

Қарашығанақ кен орнының өндірістік ағынды сулары тұнбасының пиролиз өнімдерінің құрамы және отындық қасиеттері

Р.Н. Кубашева*, Н.С. Ержанова, З.Х. Кунашева, Г.И. Утепкалиева, Д.Ж. Кишиева

М. Өтемісов ат. Батыс Қазақстан университеті, Н. Назарбаев даң., 162, Орал, Қазақстан

ARTICLE INFO

Алынған
16.02.2026

Түзетілген түрде алынды
30.03.2026

Қабылданды
31.03.2026

Түйін сөздер:

термиялық өңдеу;
органоминаралды тұнба;
пиролиз; сұйық өнім;
фракциялық құрамы;
көмірсутектер; октан саны;
газ хроматографиясы

АҢДАТПА

Бұл зерттеуде органоминаралды тұнбаны термиялық өңдеу арқылы алынған сұйық өнімдердің химиялық құрамы, фракциялық бөлінуі және отындық қасиеттері кешенді зерттелді. Негізгі басымдылық сұйық фазаға, оның көмірсутектік құрамына, фракциялық сепарациясына және отын ретінде қолдану мүмкіндігіне беріледі. Әдістер ретінде газды хроматография, элементтік талдау және стандартты айдау қолданылды. Алынған сұйық өнім изопарафинді (32,8%), ароматты (25,6%) және нафтенді (23,4%) көмірсутектерге бай екені, сонымен қатар олефиндер (8,5%) мен оттегі бар қосылыстарды (4,5%) қамтитыны анықталды. Толық айдау қисығы өнімнің кең қайнау диапазонына (73-370 °C) ие екенін көрсетті, соның ішінде 200 °C-қа дейінгі фракциялардың үлесі шамамен 70% құрайды, бұл оның негізінен бензин фракцияларынан тұратынын көрсетеді. Жеңіл фракцияда (100 °C-қа дейін) толуол (10,96%), этилбензол (3,06%), о-ксилол (3,75%), триметилбензол (4,19%) және C₇–C₁₇ изопарафиндері анықталды. Есептеулер жеңіл фракцияның жоғары октан санына ие екенін көрсетті: зерттеу әдісі бойынша 93,3, мотор әдісі бойынша 76,8, бұл негізінен изопарафиндердің (38,1 бірлік) және ароматты қосылыстардың (33,5 бірлік) үлесіне байланысты. Фракциялардың октан санын бағалау арқылы 70-100 °C фракциясының ең жоғары октандық потенциалға (зерттеу әдісі бойынша ~95-98) ие екені анықталды. Алайда, олефиндердің болуы өнімнің тұрақтылығын төмендетеді. Стандартты мотор отынының талаптарына сәйкес келу үшін олефиндер мөлшерін азайтуға бағытталған гидроөңдеу сияқты қосымша тазалау қажет. Нәтижелер термиялық өңделген органоминаралды қалдықтардың сұйық өнімдері жоғары октанды отын компоненттерінің перспективасын шикізаты ретінде қарастырыла алатынын көрсетеді және оларды игерудің ресурс үнемдейтін технологияларын әзірлеу үшін негіз болады.

1. Кіріспе

Органоминаралды тұнбаларды термиялық өңдеу нәтижесінде алынған сұйық өнімдер көмірсутектер мен оттекті қосылыстардың кең спектрін қамтитын күрделі көпкомпонентті жүйелер болып табылады [1, 2]. Бұл өнімдердің химиялық табиғаты мен отындық қасиеттері бастапқы шикізаттың құрамына және өңдеу үдерісінің термодинамикалық параметрлеріне тікелей тәуелді. Органоминаралды тұнбаларды (шламдарды) қайта өңдеу экологиялық қауіпсіздік пен табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану контекстінде өзекті мәселелердің бірі болып табылады [3, 4].

Осыған байланысты қалдықтардың органикалық бөлігін құнды энергия көздеріне және химиялық шикізатқа айналдыруға мүмкіндік беретін термохимиялық әдістер, атап айтқанда пиролиз, стратегиялық маңызды бағыт болып табылады [5, 6].

Қазақстанда органикалық қалдықтар мен шламдарды термохимиялық өңдеу мәселелеріне арналған зерттеулер отандық ғалымдар тарапынан белсенді жүргізілуде. Мәселен, Е.Е. Ерғожин мен З.К. Майлыбаеваның еңбектерінде мұнай-химия өнімдерінің құрылымы мен қасиеттерін реттеудің іргелі принциптері қаланған [7]. Ал Н.Т. Смағұлова мен Б.К. Қасеновтың зерттеулерінде өндірістік қалдықтар мен органикалық

*Corresponding author: R.N. Kubasheva; E-mail address: r_kubasheva@mail.ru

шламдарды термиялық өңдеу арқылы баламалы энергия тасымалдағыштар алудың тиімділігі ғылыми тұрғыдан дәлелденген [8]. Біздің алдыңғы зерттеулерімізде де тұнбаларды пиролиздеу өнімдерінің жалпы сипаттамасы мен негізгі мүмкіндіктері анықталған болатын [1].

Бірқатар ғылыми еңбектерде [9, 10] термиялық өңдеу нәтижесінде алынған сұйық отын фракцияларының, әсіресе жеңіл фракциялардың, отындық қасиеттерін бағалауға ерекше көңіл бөлінеді. Мұнай қалдықтарын өңдеу нәтижесінде алынған өнімдердің октан саны зерттеу әдісі бойынша 90-95 аралығында болуы мүмкін екені көрсетілген, бұл мұнай негізіндегі стандартты бензин фракцияларымен (мысалы, ҚР СТ 3478 стандарты бойынша) салыстыруға келетін деңгей. Әртүрлі көмірсутек кластарының октан санына әсері әртүрлі: изопарафиндер мен ароматты қосылыстар ең үлкен үлесті қамтамасыз етсе, нафтендер мен парафиндер октан санын төмендететін факторлар ретінде анықталған [11, 12].

Органоминералды тұнбаларды термиялық өңдеу барысында термолиз, крекинг, изомерлеу, дегидрлеу және конденсация реакцияларының күрделі жиынтығы іске асады. Нәтижесінде құрамында алифатты, ароматты, нафтендік және оттек қосылыстардың кең ауқымы бар сұйық өнім алынады [13, 14].

Зерттеудің мақсаты – органоминералды тұнбаны термиялық өңдеу арқылы алынған сұйық өнімдердің химиялық және фракциялық құрамын кешенді талдау, сондай-ақ олардың жоғары октанды мотор отынының компоненті ретіндегі әлеуетін сандық тұрғыда бағалау.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы – органоминералды тұнбаны термиялық өңдеу нәтижесінде алынған жеңіл фракцияның октан санына әртүрлі көмірсутек кластарының әсерін сандық тұрғыда анықтау. Сонымен қатар фракциялардың қайнау диапазонына байланысты олардың октандық сипаттамалары салыстырмалы түрде бағаланды [15].

2. Эксперименттік бөлім

Зерттеу нысаны ретінде жоғары минералдану жағдайында және ұзақ уақыт техногендік әсер нәтижесінде қалыптасқан Қарашығанақ мұнай-газконденсат кен орнының өндірістік ағынды суларының тұнбалары алынды. Аталған тұнбалар мұнай-газ өндіру кәсіпорнында түзілетін өндірістік ағынды суларды тазарту процесі барысында пайда болатын күрделі органоминералды жүйе болып табылады.

Сынамалар Қарашығанақ кен орны аумағында орналасқан тұнба алаңдарының әртүрлі учаскелерінен МЕМСТ 17.4.3.01-83 стандартына сәйкес іріктеп алынды. Іріктеу кезінде табиғи сусыздану және сақтау мерзімі әртүрлі (1-4 жыл) болатын тұнба үлгілері пайдаланылды. Алынған үлгілер зертханалық жағдайда алдын ала кептіріліп, механикалық қоспалардан тазартылды және біртекті күйге дейін ұсақталды.

Тұнбаның негізгі компоненттік құрамы Қарашығанақ кен орнының өндірістік қалдықтарына арналған техникалық паспорт деректері және зертханалық талдаулар негізінде анықталды (1-кесте).

Кесте 1. Қарашығанақ кен орны тұнбасының компоненттік құрамы

№	Компонент атауы	Концентрация, мг/кг
1	Мұнай және мұнай өнімдері	1,8
2	Хлоридтер (Cl^-)	2003
3	Сульфаттар (SO_4^{2-})	7589
4	Кальций	1903
5	Магний	243,2
6	Алюминий	3000
7	Барий	3500
8	Стронций	150
9	Мыс	70
10	Қалайы	25
11	Қорғасын	5
12	Құм, топырақ бөлшектері	970000

Жоғары минералдық құрам органоминералды тұнбалардың табиғи сусыздану және сақтау процесінде минералдық бөлшектердің жиналуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар үлгі құрамындағы мұнай өнімдері мен органикалық қосылыстар пиролиз процесінде сұйық көмірсутекті фракциялардың түзілуіне ықпал етеді.

Жалпы минералды компоненттердің мөлшері шамамен 98,8% құрайды, бұл зерттелген материалдың негізінен минералды-органикалық сипатта екенін көрсетеді.

Термиялық өңдеу әдістемесі. Үлгілер бақыланатын жағдайларда термиялық өңдеуден өткізілді. Пиролиз процесі 100-900 °C температура аралығында, инертті атмосферада (азот ағынында) жүргізілді. Процесс параметрлері әдеби деректерде ұсынылған пиролиз әдістемелеріне сәйкес таңдалды [6, 16].

Газ-хроматографиялық талдау. Алынған сұйық өнімнің көмірсутектік құрамы Agilent 7890A газ хроматографының көмегімен анықталды. Хроматографиялық талдау 35-250 °C температуралық интервалда сызықтық температуралық бағдарламалау режимінде жүргізілді. Бұл әдіс пиролиз өнімдерінің көмірсутектік құрамын сенімді түрде анықтауға мүмкіндік береді [17, 18].

Октан санын есептеу. Жеңіл фракцияның октан саны көмірсутектердің топтық құрамына негізделген аддитивті есептеу әдісімен анықталды [2, 19]. Алдымен газ-хроматографиялық талдау арқылы сұйық өнімнің құрамындағы негізгі көмірсутек кластардың (изопарафиндер, ароматы көмірсутектер, нафтендер және олефиндер) үлестік мөлшері анықталды. Одан кейін қоспаның октан саны келесі формула бойынша есептелді:

$$ON = \sum (w_i \cdot ON_i) \quad (1)$$

мұндағы: w_i – i -ші көмірсутек тобының үлесі, ON_i – тиісті топтың анықтамалық октан саны.

Есептеу барысында изопарафиндер, ароматы көмірсутектер, нафтендер мен олефиндердің үлестері ескерілді [2, 4, 20].

3. Нәтижелер және талқылау

Термиялық өңдеуден кейін алынған органо-минералды тұнбаның сұйық фазасы тұндыру нәтижесінде екі қабатқа бөлінді: жоғарғы қабаты сары майлы консистенция және жағымсыз иісі бар сұйықтық, ал төменгі қабаты – ашық сары, тұтқырлығы төмен, өткір иісті. Тұндыру кезінде бөлінген газ фазасының рН мәні 11-12 деңгейінде анықталып, оның құрамында иіс тудыратын азот

және оттегі бар газ тәрізді қосылыстар бар екені белгілі болды.

Сұйық өнім атмосфералық айдау әдісі арқылы фракцияланды. 75-100 °C диапазонында негізгі жеңіл фракция бөлініп алынды. Температура жоғарылаған сайын ұшқыш фракциялардың бөлінуі азайып, тұтқыр қалдық көбейе бастады. Қалдық бөлме температурасында қою, жанғыш және толық жанбаған күйде күйе қалдықтарының түзілуімен сипатталды, бұл оның құрамында жоғары көміртекті конденсацияланған құрылымдардың бар екенін көрсетті.

Фракциялық айдау нәтижелері (2-кесте) сұйық өнімнің кең қайнау диапазонын (73-370 °C) көрсетті. Қайнау температурасының төменгі шегінде (73 °C бастап) жеңіл бензиндік фракциялар басым, ал 90-99,5% аралығында (220-370 °C) ауыр керосиндік және дизельдік фракциялар анықталды. Бұл өнімнің бензин, керосин және дизель фракцияларын қамтитын көпфункционалды құрамға ие екенін білдіреді.

Температураның жоғарылауымен сұйық өнім құрамындағы орташа қайнайтын фракциялар біртіндеп айдалады. Мысалы, 50% айдалған кезде температура 145 °C дейін жетсе, 75% айдалған кезде 179 °C деңгейінде тұрақтанады. Бұл қайнау көрсеткіші изопарафиндер мен арендердің жоғары концентрациясы бар бензин типті көмірсутектерге тән болып, газ хроматографиясы нәтижелерімен үйлеседі.

Температураның одан әрі көтерілуі ауыр көмірсутектердің бөлінуімен жүреді: 90% айдалған кезде қайнау температурасы 220 °C-қа жетіп, 95% айдалғанда 262 °C деңгейінде байқалады. Бұл интервалдар керосин және дизель фракциялары-

Кесте 2. Сұйық өнімнің фракциялық құрамының температуралық сипаттамалары

Фракциялық айдау, %	Температура, °C	Фракциялық айдау, %	Температура, °C
0,5	73	55,0	150
5,0	101	60,0	157
10,0	109	65,0	164
15,0	114	70,0	171
20,0	119	75,0	179
25,0	124	80,0	188
30,0	128	85,0	198
35,0	132	90,0	220
40,0	137	95,0	262
45,0	141	98,0	349
50,0	145	99,5	370

ның бар екенін көрсетеді. Қайнау температурасы 99,5% айдау кезінде 370 °С жетеді, бұл қалдық құрамында қайнау температурасы жоғары ауыр ароматты қосылыстар мен конденсацияланған құрылымдардың болуын білдіреді.

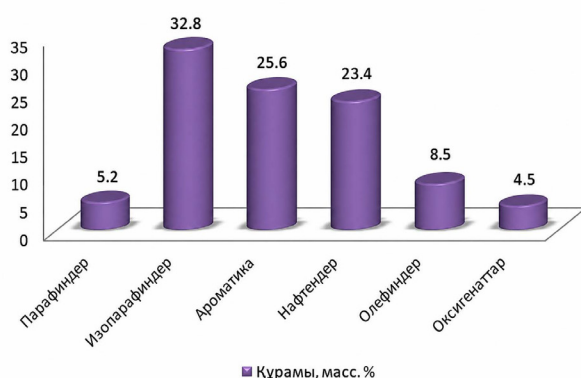
Зерттелген сұйық өнім кең қайнау диапазонына (73-370 °С) ие болып, бензин, керосин және дизельдік фракцияларды қамтиды. Көмірсутектердің көпшілігі 100-200 °С аралығында шоғырланған, бұл оның мотор бензині ретінде потенциалының жоғары екендігін көрсетеді. Алайда, қайнау температурасы жоғары компоненттердің (шамамен 20% массалық үлесі) болуы өнімнің тұрақтылығын арттыру және отындық сипаттамаларын жақсарту мақсатында қосымша тазалау немесе каталитикалық өңдеуді қажет етеді.

Сұйық өнімнің топтық құрамы (1-сурет) көрсетілгендей, оның күрделі және көпкомпонентті көмірсутектік жүйе екенін дәлелдейді.

Ең үлкен үлесті изопарафинді көмірсутектер құрайды (32,8%), бұл отынның өнімділігі тұрғысынан маңызды оң фактор болып табылады. Изопарафиндер детонацияға төзімділікті арттырып, мотор отындарының октан санының жоғары болуына ықпал етеді.

Екінші ірі топ – ароматты көмірсутектер (25,6%), олардың болуы октан санын жоғарылатуға септігін тигізеді, алайда ароматты көмірсутектердің көп мөлшері пайдаланылған газдардың ұйыттылығының артуына және экологиялық шектеулерге себеп болуы мүмкін. Сонымен қатар, ароматты қосылыстардың жоғары үлесі биомасса пиролизінен алынған биомұнайдың қасиеттеріне ұқсас.

Нафтенді көмірсутектер де айтарлықтай (23,4%) үлеске ие, олар жанармайдың жоғары жылу құндылығын қамтамасыз етеді. Дегенмен, нафтендердің изопарафиндерге қарағанда детонацияға төзімділігі төмендеу, бұл отынның жалпы қасиеттерін теңдестіріп, жан-жақты етеді.



Сурет 1. Топтық талдау нәтижесі.

Олефиндердің мөлшері (8,5%) қанықпаған көмірсутектердің бар екенін білдіреді, бұл полимерлену және шайырлы заттардың түзілуіне әкеліп, отынның сақтау тұрақтылығына кері әсер етуі мүмкін.

Парафинді қосылыстардың мөлшері салыстырмалы түрде төмен (5,2%), бұл жалпы детонацияға төзімділікті аздап төмендетеді, бірақ олардың шектеулі мөлшерде болуы термиялық және каталитикалық процестерге тән.

Сонымен қатар, тұнбадағы органикалық компоненттің ішінара сусыздануы мен тотығуы нәтижесінде оксигенаттар (4,5%) түзіледі. Олардың аз мөлшерде болуы коррозиялық белсенділікке ықпал етіп, өнімді тікелей отын ретінде пайдаланған кезде жабдықтардың қызмет ету мерзімін қысқартуы мүмкін.

Жеңіл фракцияның хроматографиялық талдауы жеке көмірсутектердің табиғатын анытауға мүмкіндік берді (3-кесте). Құрамның көп бөлігін ароматты қосылыстар – толуол (10,9%), этилбензол (3,1%) және о-ксилол (3,7%) құрайтыны анықталды. Бұл қосылыстар мотор бензинінің типтік құрамдас бөлігі болып табылады және октан санының жоғары болуын қамтамасыз етеді.

Изопарафиндердің ішінде 2,3,5-триметилгексан (5,2%), 2,3-диметилгептан (4,3%) және 2,3-диметилоттан (4,2%) басым, бұл өнімнің октандық қасиеттеріне оң әсер етеді. Ерекше назар аударатын нафтенді көмірсутектер (циклоалкандар) i-бутилциклопентан (5,8%) және көміртек атомдарының әртүрлі саны бар нафтендер (C_7-C_{17}), олардың жалпы мөлшері шамамен 10% құрайды. Бұл құрамдастар термиялық өңдеу кезінде циклдену және ішінара ароматтану процестерінің барысын көрсетеді. Сонымен қатар, молекулалық массасы жоғары полиароматты қосылыстар - арендер ($C_{11}-C_{18}$ және $C_{12}-C_{15}$) да анықталды, бұл жүйенің конденсациялану және ауыр құрылымдардың түзілу үрдісін дәлелдейді.

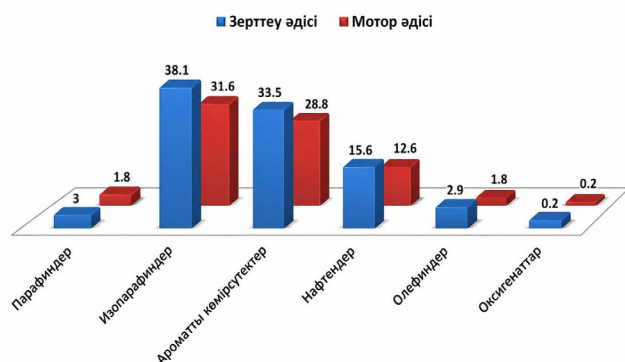
Жалпы топтық және құрамдас талдау нәтижелері сұйық өнімнің изопарафиндер мен арендердің теңдестірілген үйлесімімен сипатталатынын көрсетеді, бұл оның мотор отындары үшін негіз ретіндегі қабілетін дәлелдейді. Дегенмен, олефиндер мен полиарендердің болуы шайыр түзілу үрдісін төмендету және өнімділік қасиеттерін жақсарту үшін қосымша тазарту және тұрақтандыру қажеттілігін көрсетеді. Алынған өнімнің құрамы мен отындық қасиеттері тұнбаларды пиролиздеу саласындағы соңғы зерттеулерде сипатталғандармен салыстырмалы түрде жақсы сәйкес келеді. Сонымен қатар, мұндай

Кесте 3. Сұйық өнімнің жеңіл фракциясының негізгі жеке көмірсутекті компоненттері

№	Ұсталу уақыты, мин	Құрамы	Салмағы, %	Көлемі, %	Мольдік үлесі, %
1	26 938	3,4-диметилгексан	1,1	1,3	1,4
2	33 225	2,4-диметилгексан	1,5	1,6	1,7
3	36 698	толуол	10,9	9,9	14,8
4	43 725	3-этилметилциклопентан	2,5	2,5	2,7
5	46 155	n-октан	1,8	2,0	2,0
6	47 703	2,3,5-триметилгексан	5,2	5,3	5,2
7	57 889	этилбензол	3,1	2,8	3,5
8	60 378	2,3-диметилгептан	4,3	4,4	4,2
9	64 893	3-этилгептан	3,8	4,1	3,7
10	65 944	o-ксилол	3,7	3,6	3,6
11	68 666	нафтендер C ₇₋₉	4,1	4,4	3,9
12	71 029	i-бутилциклопентан	5,8	5,8	5,7
13	81 974	2,3-диметилоктан	4,2	4,3	4,1
14	85 460	1,2,4-триметилбензол	4,2	4,1	4,0
15	86 993	нафтендер C ₁₀₋₁₃	2,7	2,9	2,4
16	97 353	нафтендер C ₁₁₋₁₇	3,2	3,4	2,6
17	98 512	1,2-диметил	2,1	2,0	1,8
18	106 951	арендер C ₁₁₋₁₈	1,8	1,6	1,5
19	107 919	арендер C ₁₂₋₁₅	1,2	1,1	1,0

өнімдерді каталитикалық жаңарту арқылы олардың сапасын айтарлықтай жақсартуға болады, бұл оларды нарықтық отындармен бәсекелесу деңгейіне көтеруге мүмкіндік береді.

2-суретте көрсетілгендей фракциялау нәтижелері сұйық өнімнің мотор отыны ретіндегі мүмкіндігінің жоғары екенін дәлелдейді. Қайнау температурасы төмен фракцияның октан саны зерттеу әдісі бойынша 93,3, ал моторлық әдіс бойынша 76,8 болды. Бұл көрсеткіштер өнімнің октан саны жоғары екенін көрсетеді.

**Сурет 2.** Сұйық өнімнің жеңіл фракциясының октан саны.

Суретте көрсетілгендей, изопарафиндердің үлесі зерттеу әдісі бойынша 38,1%, ал ароматты көмірсутектер 33,5% құрайды. Бұл құрамдас бөліктер жоғары детонацияға төзімділікті қамтамасыз етеді және өнімнің отындық қасиеттерін жақсартады.

Нафтендердің болуы (зерттеу әдісі бойынша 15,6%) фракцияның тұрақтылығын арттырады және оның қоспа түзу қасиеттерін күшейтеді. Сонымен қатар, олефиндер мен оксигенаттардың мөлшері өте төмен (барлығы 3,1% аспайды), бұл өнімнің сақтау тұрақтылығын арттырып, реактивті компоненттерден туындайтын тұрақсыздық қаупін азайтады.

Осылайша, аралас талдау нәтижелері реактивті қосылыстардың құрамын азайтуға бағытталған қосымша тазарту және тұрақтандыру кезеңдерінен кейін сұйық өнімді балама мотор отыны ретінде пайдалану мүмкіндігін дәлелдейді.

4. Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер минералды органикалық тұнбаны термиялық өңдеу арқылы алынған сұйық өнімнің күрделі көпфазалы құрамымен және кең қайнау диапазонымен (72-370 °C) ерекшеленетінін көрсетті. Негізгі көмірсутектер 100-

200 °C аралығында шоғырланған, бұл оның мотор бензинінің аналогы ретіндегі отындық қасиетін дәлелдейді. Топтық талдау нәтижесінде изопарафиндер (32,8%), ароматты көмірсутектер (25,6%) және нафтендер (23,4%) басым болып, бұл өнімнің төзімділігі мен отындық қасиеттерін арттырады. Жеңіл фракция құрамындағы толүол, этилбензол, о-ксилол және жоғары октанды изопарафиндер оның мотор бензиніне сәйкес келетінін растайды. Фракцияның октандық көрсеткіштері (зерттеу әдісі бойынша – 93,3; мотор әдісі бойынша – 76,8) отын жүйесінің талаптарына сай келеді.

Алайда, өнімде олефиндердің (8,5%) және оттегі бар қосылыстардың (4,5%) болуы оның химиялық тұрақтылығын төмендетіп, қосымша гидроөңдеу немесе тұрақтандыру кезеңдерін қажет етеді. Осыған қарамастан, алынған сұйық өнім мотор отындарын өндіруге арналған перспективалық шикізат болып табылады. Оның тиімді әрі қауіпсіз қолданылуы каталитикалық өңдеу әдістерін енгізуді қажет етеді, бұл реактивті қоспаларды азайтып, өнімнің өнімділік қасиеттерін тұрақтандыруға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, минералды органикалық тұнбаны термиялық өңдеу арқылы алынған сұйық өнім мотор отыны өндірісінде баламалы және тиімді шикізат ретінде қарастырылады. Бұл технология энергетикалық және химиялық салаларда қалдықтарды қайта өңдеудің жаңа перспективаларын ашады. Болашақ зерттеулер алынған сұйық өнімді каталитикалық өңдеу арқылы олефиндер мен оттекті қосылыстардың мөлшерін төмендетуге, сондай-ақ оның отындық фракцияларын пилоттық сынақтан өткізуге бағытталуы керек.

Зерттеу нәтижелері термиялық өңделген органоминаралды тұнбалардан алынған сұйық өнімдердің жоғары октанды мотор отыны компоненттері үшін перспективалық шикізат екенін ғылыми тұрғыда негіздейді. Алынған деректер қалдықтарды энергия және отын ресурстарына айналдыруға бағытталған ресурс үнемдейтін технологияларды әзірлеу үшін теориялық және қолданбалы негіз бола алады.

Author Contributions

Raushan Kubasheva: Conceptualization, Methodology, Supervision, Formal Analysis, Data Interpretation, Writing – Original Draft. **Nurgul Erzhanova:** Investigation, Data Curation, Formal Analysis, Visualization, Writing – Original Draft. **Zaripa Kunasheva:** Validation, Quality Control, Data Interpretation, Writing – Review & Editing,

Supervision. **Gulnur Utepkaliyeva:** Investigation, Data Curation, Sample Preparation. **Dinara Kiisheva:** Software, Data Curation, Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing.

Мүдделер қақтығысы туралы мәлімдеме

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс

Зерттеу жұмысы арнайы қаржылық қолдаусыз жүргізілді.

References

- [1]. Z. Kunasheva, R. Kubasheva, R. Kuzmina, G. Utepkaliyeva, N. Erzhanova, et al. Physical and chemical features of the thermolysis of wastewater sludge. *Engineered Science* 26 (2023) 1-9. <https://doi.org/10.30919/es991>.
- [2]. I. Fonts, G. Gea, M. Azuara, J. Ábrego, J. Arauzo. Sewage sludge pyrolysis for liquid production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 2781-2805. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.070>.
- [3]. Z. Wang, D. Chen, X. Song, L. Zhao. Study on the combined sewage sludge pyrolysis and gasification process: mass and energy balance. *Environmental Technology* 33 (2012) 2481-2488. <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.683816>.
- [4]. X. Tang, X. Wei, S. Chen. Continuous pyrolysis technology for oily sludge treatment in the chain-slap conveyors. *Sustainability* 11 (2019) 1-10. <https://doi.org/10.3390/su11133614>.
- [5]. X. Li, F. Zhang, B. Guan, J. Sun, G. Liao. Review on oily sludge treatment technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 467 (2019) 012173. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/467/1/012173>.
- [6]. H. Chang, H. Yang, J. Liu, W. Su. A study of the production and combustion characteristics of pyrolytic oil from sewage sludge using the Taguchi method. *Energies* 11 (2018) 2260. <https://doi.org/10.3390/en11092260>.
- [7]. Ye.Ye. Ergozhin, Z.K. Maylybayeva. *Petrochemistry: Fundamental Principles and Technologies*. Almaty, 2015. 350 p. (In Russ.).
- [8]. N.T. Smagulova, B.K. Kasenov, Sh.B. Kasenova, Ye.Ye. Kuanyshbekov. Thermal processing of organic sludges with obtaining alternative energy carriers. *Bulletin of the Karaganda University, Chemistry Series* 102 (2021) 45-52. (In Russ.).

- [9]. L.B.S. Thomsen, P.N. Carvalho, J.S. Passos, K. Anastasakis, K. Bester, P. Biller. Hydrothermal liquefaction of sewage sludge; energy considerations and fate of micropollutants during pilot scale processing. *Water Research* 183 (2020) 116101. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116101>.
- [10]. M. Wang, X. Li, F. Huang. Microwave-pyrolysis treatment of biosludge from a chemical industrial wastewater treatment plant for exploring product characteristics and potential energy recovery. *Energy* 199 (2020) 117446. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117446>.
- [11]. M. Halalsheh, K. Shatanawi, R. Shawabkeh, G. Kassab, H. Mohammad, et al. Impact of temperature and residence time on sewage sludge pyrolysis for combined carbon sequestration and energy production. *Heliyon* 10 (2024) e28030. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28030>.
- [12]. D.A. Sukhorukov, R.G. Kukushkin, M.V. Alekseeva, O.A. Bulavchenko, O.O. Zaikina, et al. Upgrading of sewage sludge-derived pyrolysis oil via hydrotreatment over NiMo-based catalysts. *Fuel* 359 (2024) 130383. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130383>.
- [13]. P. Gururani, P. Bhatnagar, B. Bisht, K.K. Jaiswal, V. Kumar, et al. Recent advances and viability in sustainable thermochemical conversion of sludge to bio-fuel production. *Fuel* 316 (2022) 123351. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123351>.
- [14]. Y. Hu, Z. Chen. Thermochemical Conversion of Sewage Sludge: Progress in Pyrolysis and Gasification. *Water* 17 (2025) 1833. <https://doi.org/10.3390/w17121833>.
- [15]. Ye. Aibuldinov, N. Nurgaliyev, M. Petrov, G. Abdiyussupov, M. Omirzak. Co-pyrolysis of oil sludge and additives: an analytical review. *Bull. Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology series* 151 (2025) 11-34. (In Kaz.). <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2025-151-2-11-34>.
- [16]. Z. Wang, K.G. Burra, T. Lei, A.K. Gupta. Co-pyrolysis of waste plastic and solid biomass for synergistic production of biofuels and chemicals-A review. *Progress in Energy and Combustion Science* 84 (2021) 100899. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100899>.
- [17]. L. Li, J. Zhang, M. Wang. Steam pyrolysis of oil sludge for energy-valuable products. *Electronics* 12 (2023) 1012. <https://doi.org/10.3390/electronics12031012>.
- [18]. P. Palmay, C. Haro, I. Huacho, D. Barzallo, J. Bruno. Production and analysis of the physicochemical properties of the pyrolytic oil obtained from pyrolysis of different thermoplastics and plastic mixtures. *Molecules* 27 (2022) 3287. <https://doi.org/10.3390/molecules27103287>.
- [19]. A.V. Bridgwater. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass Bioenergy* 38 (2012) 68-94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>.
- [20]. ASTM D2699. Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel. ASTM International. <https://store.astm.org/d2699-25.html>.

About the Authors

R.N. Kubasheva – Master's Student, M. Utemisov West Kazakhstan University, Senior Lecturer, Department of Biology, Chemistry and Environment, Uralsk, Kazakhstan
E-mail: r_kubasheva@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2999-0998>

N.S. Yerzhanova – Master's Student, M. Utemisov West Kazakhstan University, Senior Lecturer, Department of Biology, Chemistry and Environment, Uralsk, Kazakhstan
E-mail: nurgul.yerzhanova@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8687-9690>

Z.Kh. Kunasheva – PhD (Chem.), Assoc. Prof., Department of Biology, Chemistry and Environment, M. Utemisov West Kazakhstan University. M. Utemisova, Uralsk, Kazakhstan
E-mail: kunasheva_@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1614-5939>

G.I. Utepkaliyeva – Master's Degree, M. Utemisov West Kazakhstan University, Senior Lecturer, Department of Biology, Chemical Sciences, and Environment, Uralsk, Kazakhstan
E-mail: gulnura_west@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-8134-2080>

D.Zh. Kiisheva – Master's Degree, M. Utemisov West Kazakhstan University, Senior Lecturer, Department of Biology, Chemical Sciences, and Environment, Uralsk, Kazakhstan
E-mail: dinnaz-85@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-7010>

Composition and fuel properties of pyrolysis products of industrial wastewater sludge from the Karachaganak oil and gas condensate field

R.N. Kubasheva*, N.S. Yerzhanova, Z.H. Kunasheva, G.I. Utepkalieva, D.J. Kiisheva

M. Utemisov West Kazakhstan University, N. Nazarbayev Ave., 162, Uralsk, Kazakhstan

ABSTRACT

This study comprehensively examines the chemical composition, fractional separation, and fuel properties of liquid products derived from the thermal treatment of organomineral sludge. The focus is on characterizing the liquid phase, including its hydrocarbon composition and fractional distribution, and evaluating its potential as a fuel. Gas chromatography, elemental analysis, and standard distillation methods were employed. The resulting liquid product was found to be rich in hydrocarbons, specifically isoparaffins (32,8%), aromatics (25,6%), and naphthenes (23,4%), with smaller amounts of olefins (8,5%) and oxygen-containing compounds (4,5%). Distillation analysis revealed a wide boiling range (73-370 °C), with approximately 70% of the product boiling below 200 °C, indicating a significant gasoline-range fraction. The light fraction (up to 100 °C) contained toluene (10,96%), ethylbenzene (3,06%), o-xylene (3,75%), trimethylbenzene (4,19%), and C₇–C₁₇ isoparaffins. Calculations estimate a high octane number for the light fraction: 93,3 by the research octane number (ron) method and 76,8 by the motor octane number (mon) method, primarily attributed to the contributions of isoparaffins (38,1 units) and aromatics (33,5 units). Octane number estimation of different fractions revealed that the 70-100 °C fraction has the highest octane potential (approximately 95-98 ron). However, the presence of olefins may reduce product stability. To meet standard motor fuel specifications, further purification, such as hydrotreatment to reduce olefin content, may be necessary. These results suggest that liquid products from thermally treated organomineral waste hold promise as a feedstock for high-octane fuel components and provide a foundation for developing resource-efficient processing technologies.

Keywords: heat treatment, organomineral precipitates, pyrolysis, liquid products, fractional composition, hydrocarbons, octane number, gas chromatography

Состав и топливные свойства продуктов пиролиза осадка производственных сточных вод Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения

Р.Н. Кубашева*, Н.С. Ержанова, З.Х. Кунашева, Г.И. Утепкалиева, Д.Ж. Киешева

Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, пр. Н. Назарбаева, 162, Уральск, Казахстан

АННОТАЦИЯ

В данном исследовании всесторонне изучены химический и фракционный состав и топливные свойства жидких продуктов, полученных в результате термической обработки органоминерального осадка. Особое внимание уделено жидкой фазе, ее углеводородному составу, фракционированию и возможности использования в качестве топлива. Для анализа применялись методы газовой хроматографии, элементного анализа и стандартной дистилляции. Установлено, что полученный жидкий продукт характеризуется высоким содержанием углеводородов: изопарафинов (32,8%), ароматических соединений (25,6%) и нафтен (23,4%), а также олефинов (8,5%) и кислородсодержащих соединений (4,5%). Кривая дистилляции показала широкий диапазон кипения продукта (73-370 °C), при этом около 70% фракций выкипает до 200 °C, что указывает на преобладание бензиновых фракций. В легкой фракции (до 100 °C) обнаружены толуол (10,96%), этилбензол (3,06%), о-ксилол (3,75%), триметилбензол (4,19%) и изопарафины C₇–C₁₇. Расчеты подтвердили высокое октановое число легкой фракции: 93,3 по исследовательскому методу и 76,8 по моторному методу, что обусловлено в основном содержанием изопарафинов (38,1 ед.) и ароматических соединений (33,5 ед.). Оценка октанового числа фракций показала, что фракция 70-100 °C обладает самым высоким октановым потенциалом (~95-98 по исследовательскому методу). Однако присутствие олефинов снижает стабильность продукта и для соответствия требованиям, предъявляемым к стандартному моторному топливу, необходима дополнительная очистка, например, гидропереработка, направленная на уменьшение содержания олефинов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что жидкие продукты термической обработки органоминеральных отходов могут рассматриваться как перспективное сырье для получения высокооктановых топливных компонентов и служить основой для разработки ресурсосберегающих технологий.

Ключевые слова: термическая обработка, органоминеральный осадок, пиролиз, жидкие продукты, фракционный состав, углеводороды, октановое число, газовая хроматография