mississippi Valley-type ore deposits, *in* Sangster, D.F., ed., *Carbonate-hosted lead-zinc deposits*: Society of Economic Geologists, Special Publication No. 4, p. 536–545.

4 Cobb, J.C., 1979, Timing and development of mineralized veins during diagenesis in coal beds, *Proceedings from Neuvieme Congres International de Stratigraphie et de Geologie du Carbonifere*, *Compte Rendu v. 4*, *Economic Geology—Coal, oil, and gas*: Washington, D.C., and Champaign-Urbana, Ill., Southern Illinois University Press, p. 371–376.

5 *Limits to Growth: The 30-Year Update*, Donella H. Meadows, Jorgen Randers, Dennis L. Meadows. *Пределы роста. 30 лет спустя/ Пер. с англ.* — М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. — 342 с.: ил.

6 Воронина Н. В. Вопросы обеспечения мировой экономики природными запасами нефти. // *Российский внешнеэкономический вестник*. — №7. — 2007. — с. 27–35. — [http://www.rfej.ru/rvv/id/4E8AA9/\\$file/27-35.pdf](http://www.rfej.ru/rvv/id/4E8AA9/$file/27-35.pdf).

7 Производство биотоплива в Европейском Союзе: политика, сертификация, критерии устойчивости / А. Н. Кривошеин; под общ. ред. Н. М. Шматкова, WWF России и А. И. Воропаева, Ассоциация экологически ответственных лесопромышленников России. — М., 2016. — 39 [1] с. [https://wwf.ru/upload/iblock/d15/bio\\_site.pdf](https://wwf.ru/upload/iblock/d15/bio_site.pdf).

8 Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства, 2008. Биотопливо: перспективы, риски и возможности. Глобальное биоэнергетическое партнерство. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций Рим, 2008. Выс. 9, С 65. <http://www.fao.org/publications/sofa/2008/ru/>.

9 British Petroleum (1996) *Statistical review of world energy*. London <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.

10 International Energy Agency (1996) *Coal Information*, Paris [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/28/038/28038239.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/038/28038239.pdf).

11 Rheinbraun AG (ed) (1997) *Lignite international*. Cologne, Germany.

12 Brecht C., Goethe H.G., Klatt H.J., Middelschulte A., Reintges H., Riemer H.J., Sondermann H. (1996) *Jahrbuch 1996: Bergbau, Erdöl und Erdgas, Petrochemie, Elektrizität, Umweltschutz*. Verlag Glückauf, Essen, pp 1109-1152.

13 European Commission (1995) *Coal can be green*. EC Directorate-General for Energy: Thermie Programme, Brussels.

14 Электронный ресурс: <https://www.eia.gov/coal/production/quarterly/>.

15 Isabel M., Ricardo N.P., Ana C.G., Adélia M.O. Sousa. Current status and future perspectives for energy production from solid biomass in the European industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 112 (2019) 960–977.

16 Seyboth K, Beurskens L, Langniss O, Sims RE. Recognising the potential for renewable energy heating and cooling. *Energy Policy* 2008; 36 (7): 2460 - 2463. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.046>.

17 Technical University Vienna, Observ'ER, Fraunhofer ISE, TEP Energy GmbH, IREES, Fraunhofer ISI. Mapping and analyses of the current and future (2020-2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables). Data Final Energy for heating and cooling. Version: 11/03/2016. 2016 Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/studies/mapping-and-analyses-current-and-future-2020-2030-heatingcooling-fuel-deployment>.

18 Электронный ресурс: <https://dprom.online/chindustry/ugol-v-kitae-ne-zavisimoe-gosudarstvo/>.

19 Электронный ресурс: <https://www.eia.gov/energyexplained/coal/>.

20 Электронный ресурс: <https://www.eia.gov/energyexplained/coal/coal-and-the-environment.php>.

21 Теория и практика угля. / Ж.К. Каирбеков, В.С. Емельянова, К.А. Жубанов, Ж.К. Мылтыкбаева, Б.Б. Байжомартов., - Алматы: Издательство «Білім», - 2013., - 496 стр.

22 Кузнецов В.С. // Оценка пылевого загрязнения при ведении открытых горных работ на основе экологического риска: автореф. канд. техн. Наук: - СПб.: ГУ, 2006. – 20 с. <file:///C:/Users/Dell/Desktop/autoref-otsenka-pylevogo-zagryazneniya-pri-vedenii-otkrytykh-gornyykh-rabot-na-osnove-ekologicheskogo.pdf>.

23 Панишев Н.В., Бигеев В.А., Галиулина Е.С. Перспективы утилизации хвостов углеобогащения и твердых отходов тепловых электростанций. Теория и технология металлургического производства. Раздел: Ресурсо- и энергосберегающие технологии в черной металлургии. - Россия, №2 (17) 2015, 69-76 с. <http://ttmp.magtu.ru/doc/ttmp-2-2015.pdf>.

24 Каирбеков Ж., Токтамысов М.Т., Жалгасулы Н., Ешова Ж.Т. Комплексная переработка бурых углей Центрального Казахстана. – Алматы: Қазақ университеті, 2014. - 278 с.

25 Воробьев, Б. М. Уголь мира : Т. 1. Глобальный аспект: Монография / Воробьев Б.М. - Москва :МГГУ, 2007. - 309 с.: ISBN 978-5-7418-0460-5.

26 Алияров Б.К., Мергалимова А.К. Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду. Сборник тезисов к научно-практической конференции: «Угольная теплоэнергетика в Казахстане: Проблемы. Решения. Перспективы развития» - Нур-Султан, 2020. – 8-9 бет.

27 Тастамбек Қ.Т., Цяо С., Төкен А., Акимбеков Н.Ш., Жұбанова А.А. Қазақстандық қоңыр көмірлерді микроорганизмдер негізінде түтінсіз брикеттелген отынды алу биотехнологиясын жасаудың маңызы. «Заманауи биология және Қазақстан Республикасының биоалуантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері» Республикалық ғылыми-әдістемелік конференция, Алматы, 24 қараша 2017 жыл, 151-153 б.

28 А.А. Жұбанова, Н.Ш. Акимбеков, Қ.Т. Тастамбек, С. Цяо, Б.Н. Мусиров. Қоңыр көмірді қайта өңдеудің биотехнологиялық әдісі ретінде биобрикеттеуді пайдалану. «Қазақстан жоғары мектебі»-Халықаралық ғылыми-педагогикалық басылым, Алматы, - 2017. - №3, 123-128 б.

29 T.M. Cui, W.K. Fan, Z.H. Dai, Q.H. Guo, G.S. Yu, F.C. Wang. Variation of the coal chemical structure and determination of the char molecular size at the early stage of rapid pyrolysis. *Appl Energy*, 179 (2016), pp. 650-659.

30 J. Zhang, N. Zheng, J. Wang. Two-stage hydrogasification of different rank coals with a focus on relationships between yields of products and coal properties or structures. *Appl Energy*, 173 (2016), pp. 438-447.

31 Алияров Б.К., Алиярова М.Б. Сжигание Казахстанских углей на ТЭС и на крупных котельных. – Алматы: Ғылым, 2012. – 304 с.

32 Y.R. Li, J.M. Gibson Health and air quality benefits of policies to reduce coal-fired power plant emissions: A case study in North Carolina *Environ Sci Technol*, 48 (17) (2014), pp. 10019-10027.

33 С.Б. Садыкова, Н.Р. Картджанов. Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду. Сборник тезисов к научно-практической конференции: «Экологически чистые и эффективные технологии пиролиза и газификации угля, ТБО, других углеродосодержащих отходов и материалов с получением газообразных, жидких и твердых продуктов переработки твердого топлива и перспективы применения этих технологий» - Нур-Султан, 2020. – 24 б.

34 Collins A., Jolanta K., Steven F.T., Owen F., Grzegorz M., Ewa S. Restoration of soil quality using biochar and brown coal waste: A review. *Science of The Total Environment* Volume 722, 20 June 2020, 137852.

35 Jin Ch., Ji N., Daolong X. Li M., Yaxin Zh., Lumeng Ch., Hanting Q., Yuqing G., Fansheng L., Yuying B. Response differences between soil fungal and bacterial communities under opencast coal mining disturbance conditions. *CATENA*. Volume 194, November 2020, 104779.

36 Yaowen X., Fangyu G., Mengdi X., Xiahui G., Haisheng L., Guosheng L., Yangchao X., Haisheng H., Separation of unburned carbon from coal fly ash: A review. *Powder Technology*. Volume 353, 15 July 2019, Pages 372-384.

37 Тастамбек Қ.Т., Акимбеков Н.Ш., Цяо Сяохуэй, Бердіқұлов Б.Т., Жұбанова А.А. Жоғары сапалы түтінсіз және күлділігі аз брикет алудың биотехнологиялық аспектілері. Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Хабаршы. Экология сериясы, Алматы, - 2019. - №3 (52). 45-52 б.

38 Liuying P., Fupeng S., Xiliang S., Xinsong G., Yanyan L., Shigeng Ch., Fujun Zh., Naidan Zh., Jiacheng Z., Penghui Zh. Effects of different types of humic acid isolated from coal on soil NH<sub>3</sub> volatilization and CO<sub>2</sub> emissions. *Environmental Research*. Volume 194, March 2021, 110711.

39 Yossef Sh., Igor M. A combined chemical-biotechnological treatment of coal fly ash (CFA). *Journal of Biotechnology*. Volume 51, Issue 3, 15 November 1996, Pages 209-217.



40 Asha A.J. Hemlata P.J. Phytoremediation of coal mine spoil dump through integrated biotechnological approach. *Bioresource Technology*. Volume 99, Issue 11, July 2008, Pages 4732-4741.

41 Agnieszka Kijo-Kleczkowska. Combustion of coal-water suspensions. *Fuel*. Volume 90, Issue 2, February 2011, Pages 865-877.

42 Shoaib M., Bale V. R., Marc A. R. Energy Analysis of a Biomass Co-firing Based Pulverized Coal Power Generation System. *Sustainability* 2012, 4, 462-490.

43 Yanlong W., Yueshe W., Shiyu S., Ting W., Dan L., Houzhang T. Effects of coal types and combustion conditions on carbonaceous aerosols in flue gas and their light absorption properties. *Fuel*. Volume 277, 1 October 2020, 118148.

44 Yuting Zh., Zhouzun X., Yansong Shen. Model study of carbonisation of low rank coal briquettes: Effect of briquettes shape. *Powder Technology*. Volume 385, June 2021, Pages 120-130.

45 Zhan-ku L., Hai-tao W., Hong-lei Y., Jing-chong Y., Zhi-ping L., Shi-biao R., Zhi-cai W., Shi-gang K., Heng-fu Sh. Simulation of hydrogen bonds in low-rank coals with lignite-related complexes using dispersion corrected density functional theory. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. Volume 48, Issue 10, October 2020, Pages 1153-1159.

46 Jun-sheng Zh., Xiao-bo D., Jing-pei C., Shuang-quan Zh., Xiao-ming Y., Guang-zhou H. Preparation of lignite-based porous carbon/CoNi<sub>2</sub>S<sub>4</sub> composite materials and their capacitance performance. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. Volume 49, Issue 1, January 2021, Pages 20-26.

47 Zhao H., Bai Z., Bai J., Guo Z., Kong L., & Li W. (2015). Effect of coal particle size on distribution and thermal behavior of pyrite during pyrolysis. *Fuel*, 148, 145–151.

48 Shifeng D., James C.H., Robert B.F., Ian T.G., David F., Colin R.W., Greta E., Qiang W., Lei Zh. Organic associations of non-mineral elements in coal: A review. *International Journal of Coal Geology*. Volume 218, 1 February 2020, 103347.

49 Leonid P., Yelizaveta Ch., Iryna A., Yevhen B., Roman V., Igor R., Elena Y., Hynek R. Modelling and development of technological processes for low rank coal bio-utilization on the example of brown coal. *Fuel*. Volume 267, 1 May 2020, 117298.

50 Xiaokang P., Hao Ch., Jie Ch., Xiaoping Zh. An experimental study of the mechanism of coal and gas outbursts in the tectonic regions. *Engineering Geology*, 279 (2020) 105883.

51 Adam J., Franciszek C., Maria J., Yona Ch., Jerzy D. Electron paramagnetic resonance (EPR) studies on stable and transient radicals in humic acids from compost, soil, peat and brown coal. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. Volume 56, Issue 2, 1 February 2000, Pages 379-385.

52 Qiang Zh., Yongbin Y., Qian L., Bin X., Tao J. Coal tar pitch and molasses blended binder for production of formed coal briquettes from high volatile coal. *Fuel Processing Technology*. Volume 157, March 2017, Pages 12-19.

53 Yang L., Yunchuan B., Menglei Ch., Lanyun W. Review on the ionic liquids affecting the desulfurization of coal by chemical agents. *Journal of Cleaner Production*, Volume 284, 15 February 2021, 124788 Yongliang X.,

54 K. Liu, J. Yang, J. Jia, Y. Wang. Desulphurization of coal via low temperature atmospheric alkaline oxidation. *Chemosphere*, 71 (2008), pp. 183-188, 10.1016/j.chemosphere.2007.10.005.

55 Haolie L., Weiwei Sh., Shuguang Sh., Yunpeng R., Dongfeng Zh., Ruijun S., Zijian Zh., Xueping M. Production of a gasoline blending component with high-octane and low sulfur from coal tar light oil over sulfided CoMoP/ $\eta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Journal of Cleaner Production*. Volume 228, 10 August 2019, Pages 965-973.

56 Weining X., Zhaoyi Y., Yaqun H., Shuai W., Liang D., Biao L., Tao Zh. A novel technology for the deash of fine coal by an active pulsing air separation system. *Journal of Cleaner Production*. Volume 265, 20 August 2020, 121842.

57 J.Y. Zhang, C.T. Li, L.K. Zhao, et al. A sol-gel Ti-Al-Ce-nanoparticle catalyst for simultaneous removal of NO and Hg<sup>0</sup> from simulated flue gas. *Chem. Eng. J.*, 313 (2017), pp. 1535-1547.

58 Liugen Zh., Guijian L., Chen-Lin Ch. Abundance and modes of occurrence of mercury in some low-sulfur coals from China. *International Journal of Coal Geology*. Volume 73, Issue 1, 7 January 2008, Pages 19-26.

59 C.S. Bu, A. Gomez-Barea, X.P. Chen, B. Leckner, D.Y. Liu, D. Pallares, et al. Effect of CO<sub>2</sub> on oxy-fuel combustion of coal-char particles in a fluidized bed: modeling and comparison with the conventional mode of combustion. *Appl Energy*, 177 (2016), pp. 247-259.

60 B.O. Oboirien, V. Thulari, B.C. North. Enrichment of trace elements in bottom ash from coal oxy-combustion: effect of coal types. *Appl Energy*, 177 (2016), pp. 81-86.

61 C. Ortiz, R. Chacartegui, J.M. Valverde, J.A. Becerra. A new integration model of the calcium looping technology into coal fired power plants for CO<sub>2</sub> capture. *Appl Energy*, 169 (2016), pp. 408-420.

62 Qiao X., Tastambek K.T., Akimbekov N., Kayirmanova G., Aidarhanova G., Zhubanova A. Microbial analysis of polluted soils in the region of Karagandy, Kazakhstan. *Эл-Фараби атындағы ҚазҰУ Хабаршы. Биология сериясы, Алматы, - 2017. - №3 (72), 94-103 б.*

63 A.A. Zhubanova, Q. Xiaohui, P.S. Ualiev, G.Zh. Abdieva, K.T. Tastambek, K.T. Kayirmanova, N.Sh. Akimbekov. Metagenomic Analysis Reveals Correlation Between Microbiome Structure and Leonardite Characteristics from Kazakhstan Coal Deposits. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, vol. 21, no. 2, pp. 135-141, Jun. 2019.

64 S.L. Bend, *Fuel* 71 (1992) 851–870. DOI: 10.1016/0016-2361(92)90234-F

65 M.J. Ghani, M.I. Rajoka, K. Akhtar, *Biotechnol. Bioproc. E* 20 (2015) 634–642. DOI: 10.1007/s12257-015-0162-5

66 D.E.A. Catcheside, J.P. Ralph, *Bioconversion of Coal by Fungi BT – Industrial Applications*, in: H.D. Osiewacz (Ed.), Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2002. P. 343– 354. DOI: 10.1007/978-3-662-10378-4\_17

67 A.Y. Malik, M. Ali, A. Jamal, M.I. Ali, *Geomicrobiol. J.* 34 (2017) 109–118. DOI: 10.1080/01490451.2016.1143538

- 68 A.J. Grethlein, M.K. Jain, Trends Biotechnol. 10 (1992) 418–423. DOI: 10.1016/0167-7799(92)90290-C
- 69 E.P. Barnhart, E.P. Weeks, E.J.P. Jones, D.J. Ritter, J.C. McIntosh, A.C. Clark, L.F. Ruppert, A.B. Cunningham, D.S. Vinson, W. Orem, M.W. Fields, Int. J. Coal Geol. 162 (2016) 14–26. DOI: 10.1016/j.coal.2016.05.001
- 70 C. Sergaki, B. Lagunas, I. Lidbury, M.L. Gifford, P. Schafer, Front. Plant Sci. 9 (2018) 1205. DOI: 10.3389/fpls.2018.01205
- 71 J.K. Jansson, K.S. Hofmockel, Curr. Opin. Microbiol. 43 (2018) 162–168. DOI: 10.1016/j.mib.2018.01.013
- 72 Wencheng Xia., Guangyuan Xie., Yaoli Peng. Recent advances in beneficiation for low rank coals // Powder Technology. - 2015. –Vol. 277. –P.206-221.
- 73 Fakoussa R.M., Hofrichter M. Biotechnology and microbiology of coal degradation // Appl Microbial Biotechnol. – 1999. – №52. – P. 25-40.
- 74 Mapelli F., Marasco R., Balloi A., Rolli E., Cappitelli F., Daffonchio D., Borin S., Mineral-microbe interactions: biotechnological potential of bioweathering // J. Biotechnol. 157 (2012) 473–481.
- 75 Natarajan K.A., Chapter 10 - Microbially Induced Mineral Beneficiation, in: K.A.B.T.-B. of M. Natarajan (Ed.), Elsevier, Amsterdam, 2018: pp. 243–304.
- 76 Otsuki A., Use of Microorganisms for Complex ORE Beneficiation: Bioflotation as an Example // Encycl. Biocolloid Biointerface Sci. 2V Set. (2016) 108–117.
- 77 Durgesh Narian Singh, Anil Kumar Tripathi. Coal induced production of a rhamnolipid biosurfactant by *Pseudomonas stutzeri*, isolated from the formation water of Jharia coalbed // Bioresource Technology. -2013. –Vol. 128. –P.215-221.
- 78 Chunjie Xia., Tomasz Wiltowski. Coal depolymerization using permanganate under optimal conditions // International Journal of Coal Geology. -2016. –Vol. 168. P. 214-221.
- 79 Romanowska I., Strzelecki B., Bielecki S. Biosolubilization of Polish brown coal by *Gordonia alkanivorans* S7 and *Bacillus mycoides* NS1020 // Fuel Process. Technol. 131 (2015) 430–436.
- 80 Петрова Г.И. Теоретические и прикладные основы трансформации бурых углей при тепловом и электрохимическом воздействии. автореф. ... к. т. н.: 25.00.20. –Якутск, 2002. – 17 с.
- 81 Crawford D.L., Gupta R.K. Influence of cultural parameters on the depolymerization of a soluble lignite coal polymer by *Pseudomonas cepacia* DLC-07 // Resources, Conservation and Recycling. – 1991. – № 5 (2). – P. 245-254.
- 82 Gokcay C.F., Kolankaya N., Dilek F.B. Microbial solubilization of lignites // Fuel. – 2001. – № 80 (10). – P. 1421-1433.
- 83 Laborda F., Redondo M.F., Luna N. Characterization of liquefaction/solubilization mechanisms of Spanish coals by newly isolated microorganisms // Coal Science and Technology. – 1995. – № 24. – P. 1387-1390.
- 84 Angel A., Olegario M., Jose A. Biondesulphurisation of coal by microorganisms isolated from the coal itself // Fuel Processing Technology. – 2001. – № 69. – P. 45-57.

85 Nelson V., Liliana G., Manuel P. Production of humic substances through coal-solubilizing bacteria //Brazilian Journal of Microbiology. – 2014. – № 43. – P. 911-918.

86 Jiang F., Li Z., Lv Z., Gao T., Yang J., Qin Z., Yuan H. The biosolubilization of lignite by *Bacillus* sp. Y7 and characterization of the soluble products // Fuel. – 2013. – № 103. – P. 639-645.

87 El-Midany A.A, Abdel-Khalek M.A. Reducing sulfur and ash from coal using *Bacillus subtilis* and *Paenibacillus polymyxa*// Fuel. – 2014. – № 115. – P. 589-595.

88 Machnikowska H., Pawelec K., Podgórska A. Microbial degradation of low rank coals // Fuel Processing Technology. – 2002. – № 77. – P. 17-23.

89 Yuan H., Yang J., Chen W. Production of alkaline materials, surfactants and enzymes by *Penicillium decumbens* strain P6 in association with lignite degradation/solubilization // Fuel. – 2006. – № 85(10). – P. 1378-1382.

90 Ackerson M.D., Jonson N.L., Le M., Clausen E.C., Gaddy J.L. Biosolubilization and liquid fuel production from coal // Appl. Biochem. and Biotechnol. – 1990. –№ 24. –P. 913-928.

91 Catcheside D.E., Mallett K.J. Solubilization of Australian lignites by fungi and other microorganisms //Energy and Fuels. – 1991. – №1. – P. 141-145.

92 Aravena R., Harrison S.M., Barker J.F., Abercrombie H., Rudolph D. Origin of methane in the Elk valley coalfield, southeastern British Columbia, Canada // Canada Chem. Geol. – 2003. – № 195. – PP. 219-227.

93 Bao Y., Wei C.T., Wang C.Y. Geochemical characteristics and identification significance of coal type gas in various geneses // Earth Sci. J. China Univ. Geosci. – 2013. – № 38(5). – PP. 1037-1046.

94 Monistrol I.F., Laborda F.L. Liquefaction and/or solubilization of Spanish coals by newly isolated microorganisms //Fuel Processing Technology. -1994. – Vol.40. –P.205-216.

95 Vick S.H.W., Greenfield P., Pinetown K.L., Sherwood N., Gong S., Tetu S.G., Midgley D.J., Paulsen I.T., Succession Patterns and Physical Niche Partitioning in Microbial Communities from Subsurface Coal Seams // IScience. 12 (2019) 152–167.

96 Haider R., Ghauri M.A., Rahim M.U., On Comparison Between Fungal and Bacterial Pretreatment of Coal for Enhanced Biogenic Methane Generation // Geomicrobiol. J. 35 (2018) 432–437.

97 T. Ohshiro, T. Hirata, Y. Izumi. Microbial desulfurization of dibenzothiophene in the presence of hydrocarbon //Appl Microbiol Biotechnol. -1995. -Vol 44. -P 249-252.

98 Stanford S. Makgato, Evans M. Nkhalambayausi Chirwa. Waterberg coal characteristics and SO<sub>2</sub> minimum emissions standards in South African power plants //J of Environemntal Management. -2017, -Vol. 201. –P. 294-302.

99 Celin Acharya, Sukla L.B., Misra V.N. Biological elimination of sulphur from high sulphur coal by *Aspergillus*-like fungi //Fuel. -2005. –Vol. 84. –P. 1597-1600.

100 Weerasekara N.S., Garcı Frutos F.J., Cara J., Lockwood F.C. Mathematical modelling of demineralisation of high Sulphur coal//Minerals Engineering. -2008. – Vol.21. –P.234-240.

- 101 Kilbane J.J. Sulfur specific microbial metabolism of organic compounds // *Resources. Conser. Recycling*. -1990. –Vol. 3. –P. 69–79.
- 102 Kilbane J. J. Toward sulphur-free fuels // *Chemtech*. -1990.-Vol.12. -P. 747-751.
- 103 Kiani M.H., Ahmadi A., Zilouei H. Biological removal of sulphur and ash from fine-grained high pyritic sulphur coals using a mixed culture of mesophilic microorganisms // *Fuel*. -2014. –Vol. 131. –P.89-95.
- 104 Alves L., Paixro S.M. Toxicity evaluation of 2-hydroxybiphenyl and other compounds involved in studies of fossil fuels biodesulphurisation // *Bioresource Technology*. -2011. –Vol.102. –P. 9162-9166.
- 105 Van Afferden M.V., Schacht S., Klein J., Truper H.G. Degradation of dibenzothiophene by *Brevibacterium* sp. // *Arch. Microbiol*. -1990. –Vol. 153. –P.324–328.
- 106 Hofrichter M., Bublitz F., Fritsche W. Fungal attack on coal II. Solubilization of low-rank coal by filamentous fungi // *Fuel Processing Technology*. -1997. –Vol. 52. –P. 55-64.
- 107 Piccolo A., The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science, in: Academic Press, 2002: pp. 57–134.
- 108 Kurniati E., Muljani S., Virgani D.G., Neno B.P., Humic Acid Isolations from Lignite by Ion Exchange Method // *J. Phys. Conf. Ser.* 953 (2018) 12234.
- 109 Tahir M.M., Khurshid M., Khan M.Z., Abbasi M.K., Kazmi M.H., Lignite-Derived Humic Acid Effect on Growth of Wheat Plants in Different Soils // *Pedosphere*. 21 (2011) 124–131.
- 110 Ralph J.P., Catcheside D.E.A., Recovery and analysis of solubilised brown coal from cultures of wood-rot fungi // *J. Microbiol. Methods*. 27 (1996) 1–11.
- 111 Hölker U., Höfer M. Solid substrate fermentation of lignite by the coal-solubilizing mould, *Trichoderma atroviride*, in a new type of bioreactor // *Biotechnol. Lett.* 24 (2002) 1643–1645.
- 112 Gupta R.K., Deobald L.A., Crawford D.L. Depolymerization and chemical modification of lignite coal by *Pseudomonas cepacia* strain DLC-07 // *Appl. Biochem. Biotechnol.* 24 (1990) 899–911.
- 113 Strandberg G.W., Lewis S.N. Solubilization of coal by an extracellular product from *Streptomyces setonii* 75Vi2 // *J. Ind. Microbiol.* 1 (1987) 371–375.
- 114 Achi O.K. Growth and coal-solubilizing activity of *Penicillium simplicissimum* on coal-related aromatic compounds // *Bioresour. Technol.* 48 (1994) 53–57.
- 115 Hofrichter M., Fritsche W. Depolymerization of low-rank coal by extracellular fungal enzyme systems // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 46 (1996) 220–225.
- 116 Ralph J.P., Catcheside D.E.A. Transformations of low rank coal by *Phanerochaete chrysosporium* and other wood-rot fungi // *Fuel Process. Technol.* 52 (1997) 79–93.

- 117 Maka A., Srivastava V.J., Killbane J.J., Akin C. Biological solubilization of untreated north dakota lignite by a mixed bacterial and a mixed bacterial fungal culture. // *Appl. Biochem. Biotechnol.* 20 (1989) 715.
- 118 David Y., Baylon M.G., Pamidimarri S.D.V.N., Baritugo K.-A., Chae C.G., Kim Y.J., Kim T.W., Kim M. - S., Na J.G., Park S.J. Screening of microorganisms able to degrade low-rank coal in aerobic conditions: Potential coal biosolubilization mediators from coal to biochemicals // *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 22 (2017) 178–185.
- 119 Fuchtenbusch, Steinbuchel, Biosynthesis of polyhydroxyalkanoates from low-rank coal liquefaction products by *Pseudomonas oleovorans* and *Rhodococcus ruber* // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 52 (1999) 91–95.
- 120 Laborda F., Fernández M., Luna N., Monistrol I.F. Study of the mechanisms by which microorganisms solubilize and/or liquefy Spanish coals // *Fuel Process. Technol.* 52 (1997) 95–107.
- 121 Dong L., Yuan Q., Yuan H. Changes of chemical properties of humic acids from crude and fungal transformed lignite // *Fuel.* 85 (2006) 2402–2407.
- 122 Vijayalakshmi S.P., Raichur A.M., The utility of *Bacillus subtilis* as a bioflocculant for fine coal. // *Colloids Surfaces B Biointerfaces.* 29 (2003) 265–275.
- 123 Derrien M., Lee Y.K., Park J.-E., Li P., Chen M., Lee S.H., Lee S.H., Lee J.-B., Hur J. Spectroscopic and molecular characterization of humic substances (HS) from soils and sediments in a watershed: comparative study of HS chemical fractions and the origins // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 24 (2017) 16933–16945.
- 124 Doskočil L., Burdíkóvá-Szewieczková J., Enev V., Kalina L., Wasserbauer J., Spectral characterization and comparison of humic acids isolated from some European lignites. // *Fuel.* 213 (2018) 123–132.
- 125 Droussi Z., D’Orazio V., Hafidi M., Ouattmane A. Elemental and spectroscopic characterization of humic-acid-like compounds during composting of olive mill by-products. // *J. Hazard. Mater.* 163 (2009) 1289–1297.
- 126 D.X. Dong, L.Y. Shao. Comparative analysis of common coal quality classification standards in the world. *Coal Quality Technol*, 2 (2015), pp. 54-57.
- 127 Fanfan Zh., Yaowen X., Guohui Ch., Zili Y., Yijun C., Xiahui G. Enhanced lignite flotation using interfacial nanobubbles based on temperature difference method. *Fuel*, Volume 293, 1 June 2021, 120313.
- 128 Wirhan P., Jian Zh., Jianfang C., Yatao W., Lian Zh. Influence of inherent moisture on the ignition and combustion of wet Victorian brown coal in air-firing and oxy-fuel modes: Part 1: The volatile ignition and flame propagation. *Fuel Processing Technology*, Volume 138, October 2015, Pages 670-679.
- 129 Mishra S., Panda S., Pradhan N., Biswal S.K., Sukla L.B., Mishra B.K., *Microbe-Mineral Interactions: Exploring Avenues Towards Development of a Sustainable Microbial Technology for Coal Beneficiation*, in: L.B. Sukla, N. Pradhan, S. Panda, B.K. Mishra (Eds.), *Environ. Microb. Biotechnol.*, Springer International Publishing, Cham, 2015: pp. 33–52.
- 130 Xin Feng, Jinghong Sun, Yuhong Xie. Degradation of Shanxi lignite by *Trichoderma citrinoviride*. *Fuel*, Volume 291, 1 May 2021, 120204.

131 Meijun W., Yanfeng Sh., Yongfeng H., Jiao K., Jiancheng W., Liping Ch. Effect of pre-desulfurization process on the sulfur forms and their transformations during pyrolysis of Yanzhou high sulfur coal. *Fuel*, Volume 276, 15 September 2020, 118124.

132 Воробьев Б.М. Уголь мира. Глобальный аспект. – М.: МГУ, 2007. – 311 с.

133 A.A. Adeleke, J.K. Odusote, O.A. Lasode, P.P. Ikubanni, M. Malathi, D. Paswan. Densification of coal fines and mildly torrefied biomass into composite fuel using different organic binders. *Heliyon*, Volume 5, Issue 7, July 2019, e02160.

134 F. Laborda, I.F. Monistrol, N. Luna, M. Fernandez. Processes of liquefaction/solubilization of Spanish coals by microorganisms. *Appl Microbiol Biotechnol*. 1999 Jul; 52(1):49-56.

135 H. L. Yuan, J. S. Yang, F. Q. Wang, W. X. Chen. Degradation/solubilization of Chinese lignite by *Penicillium* sp. P6. *Prikl Biokhim Mikrobiol*. Jan-Feb 2006;42(1):59-62.

136 Natalia K., Marzena Jędrzejczak-K., Bartosz S., Stanisław B. Improvement of efficiency of brown coal biosolubilization by novel recombinant *Fusarium oxysporum* laccase. *AMB Express*. 2018 Aug 22;8(1):133.

137 Иванов И.И. Получение брикетированного и бездымного топлива из Канско-Ачинских углей с использованием биосвязующих: автореф. ... к. х. н.: 05.17.07. – М., 1998. – 18 с.

138 M.J. Blesa, J.L. Miranda, R. Moliner, M.T. Izquierdo, J.M. Palacios. Low-temperature co-pyrolysis of a low-rank coal and biomass to prepare smokeless fuel briquettes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 70, Issue 2, December 2003, Pages 665-677.

139 Ж. Каирбеков, Э.Т. Ермолдина, А.Ж. Каирбеков, И.М. Джелдыбаева. Комплексная переработка бурых углей Южного Казахстана. Монография – Алматы: «Қазақ университеті», 2018. - 454 с.

140 Arshian Sh., Ozge Baris-T., Gizem U., Ilhan O., Avik S. Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, Volume 57, June 2020, 102138.

141 Christoph A.O. Schmid, Rüdiger R., Peter S., Nicolas B., Michael S. 52 years of ecological restoration following a major disturbance by opencast lignite mining does not reassemble microbiome structures of the original arable soils. *Science of The Total Environment*. Volume 745, 25 November 2020, 140955.

142 Hao W., Jie X., Xiaoyuan Z., Xue L., Jing Y., Yuling Z., Sudongfang L., Peng D., Yingjie Zh., Jiang L. A high performance direct carbon solid oxide fuel cell – A green pathway for brown coal utilization. *Applied Energy*. Volume 248, 15 August 2019, Pages 679-687.

143 Giorel C. Coal, climate and change: The narrative drivers of Australia's coal economy. *Energy Research & Social Science*. Volume 74, April 2021, 101955.

144 Rizwan R., Hajra J., Asfra R., Faiza Sh., Abdullah Y., Amtul B.T., Sajid R.A., Yubo W., Yuehong S. Life cycle assessment of a cleaner supercritical coal-fired power plant. *Journal of Cleaner Production*. Volume 279, 10 January 2021, 123869.

145 B. Suleimenova, B. Aimbetov, D. Shah, E.J. Anthony, Y. Sarbassov. Attrition of high ash Ekibastuz coal in a bench scale fluidized bed rig under O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> environments. *Fuel Processing Technology*. Volume 216, 1 June 2021, 106775.

146 P. Rousseau, R. Laubscher. Analysis of the impact of coal quality on the heat transfer distribution in a high-ash pulverized coal boiler using co-simulation. *Energy*. Volume 198, 1 May 2020, 117343.

147 F.I. Nwabue, U.Unah, E.J. Itumoh. Production and characterization of smokeless bio-coal briquettes incorporating plastic waste materials. *Environmental Technology & Innovation*. Volume 8, November 2017, Pages 233-245.

148 M.G. Montiano, A.M. Fernández, E. Díaz-Faes, C. Barriocanal. Tar from biomass/coal-containing briquettes. Evaluation of PAHs. *Fuel*. Volume 154, 15 August 2015, Pages 261-267.

149 A. Rosin, D. Trommer, H.-W. Schröder, J.-U. Repke. Experimental investigations with a modified briquetting press as feeding system for brown coal into pressurized gasifiers. *Fuel Processing Technology*. Volume 132, April 2015, Pages 49-54.

150 R. Pandey, S. Harpalani. Impact of bioconversion on matrix strain response of coal reservoirs: Part 1-Experimental insights. *Fuel*. Volume 239, 1 March 2019, Pages 1363-1375.

151 R. Pandey, S. Harpalani. Impact of bioconversion on matrix strain response of coal reservoirs: Part 2-Reservoir insights. *Fuel*. Volume 239, 1 March 2019, Pages 1376-1387.

152 G. Zhang, Yinghui S. Ying X. Review of briquette binders and briquetting mechanism. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 82, Part 1, February 2018, Pages 477-487.

153 Е.Б. Райымбеков, Т. Рыскулов, У.Б. Назарбек, Ү. Бестереков, И.А. Петропавловский. Ленгір кен орнындағы көмір өндірісі қалдығын қолданудың тиімділігін зерттеу. *Химический журнал Казахстана*. № 4 2016, 336 – 343 б.

154 Тастамбек Қ.Т., Цяо С., Бердіқұлов Б.Т., Акимбеков Н.Ш., Жұбанова А.А. Қоңыр көмір негізінде брикеттелген отынды алу биотехнологиясын жасаудың өзектілігі. «Экологиялық генетика мен экспериментальды биологияның өзекті проблемалары» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференция, Алматы, 25 қаңтар 2018 жыл, 126-127 б.

155 Gilbert Ayine Akolgo, Edward A. Awafu, Eric Osei Essandoh, Prosper Achaw Owusu, Felix Uba, Kofi A. Adu-Poku. Assessment of the potential of charred briquettes of sawdust, rice and coconut husks: Using water boiling and user acceptability tests. *Scientific African*. Volume 12, July 2021, e00789.

156 V. Karkania, E. Fanara, A. Zabaniotou. Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets' market in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 16, Issue 3, April 2012, Pages 1426-1436.



157 N.El Bassam. Chapter Nine - Energy resources, global contribution, and applications. Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities (Second Edition) Empowering a Sustainable, Competitive, and Secure Twenty-First Century. 2021, Pages 165-211.

158 Omari T., Monna L., Saiki Y., Kodama T. Desulfurization of dibenzothiophene by *Corynebacterium* sp. strain SY1 // *Appl. Environ. Microbiol.* - 1992. –Vol. 58. –P. 911–915.

159 Иванов И.П., Гуревич Ю.Л., Еремина А.О., Головина В.В. Получение гуминовых веществ аэробной биопереработкой смеси бурого угля и опилок древесины осины // *Journal of Siberian Federal University. Chemistry 1.* -2015. Vol. 8. P. 45-52.

160 Иванов И.П., Чесноков Н.В. Использование связующих на основе древесных опилок и биомодифицированного бурого угля для получения топливных брикетов // *Journal of Siberian Federal University. Chemistry 3.* -2015. Vol. 8. P. 430-438.

161 Кляйн О.И., Куликова Н.А., Степанова Е.В., Филиппова О.И. Получение и характеристика биологически активных продуктов солубилизации бурого угля базидиальными грибами белой гнили // *Биотехнолог.* -2013. №4. С.65-73.

162 Saranya Kuppusamy, Palanisami Thavamani. Isolation and characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) degrading, pH tolerant, N-fixing and P-solubilizing novel bacteria from manufactured gas plant (MGP) site soils // *Environmental Technology & Innovation.* -2016. –Vol.6. –P. 2014-219.

163 Olsson G. Battle will enhance organic sulfur removal // *Bioprocess. Technol.* -2000.-Vol.1. -P.8-10.

164 Yen-Hsiung Kiang. Chapter 4 - Database and analysis of fuel properties, fossil fuel, biomass, refuse-derived fuel, waste, biosludge and biocarbon. Fuel Property Estimation and Combustion Process Characterization. Conventional Fuels, Biomass, Biocarbon, Waste Fuels, Refuse Derived Fuel, and Other Alternative Fuels. 2018, Pages 67-169.

165 Карманов А.Е., Приходько Е.В., Талипов О.М. Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду. Сборник тезисов к научно-практической конференции: «Анализ использования топливных брикетов в энергетических целях» - Нур-Султан, 2020. – 121-126 б.

166 Morel Oprisan. Prospects for coal and clean coal technologies in Kazakhstan. IEA CLEAN COAL CENTRE. - December 2011. - P. 57.

167 D. Wilczyński, M. Berdychowski, K. Talaśka, D. Wojtkowiak. Experimental and numerical analysis of the effect of compaction conditions on briquette properties. Fuel. Volume 288, 15 March 2021, 119613.

168 S. Espuelas, S. Marcelino, A.M. Echeverría, J.M.del Castillo, A.Seco. Low energy spent coffee grounds briquetting with organic binders for biomass fuel manufacturing. Fuel. Volume 278, 15 October 2020, 118310.

169 Kuihua Han, Jie Gao, Jianhui Qi. The study of sulphur retention characteristics of biomass briquettes during combustion. Energy. Volume 186, 1 November 2019, 115788.

170 M.M. Manyuchi, C. Mbohwa, E. Muzenda. Value addition of coal fines and sawdust to briquettes using molasses as a binder. *South African Journal of Chemical Engineering*. Volume 26, December 2018, Pages 70-73.

171 Juan Arévalo, Grimaldo Quispe, Carlos Raymundo. Sustainable Energy Model for the production of biomass briquettes based on rice husk in low-income agricultural areas in Peru. *Energy Procedia*. Volume 141, December 2017, Pages 138-145.

172 Wahidin Nuriana, Nurfa Anisa, Martana. Synthesis Preliminary Studies Durian Peel Bio Briquettes as an Alternative Fuels. *Energy Procedia*. Volume 47, 2014, Pages 295-302.

173 Bemgba Bevan Nyakuma, Anwar Johari, Arshad Ahmad, Tuan Amran Tuan Abdullah. Comparative Analysis of the Calorific Fuel Properties of Empty Fruit Bunch Fiber and Briquette. *Energy Procedia*. Volume 52, 2014, Pages 466-473.

174 Betty Osei Bonsua, Mohammed Takasea, Jones Mantey. Preparation of charcoal briquette from palm kernel shells: case study in Ghana. *Heliyon*. Volume 6, Issue 10, October 2020, e05266.

175 Zhenkun Guo, Jianjun Wu, Yixin Zhang, Feng Wang, Yang Guo, Kening Chen, Hu Liu. Characteristics of biomass charcoal briquettes and pollutant emission reduction for sulfur and nitrogen during combustion. *Fuel*. Volume 272, 15 July 2020, 117632.

176 Yue Zhang, Zhenxing Shen, Bin Zhang, Jian Sun, Leiming Zhang, Tian Zhang, Hongmei Xu, Naifang Bei, Jie Tian, Qiyuan Wang, Junji Cao. Emission reduction effect on PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> by using red mud as additive in clean coal briquetting. [Atmospheric Environment](#). [Volume 223](#), 15 February 2020, 117203.

177 Bing Song, Martin Cooke-Willis, Beatrix Theobald, Peter Hall. Producing a high heating value and weather resistant solid fuel via briquetting of blended wood residues and thermoplastics. *Fuel*. Volume 283, 1 January 2021, 119263.

178 R.N. Singh, P.R. Bhoi, S.R. Patel. Modification of commercial briquetting machine to produce 35 mm diameter briquettes suitable for gasification and combustion. [Renewable Energy](#). [Volume 32, Issue 3](#), March 2007, Pages 474-479.

179 Keshav Singh Bisen, Prashant Sharma, Bhupendra Gupta, Prashant Baredar. Development and experimental characterization of energy efficient poultry litter & plant weeds based briquettes (PLPWBB) by comparing with rice husk briquettes. *Materialstoday: Proceedings*. Volume 46, Part 11, 2021, Pages 5428-5432.

180 Marcos Paulo Patta Granado, Yuri Valentinovich Machado Suhogusoff, Luis Ricardo Oliveira Santos, Fabio Minoru Yamaji, Andrea Cressoni De Conti. Effects of pressure densification on strength and properties of cassava waste briquettes. [Renewable Energy](#). [Volume 167](#), April 2021, Pages 306-312.

181 Valentina Zubkova, Andrzej Strojwas. Influence of briquetting on thermal behavior of bituminous coal oxidized during storage. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Volume 152, November 2020, 104969.

182 A.A. Adeleke, J.K. Odusote, P.P. Ikubanni, O.O. Agboola, A.O. Balogun, O.A.Lasode. Tumbling strength and reactivity characteristics of hybrid fuel briquette

of coal and biomass wastes blends. *Alexandria Engineering Journal*. Volume 60, Issue 5, October 2021, Pages 4619-4625.

183 Meng Xiu, Svetlana Stevanovic, Md Mostafizur Rahman, Ali Mohammad Pourkhesalian, Lidia Morawska, Phong K.Thai. Emissions of particulate matter, carbon monoxide and nitrogen oxides from the residential burning of waste paper briquettes and other fuels. *Environmental Research*. Volume 167, November 2018, Pages 536-543.

184 E.J.S. Mitchell, B. Gudka, C. Whittaker, I. Shield, A. Price-Allison, D. Maxwell, J.M. Jones, A. Williams. The use of agricultural residues, wood briquettes and logs for small-scale domestic heating. *Fuel Processing Technology*. Volume 210, 15 December 2020, 106552.

185 CH. A.I. Raju, K. Prem, K. Sunil, K. Srikanth Bhimareddy, Ch. Ramya. Studies on densification and conversion of wastes as fuel briquettes for power generation. *Materialstoday: Proceedings*. Volume 44, Part 1, 2021, Pages 1090-1107.

186 Протокол к Энергетической Хартии по вопросам энергетической эффективности и соответствующим экологическим аспектам. Страна: Республика Казахстан РЕГУЛЯРНЫЙ ОБЗОР 2006. Часть I: Тенденции политики в области энергетики и энергоэффективности, инструменты и действующие лица. – 2016. - С.66.

187 Сулейменов К.А., Каспиев А.Г., Исмаилов А.Д. Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду. Сборник тезисов к научно-практической конференции: «Экспериментальные установки лаборатории «чистые угольные технологии» Назарбаев университет» - Нур-Султан, 2020. – 139 бет.

188 Patrick Moriarty, Damon Honnery. Chapter 14 - Bioenergy with carbon capture and storage in a future world. *Bioenergy with Carbon Capture and Storage Using Natural Resources for Sustainable Development*, 2019, Pages 273-287.

189 Eric O'Shaughnessy, Jenny Heeter, Chandra Shah, Sam Koebrich. Corporate acceleration of the renewable energy transition and implications for electric grids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 146, August 2021, 111160.

190 David Freestone. Earth summit 1992: The united nations conference on environment and development, Rio de Janeiro 1992: edited by Joyce Quarrie *The Regency Press Corporation, London, 1993*. *Global Environmental Change*. Volume 4, Issue 1, March 1994, Pages 87-88.

191 D.L. Carr, Emma S. Norman. Global civil society? The Johannesburg World Summit on Sustainable Development. *Geoforum*. Volume 39, Issue 1, January 2008, Pages 358-371.

192 Simon Lightfoot, Jon Burchell. Green hope or greenwash? The actions of the European Union at the World Summit on sustainable development. *Global Environmental Change*. Volume 14, Issue 4, December 2004, Pages 337-344.

193 Inaiê Takaes Santos. Confronting governance challenges of the resource nexus through reflexivity: A cross-case comparison of biofuels policies in Germany and Brazil. *Energy Research & Social Science*. Volume 65, July 2020, 101464.

194. COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Delegations will find attached Commission document SEC (2008) 57 Brussels, 30 January 2008.

195 Delphine Ramon, Karen Allacker. Integrating long term temporal changes in the Belgian electricity mix in environmental attributional life cycle assessment of buildings. Journal of Cleaner Production. Volume 297, 15 May 2021, 126624.

196 Les Levidow, Theo Papaioannou. UK biofuel policy: envisaging sustainable biofuels, shaping institutions and futures. Environment and Planning A 2014, volume 46, pages 280–298.

197 IEA Bioenergy. Environmental Sustainability of Biomass Summary and Conclusions from the IEA Bioenergy ExCo68 Workshop. Queensland, Australia, on 24 November 2011, P. 20.

198 Электронный ресурс: <https://afdc.energy.gov/laws/RFS.html>

199 Ермагамбет Б.Т., Касенов Б.К., Касенова Ж.М., Нурғалиев Н.У., Казанкапова М.К. Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду. Сборник тезисов к научно-практической конференции: «Трансформация угля в продукты с высокой добавленной стоимости» - Нур-Султан, 2020. – 87 бет.

200 Алияров Б.К., Алиярова М.Б. Сжигание Казахских углей на ТЭС и на крупных котельных. – Алматы: Гылым, 2012. – 304 с.

201 Мерғалимова А.К. Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду. Сборник тезисов к научно-практической конференции: «Исследование казахских углей на возможность извлечения летучих горючих веществ» - Нур-Султан, 2020. – 107 бет.

202 И.А. Трубников, Техничко-экономическая целесообразность производства и использования топливных брикетов, гранул и пеллет // Молодёжь и наука: Сборник материалов VI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011.

203 <https://brikhetir.blogspot.com/> [Электронный ресурс] 18.02.2020.

204 International Energy Agency. <http://www.iea.org/statistics/> (2018), Accessed 20th Aug 2018.

205 Eurostat. <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (2019), Accessed 13th May 2019.

206 Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE, IREES, Observ'ER, Technical University Vienna. TEP Energy GmbH. Mapping and analyses of the current and future (2020-2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables), European Commission (2016), WP1. ENER/C2/2014-641

207 ICF. Study on energy efficiency and energy saving potential in industry and on policy mechanisms. ICF Consulting limited, London (2015). Contract No. ENER/C3/2012-439/S12.666002.

208 R.E.H. Sims. The brilliance of bioenergy: in business and in practice. Earthscan, London (2013).

209 European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. European Commission, Brussels (2011). COM/2011/0112 final.

210 IEA. World Energy Outlook 2016. Executive summary. International Energy Agency, Paris (2016).

211 D. Saygin, D.J. Gielen, M. Draeck, E. Worrell, M.K. Patel. Assessment of the technical and economic potentials of biomass use for the production of steam, chemicals and polymers. *Renew Sustain Energy Rev*, 40 (2014), pp. 1153-1167.

212 IRENA. A background paper to “Renewable Energy in Manufacturing. IRENA, Abu Dhabi (2015).

213 E. Taibi, D. Gielen, M. Bazilian. The potential for renewable energy in industrial applications. *Renew Sustain Energy Rev*, 16 (1) (2012), pp. 735-744.

214 UNIDO. Renewable energy in industrial applications. An assessment of the 2050 potential. Vienna: United Nations Industrial Development Organization; n.d.

215 C. Philibert. Renewable energy for industry. From green energy to green materials and fuels. International Energy Agency, Paris (2017)

216 M. Gavrilescu, Y. Chisti. Biotechnology - a sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnol Adv*, 23 (7–8) (2005), pp. 471-499

217 M. Ahman, A. Nikoleris, L.J. Nilsson. Decarbonising industry in Sweden – an assessment of possibilities and policy needs. Lund University, Lund (2012). EESS report 77.

218 T.A. Napp, A. Gambhir, T.P. Hills, N. Florin, P.S. Fennell. A review of the technologies, economics and policy instruments for decarbonising energy-intensive manufacturing industries. *Renew Sustain Energy Rev*, 30 (2014), pp. 616-640.

219 B. Fais, N. Sabio, N. Strachan. The critical role of the industrial sector in reaching long-term emission reduction, energy efficiency and renewable targets. *Appl Energy*, 162 (2016), pp. 699-712.

220 M. Åhman, L.J. Nilsson, B. Johansson. Global climate policy and deep decarbonization of energy-intensive industries. *Clim Policy*, 17 (5) (2017), pp. 634-649.

221 UNIDO. Industrial development report. Demand for manufacturing: Driving inclusive and sustainable industrial development. UNIDO, Vienna (2018), p. 2017.

222 P. Vesterinen, E. Alakangas, K. Veijonen, M. Junginger. Prospects of bioenergy in new industrial sectors – D2. 3. Solutions for biomass fuel market barriers and raw material availability EUBIONET-3. VTR (2010).

223 J.S. Lim, Z.A. Manan, S.R.W. Alwi, H. Hashim. A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renew Sustain Energy Rev*, 16 (5) (2012), pp. 3084-3094.

224 A. Babich, D. Senk. Biomass use in the steel industry: back to the future. *Stahl Eisen*, 133 (5) (2013), pp. 57-67.

- 225 H. Suopajärvi, A. Kemppainen, J. Haapakangas, T. Fabritius. Extensive review of the opportunities to use biomass-based fuels in iron and steelmaking processes. *J Clean Prod*, 148 (2017), pp. 709-734.
- 226 C.M. Wiklund, M. Helle, T. Kohl, M. Järvinen, H. Saxén. Feasibility study of woody-biomass use in a steel plant through process integration. *J Clean Prod*, 142 (2017), pp. 4127-4141.
- 227 H. Mandova, S. Leduc, C. Wang, E. Wetterlund, P. Patrizio, W. Gale, *et al.* Possibilities for CO<sub>2</sub> emission reduction using biomass in European integrated steel plants. *Biomass Bioenergy*, 115 (2018), pp. 231-243.
- 228 S. Proskurina, J. Heinimö, F. Schipfer, E. Vakkilainen. Biomass for industrial applications: The role of torrefaction. *Renew Energy*, 111 (2017), pp. 265-274.
- 229 K. Seyboth, L. Beurskens, O. Langniss, R.E. Sims. Recognising the potential for renewable energy heating and cooling. *Energy Policy*, 36 (7) (2008), pp. 2460-2463.
- 230 European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. An EU strategy on heating and cooling. European Commission, Brussels (2016). COM (2016) 51 final.
- 231 E. Mousa, C. Wang, J. Riesbeck, M. Larsson. Biomass applications in iron and steel industry: an overview of challenges and opportunities. *Renew Sustain Energy Rev*, 65 (2016), pp. 1247-1266.
- 232 M. Wild, M. Deutmeyer, D. Bradley, B. Hektor, J.R. Hess, L. Nikolaisen, *et al.* Possible effects of torrefaction on biomass trade. *IEA Bioenergy Task*, 40 (2016)
- 233 FAO. Simple technologies for charcoal making. Forest Industries Division, FAO Forestry Department, Rome (1987).
- 234 M.J. Antal, M. Grønli. The art, science, and technology of charcoal production. *Ind Eng Chem Res*, 42 (8) (2003), pp. 1619-1640.
- 235 J.S. Tumuluru, C.T. Wright, J.R. Hess, K.L. Kenney. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels Bioprod Biorefining*, 5 (6) (2011), pp. 683-707.
- 236 W.H. Chen, J. Peng, X.T. Bi. A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. *Renew Sustain Energy Rev*, 44 (2015), pp. 847-866.
- 237 D.S. Bajwa, T. Peterson, N. Sharma, J. Shojaeiarani, S.G. Bajwa. A review of densified solid biomass for energy production. *Renew Sustain Energy Rev*, 96 (2018), pp. 296-305.
- 238 R. Kothari, V.V. Tyagi, A. Pathak. Waste-to-energy: a way from renewable energy sources to sustainable development. *Renew Sustain Energy Rev*, 14 (9) (2010), pp. 3164-3170.
- 239 S.N. Naik, V.V. Goud, P.K. Rout, A.K. Dalai. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy Rev*, 14 (2) (2010), pp. 578-597.

- 240 X. Ge, F. Xu, Y. Li. Solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: recent progress and perspectives. *Bioresour Technol*, 205 (2016), pp. 239-249.
- 241 V.S. Sikarwar, M. Zhao, P.S. Fennell, N. Shah, E.J. Anthony. Progress in biofuel production from gasification. *Prog Energy Combust Sci*, 61 (2017), pp. 189-248.
- 242 M. Dees, B. Elbersen, J. Fitzgerald, M. Vis, P. Anttila, N. Forsell, *et al.* Atlas with regional cost supply biomass potentials for EU 28, Western Balkan Countries, Moldavia, Turkey and Ukraine. S2BIOM Project Report. Chair of Remote Sensing and Landscape Information Systems. Institute of Forest Sciences, University of Freiburg, Germany (2017 April), p. 105. A project funded under the European Union 7th Framework Programme for Research, Grant Agreement n°608622. Available from:  
[http://www.s2biom.eu/images/Publications/D1.8\\_S2Biom\\_Atlas\\_of\\_regional\\_cost\\_supply\\_biomass\\_potential\\_Final.pdf](http://www.s2biom.eu/images/Publications/D1.8_S2Biom_Atlas_of_regional_cost_supply_biomass_potential_Final.pdf)
- 243 P. Quaak, H. Knoef, H.E. Stassen. Energy from biomass: a review of combustion and gasification technologies, vol. 23, World Bank Publications, Washington D. C. (1999).
- 244 B. Jenkins, L.L. Baxter, T.R. Miles. Combustion properties of biomass. *Fuel Process Technol*, 54 (1) (1998), pp. 17-46.
- 245 V. Strezov. Properties of biomass fuels. V. Strezov, T.J. Evans (Eds.), *Biomass processing technologies*, CRC Press, Boca Raton (2014), pp. 1-32.
- 246 L.L. Baxter, T.R. Miles, B.M. Jenkins, T. Milne, D. Dayton, R.W. Bryers, *et al.* The behavior of inorganic material in biomass-fired power boilers: field and laboratory experiences. *Fuel Process Technol*, 54 (1) (1998), pp. 47-78.
- 247 S. Du, H. Yang, K. Qian, X. Wang, H. Chen. Fusion and transformation properties of the inorganic components in biomass ash. *Fuel*, 117 (2014), pp. 1281-1287.
- 248 S.V. Vassilev, D. Baxter, C.G. Vassileva. An overview of the behaviour of biomass during combustion: Part II. Ash fusion and ash formation mechanisms of biomass types. *Fuel*, 117 (2014), pp. 152-183.
- 249 R.L. Bain, K. Broer. Gasification. R.C. Brown (Ed.), *Thermochemical processing of biomass. Conversion into fuels, chemicals and power*, Wiley, Chichester (2011), pp. 47-77.
- 250 S.V. Vassilev, C.G. Vassileva, V.S. Vassilev. Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: an overview. *Fuel*, 158 (2015), pp. 330-350.
- 251 M. Souza-Santos. Solid fuels combustion and gasification, modeling, simulation, and equipment operation. Marcel Dekker, Inc., New York (2004).
- 252 I. Obernberger. Decentralized biomass combustion: state of the art and future development. *Biomass Bioenergy*, 14 (1) (1998), pp. 33-56.

- 253 B.M. Jenkins, L.L. Baxter, J. Koppejan. Biomass combustion. R.C. Brown (Ed.), Thermochemical processing of biomass. Conversion into fuels, chemicals and power, Wiley, Chichester (2011), pp. 13-46.
- 254 T.H. Mwampamba, M. Owen, M. Pigaht. Opportunities, challenges and way forward for the charcoal briquette industry in Sub-Saharan Africa. *Energy Sustain Dev*, 17 (2) (2013), pp. 158-170.
- 255 H. Abdullah, H. Wu. Biochar as a fuel: 1. Properties and grindability of biochars produced from the pyrolysis of mallee wood under slow-heating conditions. *Energy Fuels*, 23 (8) (2009), pp. 4174-4181.
- 256 M. Phanphanich, S. Mani. Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. *Bioresour Technol*, 102 (2011), pp. 1246-1253.
- 257 B. Colin, J.L. Dirion, P. Arlabosse, S. Salvador. Quantification of the torrefaction effects on the grindability and the hygroscopicity of wood chips. *Fuel*, 197 (2017), pp. 232-239.
- 258 K.M. Qureshi, A.N.K. Lup, S. Khan, F. Abnisa, W.M.A.W. Daud. A technical review on semi-continuous and continuous pyrolysis process of biomass to bio-oil. *J Anal Appl Pyrolysis*, 131 (2018), pp. 52-75.
- 259 S. van Loo, J. Koppejan. The handbook of biomass combustion and co-firing. Earthscan, London (2012).
- 260 Samuel Olatunde Dahunsi, Omololu Oluwatobi Fagbiele, Esther Ojima Yusuf. Bioenergy technologies adoption in Africa: A review of past and current status. *Journal of Cleaner Production*. Volume 264, 10 August 2020, 121683.
- 261 Mariana Pires Languer, Luciane Batistella, José Luiz Francisco Alves, Jean Constantino Gomes Da Silva, Valdemar Francisco da Silva Filho, Michele Di Domenico, Regina de Fátima Peralta Muniz Moreira, Humberto Jorge José. Insights into pyrolysis characteristics of Brazilian high-ash sewage sludges using thermogravimetric analysis and bench-scale experiments with GC-MS to evaluate their bioenergy potential. *Biomass and Bioenergy*. Volume 138, July 2020, 105614.
- 262 Richa Kothari, Ashutosh Vashishtha, Har Mohan Singh, Vinayak V. Pathak, V.V. Tyagi, B.C. Yadav, Veeramuthu Ashokkumar, D.P. Singh. Assessment of Indian bioenergy policy for sustainable environment and its impact for rural India: Strategic implementation and challenges. *Environmental Technology & Innovation*. Volume 20, November 2020, 101078.
- 263 Pritam Singh, Nadia Singh. Political economy of bioenergy transitions in developing countries: A case study of Punjab, India. *World Development*. Volume 124, December 2019, 104630.
- 264 Wen Wang, Kritsadaporn Porninta, Pruk Aggarangsi, Noppol, Leksawasdi, Lianhua Li, Xiaoyan Chen, Xinshu Zhuang, Zhenhong Yuan, Wei Qi. Bioenergy development in Thailand based on the potential estimation from crop residues and livestock manures. *Biomass and Bioenergy*. Volume 144, January 2021, 105914.
- 265 Тастамбек Қ.Т., Акимбеков Н.Ш., Каирбеков Ж.К., Джелдыбаева И.М., Зиябекова М.У., Жұбанова А.А., Дигель И.Э. Роль углеводородокисляющих бактерий *Acinetobacter pittii*. RKB1, *Bacillus* sp. RKB2 в процессах биосолублизации бурого угля месторождения Киякты (г. Караганды,



Казахстан). Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Хабаршы. Экология сериясы, Алматы, - 2019. - №3 (60). 15-23 б.

266 Жубанова А.А., Акимбеков Н.Ш., Кайырманова Г.К., Цяо С. Тастамбек К.Т. Мировые запасы угля, влияние его добычи на экологию окружающей среды в разных странах: обзор. Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Хабаршы. Экология сериясы, Алматы, - 2017. - №1 (50), 36-43 б.

267 Карманов А.Е., Приходько Е.В., Талипов О.М. Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду. Сборник тезисов к научно-практической конференции: «Анализ использования топливных брикетов в энергетических целях» - Нур-Султан, 2020. – С. 121-126.

268 ГОСТ 10742-71, ISO 1988:1975. Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и обработка проб.

269 ГОСТ 11022-90, ISO 1171-81. Топливо твердое минеральное. Метод определения зольности.

270 ГОСТ 11014-81. Угли бурые, каменные, антрацит и сланцы горючие. Ускоренный метод определения влаги.

271 ГОСТ 6382-80. Угли бурые, каменные, антрацит и сланцы горючие. Метод определения выхода летучих веществ.

273 ГОСТ 8606-72. Топливо твердое. Методы определения серы.

273 ГОСТ 2160-62 Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Метод определения плотности.

274 Нетрусов А.И., Бонч-Осмоловская Е.А., Горленко В.М. Экология микроорганизмов. –М.: Издательский центр «Академия». – 2004. – 272 с.

275 Oulas A., Pavloundi C., Polymenakou P., Pavlopoulos G.A., Papanikolaou N., Kotoulas G. Metagenomics: tools and insights for analyzing next-generation sequencing data derived from biodiversity studies // *Bioinform Biol Insights*. – 2015. – № 5. – С. 75-88.

276 Delmont T.O., Robe P., Cecillon S., Clark I.M., Constancias F. Accessing the soil metagenome for studies of microbial diversity // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2011. – № 77. – PP. 1315-1324.

277 Pokorny R., Olejnikova P., Balog M., Zifcak P., Holker U., Janssen M., Bend J., Hofer M., Holiencin R., Hudecova D., Varecka L. Characterization of microorganisms isolated from lignite excavated from the Zahorie coal mine (southwestern Slovakia) // *Res Microbiol.* – 2005. – № 156(9). – PP. 932-943.

278 N. Akimbekov, I. Digel, G. Abdieva, P. Ualieva, K. Tastambek. Lignite biosolubilization and bioconversion by *Bacillus* sp.: the collation of analytical data. *Biofuels*. 1759-7277

279 Справочник «Бассейны и месторождения углей и горючих сланцев» // Под.ред. А.А.Абдуллина, Х.А.Беспяева, Э.С.Воцалевского, С.Ж.Даукеева, Л.А.Мирошниченко, – Алматы, – 1997. – 122 с.

280 Cara J., Carballo M.T., Moran A., Bonilla D., Escolano O., Garcia Frutos F.J. Biodesulphurisation of high Sulphur coal by heap leaching // *Fuel*. – 2005. – № 84.– PP. 1905-1910.

281 Rai C. and Reyniers J.P. Microbial desulfurization of coal by organisms of the genus *Pseudomonas* // *Biotechnology Progress*, 4, 1988, P. 225-230.

282 Елисеев С.А., Кучер Р.В. Поверхностно-активные вещества и биотехнология. // Киев: Наукова думка, 2001. -60 с.

283 Palashpriya Das, Soumen Mukherjee, Ramkrishna Sen. Substrate dependent production of extracellular biosurfactant by a marine bacterium // *Bioresource Technology*. – 2009. - PP. 1015-1019.

284 Manzak A, Kurşun C, Yıldız Y. 2017. Characterization of humic acid extracted from aqueous solutions with polymer inclusion membranes. // *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 81:14-20.

285 Zsolnay A., Baigar E., Jimenez M., Steinweg B., Saccomandi F. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. // *Chemosphere*. 38 (1999) 45–50.

286 Fu P., Kawamura K., Chen J., Qin M., Ren L., Sun Y., Wang Z., Barrie L.A., Tachibana E., Ding A., Yamashita Y. Fluorescent water-soluble organic aerosols in the High Arctic atmosphere. // *Sci. Rep.* 5 (2015) 9845.

287 Structure and pyrolysis behaviour of different coals and relevant model substances / Van Heek K.H., Hodak W. // *Fuel*.- 1994.- 73, № 6.- P. 886-896.

288 Н.Ш. Акимбеков, К.Т. Тастамбек, Д.К. Шерелхан, Н.П. Алтынбай. Изучение биотехнологической трансформации структуры бурого угля с помощью микроорганизмов. *Горный журнал Казахстана* №10, - 2020, 22-26 с.

289 Tastambek K.T., Akimbekov N.Sh., Qiao Xiaohui, Token A., Zhubanova A.A. Investigation of physico-chemical and microbial properties of lignite samples. *Эл-Фараби атындағы ҚазҰУ Хабаршы. Экология сериясы, Алматы, - 2018. - №2 (55). 52-60 б.*

290 Akimbekov N.Sh., Qiao Xiaohui, Tastambek K.T., Digel L., Abdieva G.Zh., Ualieva P.S., Berdikulov B., Zhubanova A.A. Metagenomic analysis of microbial community in coal samples from Kazakhstan using illumina NGS technology. *Эл-Фараби атындағы ҚазҰУ Хабаршы. Биология сериясы, Алматы, – 2018. - №3 (76), 28-39 б.*

291 Тастамбек К.Т., Мәлік А., Цяо Сяохуэй. Изучение микробиологических свойств бурых углей Ленгерского месторождения. *Оңтүстік Қазақстан медицина академиясының Хабаршысы, Шымкент қ. – 2018. - №4 (84), Том I. 56-57 б.*

292 N. Akimbekov, I. Digel, Q. Xiaohui, K. Tastambek, A. Zhubanova. Lignite Biosolubilization by *Bacillus* sp. RKB 2 and Characterization of its Products. *Geomicrobiology Journal*, vol. 37, Issue 3, pp. 255-261, March. 2020.

293 Lerato M Sekhohola ,Eric E Igbinijie, A Keith Cowan. Biological degradation and solubilisation of coal. *Biodegradation*. 2013 Jun; 24(3):305-18. doi: 10.1007/s10532-012-9594-1. Epub 2012 Sep 22.

294 Cubillos-Hinojosa, J.G., Valero, N.O. & Melgarejo, L.M. Assessment of a low rank coal inoculated with coal solubilizing bacteria as an organic amendment for a saline-sodic soil. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2, 21 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40538-015-0048-y>

295 Smith, A. (1989). A. C. Scott (ed.) 1987. Coal and Coal-bearing Strata: Recent Advances. Geological Society of London Special Publication no. 32. Proceedings of a conference held at the University of London, 8–10 April 1986. viii 332 pp.

296 Strandberg, G W, and Lewis, S N. 1987. "Factors affecting coal solubilization by the bacterium *Streptomyces setonii* 75Vi2 and by alkaline buffers". United States.

297 Werner Hodek. The chemical structure of coal in regard of microbiological degradation. Fuel Processing Technology Volume 40, Issues 2–3, November 1994, Pages 369-378. [https://doi.org/10.1016/0378-3820\(94\)90160-0](https://doi.org/10.1016/0378-3820(94)90160-0)

298 Wolfgang Fritsche, Martin Hofrichter. Aerobic Degradation by Microorganisms. Biotechnology: Environmental Processes II, Chapter 6. <https://doi.org/10.1002/9783527620951.ch6>

299 Fakoussa, R., Hofrichter, M. Biotechnology and microbiology of coal degradation. Appl Microbiol Biotechnol 52, 25–40 (1999). <https://doi.org/10.1007/s002530051483>

300 K. Y. Shi, S. D. Yin, X. X. Tao, Y. Du, H. He, Z. P. Lv & N. Xu (2013) Quantitative Measurement of Coal Bio-solubilization by Ultraviolet-visible Spectroscopy, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 35:15, 1456-1462, DOI: 10.1080/15567036.2010.521800

301 Thelma J. Whelan, G. S. Kamali Kannangara, and Michael A. Wilson. Increased Resolution in High-Performance Liquid Chromatograph Spectra of High-Molecular-Weight Organic Components of Bayer Liquors. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2003 42 (26), 6673-6681. DOI: 10.1021/ie0303754

302 Coble PG. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Mar Chem.* 1996;51(4):325–346.

303 Hongli Kang, Xiangrong Liu, Yaowen Zhang, Shunsheng Zhao, Zaiwen Yang, Zhipeng Du & Anning Zhou (2021) Bacteria solubilization of shenmu lignite: influence of surfactants and characterization of the biosolubilization products, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 43:10, 1162-1180, DOI: 10.1080/15567036.2019.1635664

304 Mengjun Zhang, Tingting Hu, Gaimei Ren, Zhenyu Zhu, and Yu Yang. Research on the Effect of Surfactants on the Biodesulfurization of Coal. *Energy & Fuels* 2017 31 (8), 8116-8119. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.7b01116

305 Sudong Yin, Xiuxiang Tao, Kaiyi Shi. The role of surfactants in coal bio-solubilisation. Fuel Processing Technology. Volume 92, Issue 8, August 2011, Pages 1554-1559. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.03.019>

# ҚОСЫМША А



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

**АВТОРЛЫҚ ҚҰҚЫҚПЕН ҚОРҒАЛАТЫН ОБЪЕКТІЛЕРГЕ ҚҰҚЫҚТАРДЫҢ  
МЕМЛЕКЕТТІК ТІЗІЛІМГЕ МӘЛІМЕТТЕРДІ ЕНГІЗУ ТУРАЛЫ**

**ҚУӘЛІК**

2020 жылғы «11» наурыз № 8688

Автордың (лардың) жөні, аты, әкесінің аты (егер ол жеке басын куәландыратын құжатта көрсетілсе):  
**ТАСТАМБЕК ҚУАНЫШ ТАЛҒАТУЛЫ, АКИМБЕКОВ НУРАЛЫ ШАРДАРБЕКОВИЧ, АБДИЕВА  
ГУЛЖАМАТ ЖАНАДИЛОВНА, УАЛИЕВА ПЕРИЗАТ СЕРИККАЗЫЕВНА, ЖУБАНОВА АЖАР  
АХМЕТҚЫЗЫ, КАЙЫРМАНОВА ГУЛЖАН КАЙЫРЖАНОВНА, ЖЕЛДЫБАЕВА ИНДИРА  
МУХАМЕТКЕРИМОВНА**

Авторлық құқық объектісі: **ҒЫЛЫМИ ТУЫНДЫ**

Объектінің атауы: **Методика конструирования микс-консорциума на основе зоо-микробного сообщества и  
бурых окисленных углей**

Объектіні жасаған күні: **18.02.2020**



Құжат түпнұсқасын <http://www.kazpatent.kz/ru> сайтының  
"Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады. <https://copyright.kazpatent.kz>

Подлинность документа возможно проверить на сайте [kazpatent.kz](http://kazpatent.kz)  
в разделе «Авторское право» <https://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП

Куантыров Е.С.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

**АВТОРЛЫҚ ҚҰҚЫҚПЕН ҚОРҒАЛАТЫН ОБЪЕКТІЛЕРГЕ ҚҰҚЫҚТАРДЫҢ  
МЕМЛЕКЕТТІК ТІЗІЛІМГЕ МӘЛІМЕТТЕРДІ ЕНГІЗУ ТУРАЛЫ**

**ҚУӘЛІК**

2020 жылғы «11» наурыз № 8690

Автордың (лардың) жөні, аты, әкесінің аты (егер ол жеке басын куәландыратын құжатта көрсетілсе):

**ТАСТАМБЕК ҚУАНЫШ ТАЛҒАТҰЛЫ, АКИМБЕКОВ НУРАЛЫ ШАРЛАРБЕКОВИЧ, ЖУБАНОВА  
АЖАР АХМЕТҚЫЗЫ, КАИРБЕКОВ ЖАҚСЫНТАЙ, САМЕТ РАУШАН СЕРИКОВНА, ЗИЯБЕКОВА  
МАЙРА УРАЛБАЕВНА, ШЕРЕЛХАН ДИНАРА КҮМІСХАНҚЫЗЫ**

Авторлық құқық объектісі: **ҒЫЛЫМИ ТУЫНДЫ**

Объектінің атауы: **Методика определения содержания серы и сернистых соединений в образцах бурых  
углей Ленгерского месторождения**

Объектіні жасаған күні: **19.02.2020**



Құжат түпнұсқалығын <http://www.kazpatent.kz/ru> сайтының  
"Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады. <https://copyright.kazpatent.kz>

Подлинность документа возможно проверить на сайте [kazpatent.kz](http://www.kazpatent.kz)  
в разделе «Авторское право» <https://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП

Куантыров Е.С.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ  
PATENT

№ 34536

ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION



(21) 2018/0682.1

(22) 01.10.2018

(45) 28.08.2020

(54) Көмірді қайта өңдеу тәсілі  
Способ переработки угля  
Method of coal processing

(73) Тастамбек Қуаныш Талғатұлы (KZ)  
Tastambek Kuanysh Talgatuly (KZ)

(72) Акимбеков Нуралы Шардарбекович (KZ)  
Тастамбек Қуаныш Талғатұлы (KZ)

Цяо Сяохуэй (KZ)

Абдиева Гулжамал Жанадиловна (KZ)

Уалиева Перизат Серикказыевна (KZ)

Жубанова Ажар Ахметовна (KZ)

Кайырманова Гульжан Кайыржановна (KZ)

Akimbekov Nuraly Shardarbekovich (KZ)

Tastambek Kuanysh Talgatuly (KZ)

Qiao Xiaohui (KZ)

Abdiyeva Gulzhamal Zhanadilovna (KZ)

Ualiyeva Perizat Serikkazyevna (KZ)

Zhubanova Azhar Akhmetovna (KZ)

Kaiyrmanova Gulzhan Kaiyrzhanovna (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed with EDS

Е. Қуантыров  
Е. Кuantyrov  
Y. Kuantyrov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ  
PATENT

№ 34556

ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION



(21) 2018/0681.1

(22) 01.10.2018

(45) 04.09.2020

- (54) Көмірді қайта өңдеу тәсілі  
Способ переработки угля  
Method of coal processing
- (73) Тастамбек Қуаныш Талғатұлы (KZ)  
Тастамбек Қуаныш Талғатұлы (KZ)  
Tastambek Kuanysh Talgatuly (KZ)
- (72) Ақимбеков Нуралы Шардарбекович (KZ) Акимбеков Nuraly Shardarbekovich (KZ)  
Тастамбек Қуаныш Талғатұлы (KZ) Tastambek Kuanysh Talgatuly (KZ)  
Цяо Сяохуэй (KZ) Qiao Xiaohui (KZ)  
Абдиева Гулжамал Жанадилловна (KZ) Abdiyeva Gulzhamal Zhanadilovna (KZ)  
Уалиева Перизат Серикказыевна (KZ) Ualiyeva Perizat Serikkazyevna (KZ)  
Жубанова Ажар Ахметовна (KZ) Zhubanova Azhar Akhmetovna (KZ)



ЭЦК қол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed with EDS

Н. Әбілқайыров  
Н. Абулқайыров  
N. Abulkairov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директорының м.а.  
И.о. директора РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Executive director of RSE «National institute of intellectual property»