

Код МРНТИ 38.37.15

А. Н. Копобаева¹, *Ә. Бақыт¹, А. Амангелдіқызы¹, В. В. Иванов²
¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті»
 коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан),
²«Ресей Ғылым академиясының Қиыр Шығыс геологиялық институты»
 (Владивосток қ., Ресей)

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАННЫҢ КӨМІРІНДЕГІ ЖӘНЕ КӨМІР КҮЛІНДЕГІ МИНЕРАЛДЫ ҚОСПАЛАР

Аннотация. Мақалада Шұбаркөл кен орны мен Қарағанды көмір бассейні көмірлері және олардың күлдерінің минералогиялық және геохимиялық ерекшеліктері қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – көмір мен ілеспе жыныстардағы сирек жер элементтері (СЖЭ) мен микроэлементтердің таралу заңдылықтарын анықтау және олардың қалыптасу факторларын бағалау. Зерттеу барысында СЭМ, ІСР-МС және ІННА сияқты заманауи аналитикалық әдістер қолданылды. Нәтижесінде каолинит, кварц, пирит, сидерит минералдарының кең таралуы және СЖЭ әртүрлі деңгейде жинақталуы анықталды. Көмір құрамының қалыптасуына терригенді материал, магмалық және гидротермалдық процестер, сондай-ақ теңіздік жағдайлар әсер еткені көрсетілді. Зерттеудің жаңалығы – екі көмір бассейніндегі микроэлементтердің таралуын салыстырмалы бағалау және көмір күлін сирек металдардың әлеуетті көзі ретінде қарастыру.

Түйінді сөздер: көмір геохимиясы, сирек жер элементтері, микроэлементтер, күл, минералогиялық құрамы, Шұбаркөл кен орны, Қарағанды көмір бассейні.

Mineral impurities in coals and coal ash from Central Kazakhstan

Abstract. This article examines the mineralogical and geochemical characteristics of coals and their ash from the Shubarkol deposit and the Karaganda Coal Basin. The aim of the study is to identify the distribution patterns of rare earth elements (REE) and trace elements in coal and associated rocks, as well as to assess the factors controlling their formation. Analytical methods including SEM, ICP-MS, and INNA were applied. The results reveal the widespread occurrence of minerals such as kaolinite, quartz, pyrite, and siderite, along with variable levels of REE accumulation. It is shown that coal composition was influenced by terrigenous input, as well as magmatic, hydrothermal, and marine processes. The novelty of the study lies in the comparative evaluation of trace element distribution in two coal basins and in considering coal ash as a potential source of rare metals.

Key words: coal geochemistry, rare earth elements, trace elements, ash, mineralogical composition, Shubarkol deposit, Karaganda Coal Basin.

Минеральные примеси в углях и угольной золе Центрального Казахстана

Аннотация. В статье рассмотрены минералогические и геохимические особенности углей и их зол месторождения Шубарколь и Карагандинского угольного бассейна. Цель исследования – выявление закономерностей распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) и микроэлементов в углях и сопутствующих породах, а также оценка факторов их формирования. В работе использованы современные аналитические методы: сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ІСР-МС) и инструментальный нейтронно-активационный анализ (ІННА). Установлено широкое распространение каолинита, кварца, пирита и сидерита, а также различия в уровнях накопления РЗЭ. Показано влияние терригенного материала, магматических и гидротермальных процессов, а также морских условий. Новизна исследования заключается в сравнительной оценке распределения микроэлементов в двух угольных бассейнах и рассмотрении угольной золы как потенциального источника редких металлов.

Ключевые слова: геохимия угля, редкоземельные элементы, микроэлементы, зола, минералогический состав, месторождение Шубарколь, Карагандинский угольный бассейн.

Кіріспе

Энергияның негізгі көзі ретінде және әртүрлі өнеркәсіп салалары үшін шикізаттың бірі ретінде көмір ғылыми зерттеулердің басты нысаны болып табылады. Соңғы онжылдықтарда оның элементтік құрамын, атап айтқанда, қоспалардың болуын зерттеуге ерекше назар аударылуда. Көмірдегі және одан туындайтын күл қалдықтарындағы қоспалар тек қоршаған ортаны ластаушылар ғана емес, сонымен қатар геологиялық процестердің құнды индикаторлары, сондай-ақ сирек және бағалы элементтердің көздері болып табылады [1, 2, 3].

Орасан зор көмір бассейндеріне ие Орталық Қазақстан мұндай зерттеулер жүргізу үшін перспективалы аймақ болып табылады. Бұл аймақтың әртүрлі геологиялық жағдайларда қалыптасқан көмірлері литология, палеогеографиялық жағдай және тектоникалық тарих ерекшеліктерін көрсететін қоспалардың ерекше жиынтығын қамтуы мүмкін [1]. Орталық Қазақстан көмірлері мен күлдерінің элементтік құрамын түсіну тек көмірді өндіру және қайта өңдеу процестерін оңтайландыру үшін ғана емес, сонымен қатар оның экологиялық қауіпсіздігін бағалау, сондай-ақ жаңа пайдалы қазбалар кен орындарын іздеу үшін де өте маңызды.

Соңғы жылдары көмірдің сирек кездесетін элементтерді өндірудің қайталама көзі ретіндегі ерекше рөліне көбірек көңіл бөлінді [2]. Қазіргі заманғы жоғары технологиялық салалар үшін маңызды болып табылатын бұл элементтер

көбінесе көмір қабаттары мен күлдерге шоғырланады, бұл оларды алудың жаңа мүмкіндіктерін ашады және дәстүрлі өндіру әдістеріне тәуелділікті азайтады.

Бұл мақала Орталық Қазақстанның көмір кен орындарының көмірі мен күліндегі қоспа элементтерін кешенді зерттеуге және сирек жер элементтерінің (СЖЭ) құрамы мен таралу заңдылықтарына баса назар аударылады. Зерттеудің мақсаты химиялық құрамның ерекшеліктерін анықтау, қоспалардың генетикалық түрлерін анықтау және қоршаған ортаға және өнеркәсіпке ықтимал әсерді бағалау, сондай-ақ аймақтың көмір кен орындарын СЖЭ көзі ретінде бағалау болып табылады. Нәтижелер аймақтың көмір кен орындарының геологиясын тереңірек түсінуге ықпал етеді және оның көмір ресурстарын, соның ішінде құнды сирек жер металдарының көзі ретінде ұтымды пайдаланудың жаңа перспективаларын ашады.

Зерттеу нысаны

Зерттеу нысаны ретінде Ортадық Қазақстан аумағына кіретін Шұбаркөл көмір кен орны мен Қарағанды көмір бассейнінің көмір қабаттары таңдалды. Шұбаркөл кен орны Сарысу-Теңіз көтерілімінің орталық бөлігінде, каледондық аккрециялық-катпарлы құрылымдар негізінде қалыптасқан. Ол ендік бағытта созылған, төменгі юралық континенттік шөгінділермен толтырылған асимметриялық мульда болып табылады. Қимасында жалпы қалыңдығы 5–47 м болатын үш көмір қабаты (жоғарғы, ортаңғы, тө-

менгі) бар. Негізгі жыныстар – құмтастар, алевролиттер, аргиллиттер және көмірлер.

Қарағанды көмір бассейні каледондық және герциндік құрылымдардың шовты аймағында орналасқан синклино-рийдің батыс бөлігін қамтиды. Ол жарылымдармен бөлінген блоктардан тұрады және үш ірі синклинальмен (Шерубай-Нұра, Қарағанды, Жоғарғы Соқыр) сипатталады. Геологиялық құрылысы тас көмір және юра шөгінділерінен тұрады, іргетасы кембрий-силур жастағы метаморфталған кешенмен берілген.

Әдістемелер

Зерттеу жұмыстары барысында Шұбаркөл кен орны мен Қарағанды көмір бассейніндегі көмір қабаттары және олармен байланысты сазды жыныстар зерттелді. Сынамалар көмірден, көмірді сыйыстырушы сазды жыныстардан және көмір мен сазды қабаттардың жанасу аймақтарынан іріктелді. Сынамаларды алу бороздалық әдіс арқылы жүргізілді. Сынамалау көмір қабаттарының жабынынан табанына қарай қиылысу бағыты бойынша орындалды, бұл көмір қабаты мен ілеспе жыныстардың литологиялық өзгерістерін толық қамтуға мүмкіндік берді. Борозданың көлденең қимасы шамамен $0,05 \times 0,03$ м болды.

Шұбаркөл кен орнының Батыс және Орталық учаскелерінен 2В, 1В2, 1В1 көмір, сазды жыныстар және олардың жанасу аймақтарынан барлығы 120 сынама алынды.

Қарағанды көмір бассейнінде орналасқан κ_7 қабатының шегінде үш жұмыс істеп тұрған шахталардан сынамалар жиналды – Саран, Ақтас және Т. Күзембаев атындағы. Бұл учаскелерде көмір қабаттары және қалыңдығы 0,05–0,20 м аралығындағы ілеспе жыныстар зерттелді. Секциялар арасындағы қашықтық шамамен 500–800 м аралығында өзгеріп отырды, ал бірінші және соңғы секциялар арасындағы жалпы арақашықтық шамамен 2,9 км құрады. Қарағанды көмір бассейні бойынша көмір, сазды қабатшалар және олардың жанасу аймақтарынан барлығы 175 сынама жиналды.

Жалпы алғанда, екі кен орны бойынша зерттеу үшін 295 сынама іріктеліп, олардың минералдық және геохимиялық құрамын анықтауға бағытталған зертханалық талдаулар жүргізілді.

Шұбаркөл кен орнынан алынған сынамаларға геохимиялық талдаулар жүргізу мақсатында Томск ұлттық зерттеу политехникалық университеті радиациялық бақылау зертханасында аспаптық нейтрондық-активтендіру талдау әдісі (ИННА) қолданылды (аналитик – А. Ф. Судыко). Сонымен қатар, осы зертханада көмірдің минералдық құрамын және минералдардың жатыс формаларын анықтау үшін сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) әдісі пайдаланылды.

Қарағанды көмір бассейнінен алынған көмір және оның күліндегі сынамаларды зерттеу барысында химиялық құрамы ICP-OES, ICP-MS әдістерімен және минералды қоспаларды анықтау үшін негізгі зерттеу әдісі ретінде AZtecFeature бағдарламалық модулі бар аналитикалық сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) қолданылды. Бұл зерттеулер Ресей Ғылым академиясы Қиыр Шығыс бөлімшесінің Қиыр Шығыс геологиялық институты зертханасында жүргізілді.

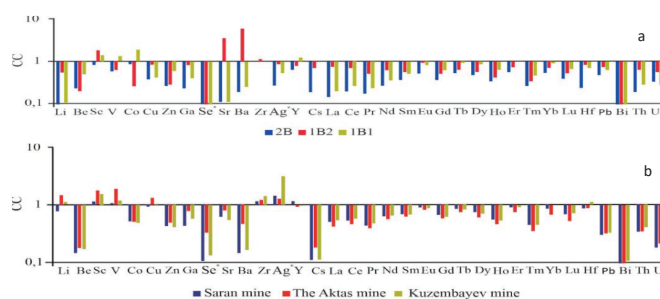
Алынған сынамалардың күлдеріне зерттеу жүргізу үшін көмір сынамаларын зертханалық жағдайда күлдендіру 650 градус температурада жүргізілді.

Зерттеу қортындылары

Юра дәуіріндегі (1а-сурет) және тас көмір дәуіріндегі (1б-сурет) шөгінділердің СЖЭ байытылу дәрежесін бағалау, [Ketris M. P., Yudovich Ya. E. 2009] бойынша, микроэлементтердің концентрациясы әлемдік көмірлердің орташа мәндеріне ($0,5 < CC < 2$) жақын екенін көрсетті. Шұбаркөл кен орнындағы көмір үлгілеріндегі қоспа элементтерінің таралуын талдау (1а-сурет) ірі ионды литофильді элементтердің (**Ba, Sr, Sc, Zr, V**) ең жоғары концентрацияға ие екенін, ал қалған СЖЭ-лердің орташа деңгейде екенін көрсетті. Ал тас көмір дәуіріндегі (1б-сурет) көмір үлгілерінде ионды литофильді (**Li, Sc, V, Zr, Hf, Y**) және халькофильді (**Ag, Cu, Co**) элементтер ең жоғары концентрацияға ие, сондай-ақ олар **As, Sb, Hg** элементтерімен байытылған.

Зерттеу нысандарының сазды жыныстарындағы қоспа элементтерінің таралуын талдау көрсеткендей, ең жоғары концентрацияға ірі ионды литофильді (**Sc, Ba, Sr**) және транзиттік (**Cr, Zn**) элементтер ие, ал қалған элементтер (**As, Ca, Fe, Sb**) салыстырмалы түрде орташа болып табылады. Жүргізілген талдау нәтижелері бойынша юра және тас көмір дәуірлерінің көмірлеріндегі СЖЭ концентрация коэффициенті (CC) бойынша таралуы LREE: **La-Nd** элементтерінің әлсіз көрсеткіштерін; MREE: **Sm-Dy** элементтерінің аздаған мөлшерін және HREE: **Ho-Lu** элементтерімен аздап байытылғанын көрсетті. Көмірлердегі СЖЭ таралу ерекшеліктерін анықтау үшін әлемдік көмірлердің, сондай-ақ Орталық Қазақстанның юра және тас көмірлерінің СЖЭ мәндерінің ЖКК (жоғарғы континентальды қабат) бойынша [Taylor S. R., McLennan S. M., 1985] нормаланған талдауы жүргізілді. Алынған деректерге сүйене отырып, көмір түзілу жасы мен жағдайларының айырмашылығына қарамастан, СЖЭ таралу сипатының сәйкес келу тенденциясы байқалады ($< 1,0$).

Әлемдік және Орталық Қазақстанның әртүрлі жастағы көмірлеріндегі СЖЭ таралу сипатының ұқсастығы СЖЭ сомасымен де расталады, ол юра көмірлерінде 13,3–90,6 аралығында, орташа мәні 56,38 болса, тас көмірлерінде 28,2–65,4 аралығында, орташа мәні 42,50 болады. Анықталған мөлшерлер әлемдегі көмір бойынша орташа мәннен аз [4] және ЖКК-ның тек үштен бір бөлігін ғана құрайды.



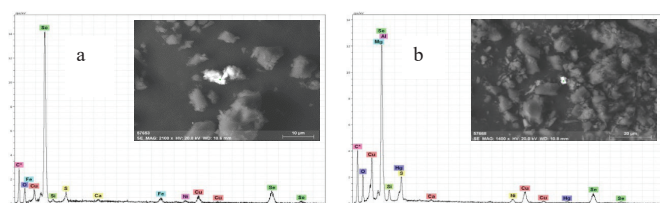
Сурет 1. (а) 2В, 1В2, 1В1 және (б) κ_7 қабаттарының көміріндегі микроэлементтердің CC.

Figure 1. CC of trace elements in the coals (a) of layers 2B, 1B2, 1B1 and (b) κ_7 .

Рис. 1. CC микроэлементов в углях (а) пластов 2В, 1В2, 1В1 и (б) пласта κ_7 .

Геохимиялық жіктеуге сәйкес, [2] ұсынған және орташа СЖЭ шоғырлануына қарай нормаланған [5] көмір кен орындарындағы СЖЭ байытылу заңдылықтары үш топқа бөлінді: жеңіл (L-тип) ($La_N / Lu_N > 1$), орташа (M-тип) ($La_N / Sm_N > 1 < 1$, $Gd_N / Lu_N > 1$) және ауыр (H-тип) ($La_N / Lu_N < 1$). Бұл жұмыста ұсынылған кен орындары бойынша орташаланған СЖЭ, $La_N / Lu_N \sim 1$ қатынасының мәндері бірден айтарлықтай аспайды. Зерттелген кен орындарындағы екі түрлі жастағы көмірлердегі La_N / Lu_N қатынасы 0,09–дан 2,74-ке дейін ауытқып отырады, бұл ауыр лантаноидтардың жеңілдерден басым екенін көрсетеді. Көмірлер СЖЭ төмен шоғырлануымен сипатталады және айқын М және Н-типті байытылуымен ерекшеленеді. Юра және тас көмір дәуіріндегі көмірлердегі СЖЭ таралу графиктері, оларды орташа СЖЭ нормалағанда, кен орындарының көмірлері Н және М-Н-типке жататынын және теріс Еу-аномалиясының жоқтығымен сипатталатынын растайды. Сондай-ақ, Шұбаркөл кен орнының юра көмірлеріне тән, кен орнының 2В, 1В2, 1В1 қабаттарында теріс церий аномалиясы δCe (0,1–0,8 аралығында ауытқиды) пайда болуы байқалады.

Бассейн көміріндегі микроэлементтердің таралу ерекшеліктері әртүрлі масштабтағы геологиялық факторлардың әсерімен анықталады. Бұл факторлар көмірдің жалпы геохимиялық спектрінің қалыптасуына, сондай-ақ жеке қабаттар мен шөгінділерде белгілі элементтермен байытылған көмірдің пайда болуына ықпал етеді. Көмірдің микроэлементтермен байытылуын анықтайтын негізгі факторлардың бірі – байыту көзінің құрамы. Байыту аймағындағы тау жыныстарының геохимиялық ерекшеліктері көмір бассейнінің жалпы геохимиялық фонының қалыптасуына әсер етеді. Алынған мәліметтер бастапқы аймақтың металлогениялық және геохимиялық ерекшеліктері элементтердің қабат ішінде әркелкі таралуына ықпал ететінін көрсетеді. СЭМ зерттеу нәтижелері бойынша Шұбаркөл кен орны көмірінің құрамында әртүрлі минералдық қоспалар анықталды. Олардың негізгі бөлігін алюмосиликаттар, сульфидтер және сирек жер элементтерінің микробөлшектері бар сульфаттар құрайды (2-сурет). Минералдық қоспалар барлық горизонттарда көбінесе аттитрит аймағында орналасқан пелитоморфты слюда-сазды агрегаттар түрінде кездеседі.



Сурет 2. (a) – Se қосылыстары бар мыс сульфиді, (b) – тиманнит (HgSe) қоспасы бар алюмосиликаттар.

Figure 2. (a) – copper sulfide with Se compounds, (b) – aluminosilicates with an admixture of timannite (HgSe).

Рис. 2. (a) – сульфид меди с соединениями Se, (b) – алюмосиликаты со смесью тиманнита (HgSe).

Пирит көмірде кең таралған минералдардың бірі болып табылады: ол жарықтарды толтыратын агрегаттар түрінде

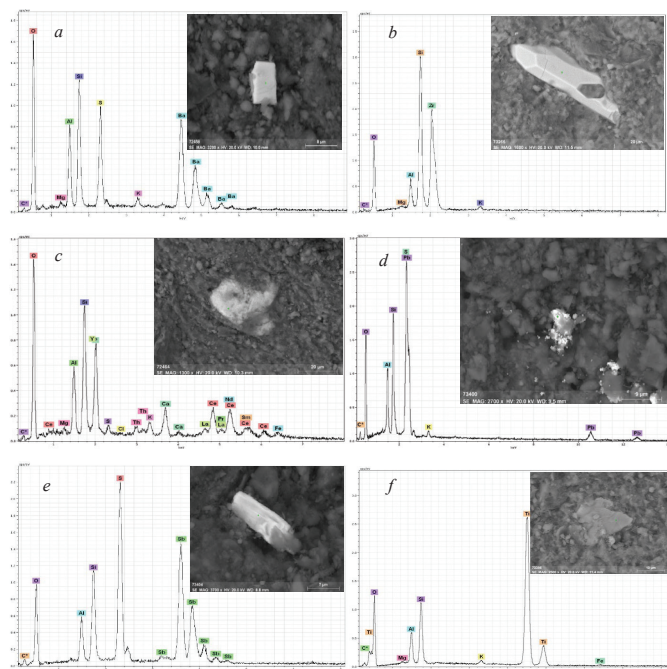
және гелификацияланған органикалық затпен шектелген оолиттер түрінде байқалады. Сонымен қатар көмірдің барлық типтерінде органикалық массада біркелкі таралған жеке семиокатонды кварц түйіршіктері кездеседі.

Шұбаркөл кен орнының жоғарғы және төменгі горизонттардың көмірлері сидерит сферулиттерінің болуымен ерекшеленеді, бұл көмірдің түйіршікті құрылымының қалыптасуына ықпал етеді. Жарықтар бойында жиі гипс пен каолинит қабықшалары байқалады, ал өсімдік тіндерінің жасушалық қуыстарын толтыратын кальцит сирек кездеседі. Жоғарғы горизонт қабаттары үшін мөлшері 2–30 мм аралығындағы оолиттерден тұратын ерекше минералдық ассоциация тән. Бұл түзілімдер әдетте қара-қоңыр түсті, борпылдақ құрылымды және механикалық әсерге оңай ыдырайды. Сазды жыныстар мен олардың құрамындағы каолиниттер және басқа да СЖЭ жинақтаушы минералдар, гранитоидты жыныстардың шайылуы мен жер асты суларыны арқылы, сазды жыныстар құрамына енген болуы мүмкін. Бұл туралы тектоникалық қозғалыстарын сипаттағанда да толығырақ айтылып өтті. Минералдардың концентрациясы мен олардың көмір және оны сыйыстырушы жыныстарда кездесу формалары оған дәлел бола алады.

Кен орнының Батыс қимасының 1 бөлімшесінен алынған сынамаларға талдау жасалынды. Нәтижесінде әрбір сынама бойынша бірнеше кескіндер мен олардың химиялық құрамы көрсетілген спектрограммалар іріктелініп алынды (3-сурет). Аргиллиттер құрамында барит, циркон, монацит, галенит, антимонит және титанит (сфен) минералдары анықталды. Бұл минералдар жыныстарда көбінесе ұсақ шашыранды түйіршіктер, призма тәрізді және ине тәрізді кристалдар, радиалды-сәулелі агрегаттар немесе линза тәрізді окшауланулар түрінде кездеседі.

Минералдардың морфологиялық ерекшеліктері мен химиялық құрамы олардың әртүрлі генетикалық шығу тегін көрсетеді. Барит, галенит және антимонит сияқты минералдардың болуы аргиллиттердің қалыптасуында гидротермалдық процестердің ықпалын байқатса, циркон, монацит және титанит минералдары көбінесе магмалық жыныстармен байланысты болып келеді. Бұл минералдардың айқын кристалдық пішіндерінің сақталуы олардың бастапқы магмалық жыныстардан үгілу, шайылу және тасымалдану нәтижесінде шөгінді ортаға түскенін көрсетеді. Минералдық кешен құрамында сирек жер элементтерін жинақтай алатын монацит сияқты минералдардың болуы аргиллиттердің сирек элементтерге қатысты геохимиялық ерекшеліктерін түсіндіруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар сульфидті минералдардың, әсіресе галениттің, кездесуі көмір қабаттарымен байланысты жыныстарда халькофильді элементтердің жиналуымен байланысты геохимиялық процестердің жүргенін көрсетеді.

Сондай-ақ Қарағанды көмір бассейнінен алынған мәліметтерге сәйкес, үш шахтадағы қоспа элементтер құрамы зерттелген қабат ішіндегі сазды жыныстарда жалпы біркелкі таралумен ұсынылған. Кейбір элементтердің концентрациясы (Li , Ga) жаһандық шөгінді жыныстардың орташа мәндеріне жақын ($2 < CC < 5$), сонымен қатар Se ($5 < CC < 10$) байытуы бар. Ал Li , Be , Ga , Se , Ag , Bi және Th элементтері кларктың мөлшерінен асып түседі. Көмірдегі бірдей элементтердің құ-

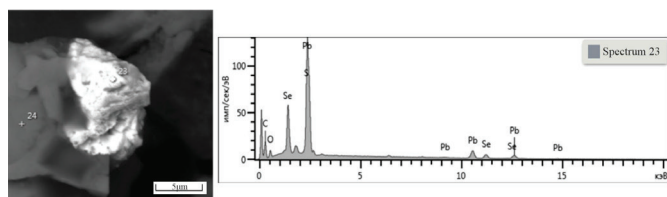


Сурет 3. Аргиллит құрамындағы минералды қоспалар: (a) – барит, (b) – циркон, (c) – монацит, (d) – галенит, (e) – антимонит, (f) – титанит.

Figure 3. Mineral inclusions in argyllite: (a) – barite, (b) – zircon, (c) – monacite, (d) galenite, – (e) antimonite, (f) – titanite.

Рис. 3. Минеральные включения в аргиллите: (a) – барит, (b) – циркон, (c) – монацит, (d) – галенит, (e) – антимонит, (f) – титанит.

рамымен салыстырғанда сазды қабаттарда *Be*, *Ga*, *Bi* және *Th* құрамының жоғарылауы байқалады. СЭМ зерттеулер нәтижесінде сазды қабаттарда *Se* мөлшері кларк ($5 < CC < 10$) деңгейінен айтарлықтай жоғары екені анықталды және оның (*Se*) кейбір минералдары анықталды. Қорғасын селенидің бірнеше түйірлері – клаусталит (*PbSe*) (4-сурет), құрамында селен бар галенит (*PbS* + *Se*) (5a-сурет) және *PbS* (*Se*, *Bi*) (5b-сурет) түйірлері анықталды.

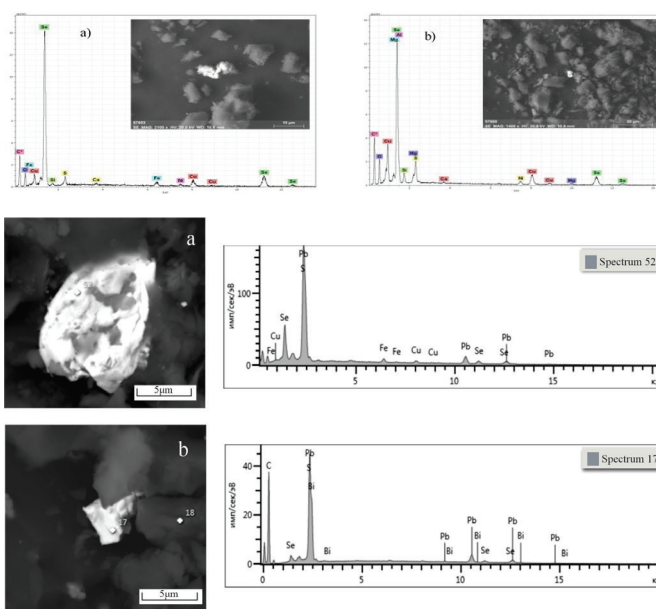


Сурет 4. Сазды қабат сынамасындағы клаусталит.

Figure 4. Clausthalite in clay layer sample.

Рис. 4. Клаусталит в образце глинистого слоя.

Селеннің әлемдік тас көмірлердегі орташа мәні (1.0 ± 0.15 г/т), Шұбаркөл кен орнының үгітілген көмірлерінде селеннің концентрациясы кларктық мәнге жуық деңгейде байқалады. Ол көбінесе мыс пен темір сульфидтерімен немесе алюмосиликатты шоғырлармен бірге кездеседі (6-сурет a, b). Селеннің негізгі минералдық формасы – тиманнит, ол ұсақ түйіршіктер түрінде таралған.

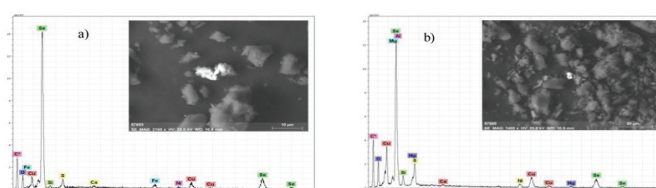


Сурет 5. Se түйірлері бар галенит, (a) – сазды қабат сынамасы, (b) – көмір мен сазды қабат жанасу аймағының сынамасы.

Figure 5. Galena with Se grains, (a) – sample of the clay layer, (b) – sample of the coal-clay layer contact zone.

Рис. 5. Галенит с зернами Se, (a) – проба глинистого слоя, (b) – проба зоны контакта угольного и глинистого слоя.

Скандий бүгінде әлемдік экономикадағы маңызы қарқынды артып келе жатқан аса маңызды стратегиялық металдардың қатарына жатады. Осыған байланысты ол зерттелген сынамалар құрамынан іздестіріліп, арнайы қарастырылды. Қарағанды көмір бассейнінен алынған үлгілерге жүргізілген зерттеулер нәтижесінде скандийдің дербес минералдық нысандары анықталған жоқ.



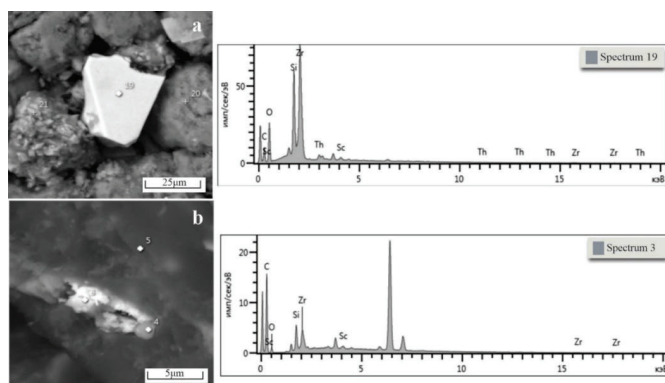
Сурет 6. (a) – Se қосындылары бар мыс сульфидтері, (b) – тиманнит (*HgSe*) қосындылары бар алюмосиликаттар.

Figure 6. (a) – copper sulfides with Se inclusions, (b) – aluminosilicates with thymannite (*HgSe*) inclusions.

Рис. 6. (a) – сульфиды меди с включениями Se, (b) – алюмосиликаты с включениями тиманнита (*HgSe*).

Se-тың бірлік мөлшердегі қосындылары ($< 1\%$) көмір үлгілеріндегі циркон дәндерінен (7a-сурет), сондай-ақ көмір мен сазды қабаттардың жанасу аймақтарынан алынған үлгілерден (7б-сурет) табылды. [6] деректеріне сәйкес, көмірде дербес минералдардың болмауы және сонымен қатар скандийдің салыстырмалы түрде жоғары мөлшерде кездесуі оның органикалық ассоциациямен байланысты

екенін көрсетеді және бассейн көміріндегі скандийдің жиналуында сутектік (водородный) механизмнің рөл атқаруы мүмкін екенін болжайды.

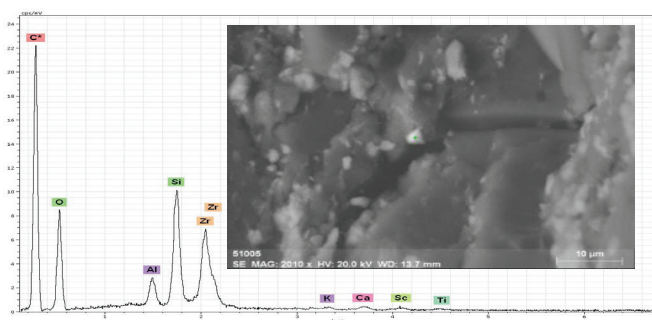


Сурет 7. Th және Sc (a) қоспалары бар көмір сынамадағы циркон түйірі және (b) Sc қоспалары бар көмір мен саз қабаты арасындағы жанасу аймағы сынамасы (КН-53).

Figure 7. Zircon grain with Th and Sc impurities (a) in the coal sample and (b) in the contact zone between the coal layer and the clay with Sc impurities (КН-53).

Рис. 7. Зерно циркона с примесями Th и Sc (a) в угольной пробе и (b) пробе зоны контакта между слоем угля и глины с примесями Sc (КН-53).

Алынған сканерлеуші микроскопия нәтижелері бойынша Шұбаркөл кен орнында күрделі құрамды *Si-Al-Ca-Zr-Sc-Ti-O* (~0,66% Sc) анықталмаған скандийлі минералды бөлшек (8-сурет) табылған. Бұл материалдар жекелеген аутигенді минералды түзілімдер болып табылады, бірақ олардың үлесі өте аз және үлгілерде анықталған Sc жалпы мөлшерін қамтымайды. Көмірлерде оның Zr аналогы бар күрделі құрамды (*Al-Si-Zr-K-Ca-Sc-Ti*) минералды қоспалар бөлініп алынды, сондай-ақ цирконий мен гафнийдің негізгі концентраторлары ретінде қарастырылуы мүмкін ұсақ циркон дәндері мен титан оксидтерінің болуы анықталды.



Сурет 8. Идентификацияланбаған скандийлі минерал.

Figure 8. Unidentified scandium-bearing mineral.

Рис. 8. Неидентифицированный скандийносный минерал.

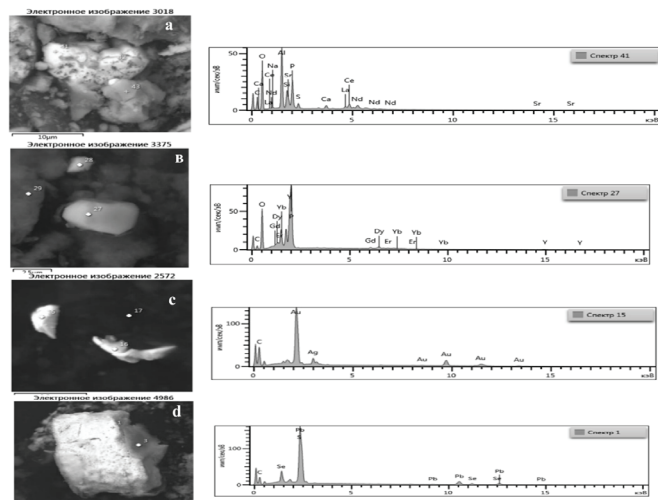
Көмірде скандийдің жинақталу шарттары жеткілікті зерттелмеген: колда бар деректер фрагментті және қа-

рама-қайшы, оның орналасу формалары мен шоғырлану механизмдері туралы бірыңғай түсінік жоқ. Скандийдің жинақталуы негізінен көмірдің минералды құрамдас бөлігінің маңызды рөлімен сингенетикалық сипатта болады, бұл көмір мен күлдің Sc құрамы арасындағы тікелей корреляциямен расталады. Сонымен қатар, күлі төмен байытылған көмірде органикалық байланысқан скандийдің үлесі артады, ал күлі жоғары көмірде кластогендік форма басым болады. Скандийдің эпигенетикалық жинақталуы шектеулі және негізінен шығыс бөлігінің тотыққан көмірімен шектелген, бұл көмір қабаттарының атмосфералық және тотығу процестерімен байланысты [7]. k_7 қабатының көмірі мен сазды қабаттарында пириттің көп мөлшері негізінен массивті және қаңқа тәрізді дәндер мен пиритизацияланған ұлпалар түрінде кездеседі. Қарағанды көмір бассейнінің көмірінде кездесетін S жоғары мөлшері бактериялардың белсенділігінің нәтижесі болуы мүмкін, оған теңіз суындағы сульфат иондарының көбеюі әсер етеді [8]. Сингенетикалық пириттің болуы көбінесе теңіз суының көмір қабаттарына еніп, сульфидті минералдар түзу үшін күкірт көзі ретінде қызмет ететіндігін көрсетеді [9]. Бұл бассейнді палеогеографиясын анықтауға байланысты бұрынғы зерттеулермен [10] расталады. Бұл зерттеулер аумақтағы регрессивті және трансгрессивті жағдайлар олигоценге дейін бір-бірін алмастырды деп мәлімдейді.

Көмір түзілу кезеңінде (визей жасы) бассейн аумағында теңіз деңгейінің ауытқуы басым болды. [11] сәйкес k_7 қабатынан алынған көмір үлгілері үшін $> 1,0$ болатын *Sr/Ba* қатынасы (орташа ~2,38) негізгі шөгінділердің пайда болуы мен байытуындағы теңіз суының әсерін көрсетеді.

Көмірдің минералдану дәрежесін анықтайтын негізгі көрсеткіш – бұл күлділік болып табылады, ал ол өз ішінде ішкі күлділік (яғни көмірдің табиғи күлі) және сыртқы күлділік (бос жыныстардың араласуынан) болып бөлінеді [12]. Күлдің құрамы күрделі әрі әр түрлі генетикалық типке жататын минералды қоспалардан тұрады. Қарағанды көмір бассейнінің көмірінің күлділігі орташа есеппен 10–40 %, ал Шұбаркөл кен орнының күлділігі 4–20% арасында ауытқиды. Күлділігі жоғары болған сайын әр түрлі минералды қоспалардың көбірек шоғырлануы заңдылық болып табылады.

СЭМ талдауы Шұбаркөл кен орнынан және Қарағанды бассейнінің көмірден, сазды жыныстардан және олардың жанасу аймақтарының күлінен алынған сынамаларға жасалынды. Сынамалау барысында күлдің құрамынан биогенді генетикалық типке жататын Co түйіршіктері көбінесе W және Ni қосылыстарымен қатар жүретіні байқалды. Келесі сорбциялық типке жататын минералдардан гематит, кальцит және алюминий қосылыстары, конкрециялық типтен сидерит, пирит, каолинит минералдары, терригенді класқа жататын кварц, циркон сондай-ақ мөлшері шөгінді жыныстар кларкінен асып түсетін СЖЭ (*Ce, La, Nd, Y, Dy, Er, Yb*) Sr қоспасымен көп кездесетіні байқалды. Тағы бір тип инфильтрациялық минералдардан сфалерит, галенит, арсенопирит және басқа да метал сульфидтері сонымен қатар бағалы металдар қатарына жататын алтын мен күміс түйірлері (*AuAg* электрум?) анықталды (9 сурет).



Сурет 9. Көмір және сазды қабаттар күлінен алынған сынамалардың спектрограммалары, мұндағы (а) каолинит СЖЭ қоспаларымен, (б) Y (Dy,Gd,Er)PO түйіршіктері, (с) электрум (AuAg), (д) галенит Se қосындыларымен.

Figure 9. Spectrograms of coal ash and clay shale ash samples, where (a) kaolinite with REE impurities, (b) Y (Dy,Gd,Er)PO granules, (c) electrum (AuAg), (d) galena with Se impurity.

Рис. 9. Спектрограммы проб золы углей и глинистых сланцев, где (а) – каолинит с примесями РЗЭ, (б) – гранулы Y (Dy,Gd,Er)PO, (с) – электрум (AuAg), (д) – галенит с примесью Se.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер Шұбаркөл кен орны мен Қарағанды көмір бассейні көмірлерінің, оларды сыйыстырушы жыныстар мен күлдерінің минералогиялық және геохимиялық ерекшеліктерін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері көмір мен сазды жыныстар құрамында микроэлементтер мен сирек жер элементтерінің таралуы геологиялық ортаның күрделі эволюциясымен және әртүрлі генетикалық факторлардың әсерімен қалыптасқанын көрсетті.

Көмірлер мен аргиллиттердің минералдық құрамында каолинит, кварц, пирит, сидерит, барит және циркон сияқты

минералдардың кең таралғаны анықталды. Сонымен қатар кейбір үлгілерде монацит, галенит, антимонит және титанит сияқты сирек минералдардың болуы сирек жер элементтері мен басқа да микроэлементтердің минералдық тасымалдаушылары ретінде маңызды рөл атқаратынын көрсетеді. Сканерлеуші электрондық микроскопия нәтижелері көмір мен ілеспе жыныстардағы минералдардың әртүрлі генетикалық типтерге жататынын және олардың көмір түзілу процестерімен тығыз байланысты екенін дәлелдеді.

Зерттеу барысында көмірдегі микроэлементтердің таралуына әсер ететін негізгі факторлар анықталды. Оларға терригенді материалдың түсуі, магмалық және гидротермалдық процестер, сондай-ақ теңіздік орта әсері жатады. Минералдық құрамдағы циркон, барит және басқа да магмалық генезиске ие минералдардың болуы бастапқы жыныстардың шайылуы мен тасымалдануы нәтижесінде көмір түзілу бассейндеріне түскенін көрсетеді. Сонымен қатар пириттің кең таралуы көмір түзілу кезеңінде теңіз суларының ықпалы мен бактериялық процестердің маңызды рөл атқарғанын дәлелдейді.

Көмір күлінің минералдық құрамын зерттеу нәтижелері онда әртүрлі генетикалық типке жататын минералдардың кездесетінін көрсетті. Күл құрамында каолинит, кварц, циркон, пирит, сидерит, сондай-ақ сирек жер элементтерімен байытылған фосфаттар мен металл сульфидтері анықталды. Кейбір үлгілерде алтын мен күмістің микробөлшектері болуы көмір күлінің әлеуетті минералдық шикізат ретінде маңызын арттырады.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер Орталық Қазақстан көмірлерінің геохимиялық ерекшеліктерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді және көмір мен оның күлін сирек жер элементтері мен басқа да бағалы микроэлементтердің ықтимал қосымша көзі ретінде қарастыруға негіз болады. Сонымен қатар бұл зерттеулер көмір кен орындарын тиімді пайдалану, олардың экологиялық әсерін бағалау және көмірді кешенді өңдеу технологияларын дамыту үшін маңызды ғылыми негіз қалыптастырады.

Алғыс

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің гранты (№AP26102801) негізінде жүргізілген зерттеулер қорытындысы бойынша жазылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Майкүбінгі көмір бассейнінің геохимиялық ерекшеліктері (Қазақстан) / А. Н. Копобаева [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. – 2025. – № 9. – Б. 135–150 (орыс тілінде)
2. Zhang Y., Liu X., Zhao W. Қытайдағы көмірмен байланысты Al–Ga–Li–СЖЭ кен орындары: шолу // Minerals. – 2025. – Т. 15. – № 1. – 74 (ағылшын тілінде)
3. Мұровдаг кенді ауданының (Кіші Кавказ) магмалық және метасоматикалық тау жыныстарындағы сирек жер элементтері / Н. А. Имамвердиева [және т. б.] // Геохимия. – 2020. – Т. 65. – № 2. – Б. 178–184 (орыс тілінде)
4. Григорьев Н. А. Құрлықтық жер қыртысының жоғарғы бөлігіндегі химиялық элементтердің таралуы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 383 б. (орыс тілінде)
5. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Көмірлердегі бағалы элемент-қоспалар. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 538 б. (орыс тілінде)
6. Сахалин көмір бассейнінің геохимиясы және сирек металдық әлеуеті (Сахалин аралы, Ресей) / С. И. Арбузов [және т. б.] // Көмір геологиясының халықаралық журналы. – 2023. – Т. 268. – 104197 (орыс тілінде)

7. Шұбаркөл кен орнының юра көмірлерінің минералогиясы мен геохимиясы / А. Амангелдіқызы [және т. б.] // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының хабарлары. – 2021. – Т. 5. – № 449. – Б. 23–31 (ағылшын тілінде)
8. Кейбір жоғары күкіртті үнді палеоген көмірлерінің минералогиялық және элементтік талдауы: статистикалық тәсіл / В. К. Saikia [және т. б.] // *Energy Fuels*. – 2015. – № 29. – Б. 1407–1420 (ағылшын тілінде)
9. Nayak B. Meghalaya's (India's) high-sulfur tertiary coals: mineralogical and geochemical characteristics of pyrite and pyritic matter // *Journal of the Geological Society of India*. – 2013. – Т. 81. – № 2. – Б. 203–214 (ағылшын тілінде)
10. Қарағанды көмір бассейнінің геологиясы / Бекман В. М., Сейдалинов О. А., Зинова Р. А. [және т. б.]. – Мәскеу: Недра, 1972. – 416 б. (орыс тілінде)
11. Циньшуй бассейнінің оңтүстік-шығыс бөлігіндегі көмірдің минералогиялық және геохимиялық сипаттамалары: Li және REY-дің шоғырлануы мен экономикалық құндылығына әсері / Ю. Хоу [және т. б.] // *International Journal of Coal Geology*. – 2022. – Т. 264. – 104136 (ағылшын тілінде)
12. Пашков Г. Л. Табиғи көмір күлі – сирек кездесетін элементтердің дәстүрлі емес шикізат көзі // *Соросов білім беру журналы*. – 2001. – Т. 7. – № 11. – Б. 67–72 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. *Geochemical features of the Maikuben coal basin (Kazakhstan)* / A. N. Kopobayeva et al. // *Mining Information and Analytical Bulletin*. – 2025. – No. 9. – P. 135–150 (in Russian)
2. Zhang Y., Liu X., Zhao W. Coal-Hosted Al–Ga–Li–REE Deposits in China: A Review // *Minerals*. – 2025. – Vol. 15. – No. 1. – Art. 74 (in English)
3. *Redkozemel'nye elementy v magmaticheskikh i metasomaticheskikh porodakh Murovdagskogo rudnogo raiona (Malyi Kavkaz)* [Rare Earth Elements in Magmatic and Metasomatic Rocks of the Murovdag Ore Region (Lesser Caucasus)] N. A. Imamverdiyeva et al. *Geokhimiya* [Geochemistry]. – 2020. – Vol. 65. – No. 2. – P. 178–184 (in Russian)
4. Grigorev N. A. *Raspredelenie khimicheskikh elementov v verkhnei chasti kontinental'noi kory* [Distribution of Chemical Elements in the Upper Part of the Continental Crust]. – Yekaterinburg: Ural'skoe otделение Rossiiskoi akademii nauk, 2009. – 383 p. (in Russian)
5. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Tsennye elementy-primesi v uglyakh* [Valuable Trace Elements in Coals]. – Yekaterinburg: Ural'skoe otделение Rossiiskoi akademii nauk, 2006. – 538 p. (in Russian)
6. *Geokhimiya i redkometal'nyi potentsial uglei Sakhalinskogo ugol'nogo basseina* [Geochemistry and Rare Metal Potential of Coals from the Sakhalin Coal Basin] S. I. Arbuzov et al. *Mezhdunarodnyi zhurnal geologii uglya* [International Journal of Coal Geology]. – 2023. – Vol. 268. – Article 104197 (in Russian)
7. *Mineralogy and Geochemistry of Jurassic Coals from the Shubarkol Deposit* / A. Amangeldiqyzy et al. // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. – 2021. – Vol. 5. – No. 449. – P. 23–31 (in English)
8. *Mineralogical and elemental analysis of some high-sulfur Indian Paleogene coals: A statistical approach* / B. K. Saikia et al. // *Energy Fuels*. – 2015. – No. 29. – P. 1407–1420 (in English)
9. Nayak B. *Mineral Matter and Nature of Pyrite in Some High-Sulphur Tertiary Coals of Meghalaya, North-Eastern India* // *Journal of the Geological Society of India*. – 2013. – No. 81. – P. 203–214 (in English)
10. *Geologiya Karagandinskogo ugol'nogo basseina* [Geology of the Karaganda Coal Basin] Bekman V. M., Seidalin O. A., Zinova R. A. et al. – Moscow: Nedra, 1972. – 416 p. (in Russian)
11. *Mineralogical and Geochemical Characteristics of Coal from the Southeastern Qinshui Basin: Implications for the Enrichment and Economic Value of Li and REY* / Y. Hou et al. // *International Journal of Coal Geology*. – 2022. – Vol. 264. – Article 104136 (in English)
12. Pashkov G. L. *Zoly prirodnykh uglei – netraditsionnyi syr'evoi istochnik redkikh elementov* [Ashes of Natural Coals – An Unconventional Raw Material Source for Rare Elements] // *Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal* [Soros Educational Journal]. – 2001. – Vol. 7. – No. 11. – P. 67–72 (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Геохимические особенности Майкубенского угольного бассейна (Казахстан)* / А. Н. Копобаева [и др.] // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2025. – № 9. – С. 135–150 (на русском языке)
2. Zhang Y., Liu X., Zhao W. *Угленосные месторождения Al–Ga–Li–PЗЭ в Кумае: обзор* // *Minerals*. – 2025. – Т. 15. – № 1. – Ст. 74 (на английском языке)
3. *Редкоземельные элементы в магматических и метасоматических породах муровдагского рудного района (малый Кавказ)* / Н. А. Имамвердиева [и др.] // *Геохимия*. – 2020. – Т. 65. – № 2. – С. 178–184 (на русском языке)
4. Григорьев Н. А. *Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры*. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 383 с. (на русском языке)

5. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Ценные элементы-примеси в углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 538 с. (на русском языке)
6. Геохимия и редкометалльный потенциал углей Сахалинского угольного бассейна (о. Сахалин, Россия) / С. И. Арбузов [и др.] // Международный журнал геологии угля. – 2023. – Т. 268. – Ст. 104197 (на русском языке)
7. Минералогия и геохимия юрских углей Шубаркольского месторождения / А. Амангелдіқызы [и др.] // Известия национальной академии наук Республики Казахстан. – 2021. – Т. 5. – № 449. – С. 23–31 (на английском языке)
8. Минералогический и элементный анализ некоторых высокосернистых индийских палеогеновых углей: статистический подход / В. К. Saikia [и др.] // Energy Fuels. – 2015. – № 29. – С. 1407–1420 (на английском языке)
9. Nayak B. Минеральное вещество и природа пирита в некоторых высокосернистых третичных углях Мегхалаи, Северо-Восточная Индия // Journal of the Geological Society of India. – 2013. – Т. 81. – № 2. – С. 203–214 (на английском языке)
10. Геология Карагандинского угольного бассейна / Бекман В. М., Сейдалин О. А., Зинова Р. А. [и др.]. – М.: Недра, 1972. – 416 с. (на русском языке)
11. Минералогические и геохимические характеристики угля юго-восточной части бассейна Циньшуй: влияние на обогащение и экономическую ценность Li и REY / Ю. Хоу [и др.] // International Journal of Coal Geology. – 2022. – Т. 264. – Ст. 104136 (на английском языке)
12. Пашков Г. Л. Золы природных углей – нетрадиционный сырьевой источник редких элементов // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – № 11. – С. 67–72 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Копобаева А. Н., доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті), Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), kopobayeva@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0601-9365>

Бақыт Ә., докторант «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» мамандығы бойынша техника ғылымдарының магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), aigerimb200@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0661-310X>

Амангелдіқызы А., доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті), Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), a.amangeldykyzy@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-6665-8804>

Иванов В. В., геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, микро және нано зерттеулер зертханасының меңгерушісі, Ресей Ғылым академиясының Қиыр Шығыс геологиялық институты (Владивосток қ., Ресей), d159327@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7917-9757>

Information about the authors:

Kopobayeva A. N., Ph.D, Associate Professor (Associate Professor) of the Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Bakyt A., doctoral student in the specialty «Geology and exploration of mineral deposits», Master of Technical Sciences, Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Amangeldykyzy A., Ph.D, Associate Professor (Associate Professor) of the Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Ivanov V. V., candidate of Geological and Mineralogical Sciences, leading researcher, head of the Laboratory of Micro- and Nanoresearch, Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia)

Сведения об авторах:

Копобаева А. Н., доктор Ph.D, ассоциированный профессор (доцент) кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Бақыт А., докторант по специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», магистр технических наук, Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Амангелдықызы А., доктор Ph.D, ассоциированный профессор (доцент) кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Иванов В. В., канд. геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией микро- и наноисследований, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН (г. Владивосток, Россия)