

Код МРНТИ 52.45.17

*М.Б. Барменшинова, И.Ю. Мотовилов, М.Ә. Іңкәр, Р.С. Омар
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

АҚТӨБЕ КЕН ОРНЫНДАҒЫ ҚИЫН БАЙЫТЫЛАТЫН АЛТЫН ШИКІЗАТЫН БАЙЫТУ ЖӘНЕ КЕШЕНДІ ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

Аннотация. Бұл жұмыста Жамбыл облысындағы Ақтөбе кен орнындағы қиын байытылатын алтын құрамды рудалар кешенді зерттелді. Кеннің химиялық және минералдық құрамы, алтын мен күмістің таралу формалары, гранулометриялық және физико-механикалық қасиеттері анықталды. Орташа алтын мөлшері 1,55–1,6 г/т, күміс 42–43 г/т деңгейінде. Негізгі минерал кварц (79%-ға дейін), пирит (10%-ға дейін), дала шпаты, кальцит және слюда. Фазалық талдау бос алтын үлесін 46,47 % көрсетті, қалған бөлігі сульфидтермен (37,61%) немесе жыныста майда түйіршікті (15,92%) түрінде. GRG-тест нәтижесінде центрифугалық әдіспен алтынның 35,93%-ға дейін бөлінетіні анықталды. «Ұнтақтау-центрифугалық концентрация» сұлбасы алтынның 28,74%-ын гравиконцентратқа жинақтады. Нәтижелер гравитация, флотация және циандауды біріктіретін технологиялардың негізділігін дәлелдейді.

Түйінді сөздер: алтын, күміс, химиялық талдау, минералогиялық талдау, түйіршік құрамдық талдау, физико-механикалық қасиеттер, гравитациялық байыту, ортадан тепкіш концентрация, отсадкa, гравиконцентрат.

Development of beneficiation technology and comprehensive processing of refractory gold-bearing ores of the Aktobe deposit

Abstract. This study investigated refractory gold-bearing ores from the Aktobe deposit (Zhambyl region, Kazakhstan). The chemical and mineral compositions, forms of occurrence of gold and silver, granulometric and physico-mechanical properties were determined. Average gold grade was 1.55–1.6 g/t, silver 42–43 g/t. Main minerals are quartz (up to 79%), pyrite (up to 10%), feldspar, calcite, and mica. Phase analysis showed that free gold accounts for 46.47%, while 37.61% is associated with sulfides and 15.92% finely disseminated. GRG testing demonstrated up to 35.93% gold recovery by centrifugal concentration. In the «grinding-centrifugal concentration» flow-sheet, 28.74% of gold was recovered into the gravity concentrate. The results confirm the feasibility of technologies combining gravity, flotation, and cyanidation.

Key words: gold, silver, chemical analysis, mineralogical analysis, granulometric analysis, physico-mechanical properties, gravity concentration, centrifugal concentration, jigging, gravity concentrate.

Разработка технологии обогащения и комплексной переработки упорного золотосодержащего сырья месторождения Актөбе

Аннотация. В работе проведено исследование упорных золотосодержащих руд месторождения Актөбе (Жамбылская область, Казахстан). Определены химический и минеральный состав, формы нахождения золота и серебра, гранулометрические и физико-механические свойства. Среднее содержание золота составило 1,55–1,6 г/т, серебра – 42–43 г/т. Основные минералы: кварц (до 79%), пирит (до 10%), полевой шпат, кальцит и слюда. Фазовый анализ показал, что свободное золото составляет 46,47%, остальное связано с сульфидами (37,61%) или тонковкраплено в породу (15,92%). По результатам GRG-теста центробежной концентрацией может быть извлечено до 35,93% золота. По схеме «измельчение-центробежная концентрация» выделено 28,74% золота в гравиконцентрат. Полученные результаты подтверждают обоснованность применения технологий, объединяющих гравитацию, флотацию и цианирование.

Ключевые слова: золото, серебро, химический анализ, минералогический анализ, гранулометрический анализ, физико-механические свойства, гравитационное обогащение, центробежная концентрация, отсадкa, гравиконцентрат.

Кіріспе

Қазіргі заманғы алтын өндіру өнеркәсібі минералдық шикізат сапасының төмендеуімен сипатталады: бай шөгінді және жіліндік кен орындары іс жүзінде таусылған, сондықтан барған сайын негізгі рөлді қиын байытылатын алтын құрамды кендер атқарып отыр [1–3]. Бұл кендерге алтынның майда түйіршік түрінде таралуы және оның сульфидті минералдармен (пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит) тығыз байланысы тән, бұл қарапайым циандау әдісін тиімді қолдануға мүмкіндік бермейді. Көп жағдайда металды алу коэффициенті 40–50%-дан аспайды [4].

Әлемдік тәжірибелер көрсеткендей, ең сенімді нәтижелер гравитацияны, флотацияны және концентраттарды кейінгі циандауды қамтитын аралас технологиялық сұлбаларды қолдану кезінде алынады. Гравитация бос алтынды бөліп шығаруға және кейінгі сатылардың жүктемесін азайтуға мүмкіндік береді, флотация сульфидті минералдарды шоғырландырады, ал циандау концентраттардан металл алуды қамтамасыз етеді [5, 6]. Мұндай технологиялар Австралия, Канада, Оңтүстік Африка Республикасы және Ресейде кеңінен қолданылады [7, 8].

Қазақстан үшін қиын байытылатын кендерді өңдеу мәселесі ерекше маңызға ие, себебі алтын қорының айтарлықтай бөлігі дәл осы санаттағы кендерге тиесілі. Перспективалы объектілердің қатарына 2017 жылы барланған және JORC жүйесі бойынша қоры 4,7 т алтынға бағалан-

ған Ақтөбе кені жатады. Бұл кен орны төмен алтын мөлшерімен және металдардың күрделі таралуымен сипатталады, бұл өз кезегінде аралас технологияларды әзірлеу қажеттілігін алдын ала айқындайды [9–11].

Зерттеудің мақсаты – Ақтөбе кен орнының минералдық құрамын кешенді зерттеу, алтын мен күмістің таралу формаларын анықтау және гравитациялық байытылу мүмкіндігін бағалау арқылы аралас өңдеу сұлбасын негіздеу.

Зерттеу нысаны және әдістері

Зерттеу нысаны ретінде Жамбыл облысы Мыңарал кен ауданында орналасқан Ақтөбе кен орнының қиын байытылатын алтын құрамды кені алынды. Бұл кен орны алтынға бай көріністерімен белгілі болғанымен, оның кендері қиын байытылатын санатқа жатады. Зерттелген үлгідегі алтынның орташа мөлшері 1,55–1,6 г/т, ал күмістің мөлшері шамамен 42–43 г/т құрады. Минералдық құрамы кварцтың, калийлі дала шпатының, кальцит пен слюданың басым болуымен сипатталады, ал кен минералдары пиритпен (10%-ға дейін), сфалерит және галенитпен ұсынылған. Алтынның майда түйіршік түрінде кездесуі және оның сульфидтермен тығыз байланысы кеннің қиын байытылатын сипатын анықтап, дәстүрлі әдістермен өңдеуді күрделендіреді [2].

Кеннің құрамын және қасиеттерін зерттеу үшін заманауи әдістер кешені қолданылды. Химиялық құрамы

пробирлік, химиялық және спектралдық талдау арқылы анықталды, бұл алтынның, күмістің, темірдің, күкірттің, қорғасынның, мырыштың және зиянды қоспалардың концентрациясын белгілеуге мүмкіндік берді. Минералдық құрам макрокопиялық бақылаулар, Leica DM2500 M поляризациялық микроскопындағы шлифтерді микроскопиялық зерттеу және ДРОН-3 рентгендифракциялық талдағышы көмегімен нақтыланды.

Физикалық қасиеттерді бағалау үшін электік талдау жүргізілді, пикнометриялық әдіспен тығыздық өлшенді, үйінді тығыздығы мен кеуектілігі анықталды, сондай-ақ Протодеяконов әдісі бойынша беріктігі бағаланды. Ұнтақталу индексі Бонд әдісі бойынша есептеліп, зерттелген кенді ұнтақтаудың энергия сыйымдылығын бағалауға мүмкіндік берді [7, 8].

Алтын мен күмістің фазалық талдауына ерекше көңіл бөлінді, ол металдардың бос, сульфидті және майда түйіршік түрінде таралуын көрсетті. Бұл зерттеу өңдеудің тиімді технологиясын таңдауда шешуші мәнге ие, өйткені циандауға келетін алтынның үлесін және алдын ала байыту мүмкіндігін анықтайды.

Гравитациялық байытылу мүмкіндігін зерттеу үшін GRG-тест (Gravity Recoverable Gold test) жүргізілді. Ол кенді әртүрлі түйіршік класына дейін кезең-кезеңімен ұнтақтауды және алтынды 60G жеделдетуде жұмыс істейтін виброцентрифугалық концентратор арқылы бөліп алуды қамтыды. Қосымша түрде ұнтақтау циклінде гравитациялық байыту сұлбалары сыналды: бірінші сұлба «ұнтақтау – отсадкa арқылы байыту – концентрациялық үстел» болса, екіншісі «ұнтақтау – центрифугалық концентрация» болды [5, 6]. Бұл сұлбаларды салыстыру флотация мен циандауға дейін алтынды бөлудің ең тиімді нұсқасын анықтауға мүмкіндік берді.

Осылайша, зерттеу нысаны химиялық-минералогиялық құрамы тұрғысынан да, физика-механикалық қасиеттері мен алтынның таралу формалары бойынша да жан-жақты сипатталды, ал жүргізілген технологиялық сынақтар оның гравитациялық байытылу мүмкіндігін және оны аралас өңдеу сұлбасына гравитацияны енгізу перспективаларын бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Химиялық және минералдық құрамы

Зерттелген Ақтөбе кен орнының кені алтын мөлшері бойынша кедей санатқа жатады: орташа алтын мөлшері 1,55–1,6 г/т, ал күміс мөлшері 42–43 г/т құрады. Ілеспе элементтер құрамында темір (2,14%) және күкірт (1,06%) мөлшері басым, бұл пириттің болуымен байланысты. Қорғасын мен мырыш мөлшері 0,15–0,17%, ал зиянды қоспалар – мышьяк (0,05%) пен сурьма (0,01%) өте аз мөлшерде кездеседі (1-кесте).

Кеннің минералдық құрамы 2-кестеде көрсетілгендей негізінен кварцтан (79,1%), калийлі дала шпатынан (7,2%), кальциттен (4,6%) және слюдадан (3,1%) тұрады. Кен минералдарының ішінде пирит (6%-ға дейін) басым, ал сфалерит пен галенит аз мөлшерде кездеседі. Демек, кен кварцты негізге ие және сульфидті минералдар жекелеген қосынды түрінде таралған, бұл оның қиын байытылатын сипатын айқындайды.

Кесте 1

Бастапқы кеннің химиялық құрамы

Table 1

Chemical composition of the original ore

Таблица 1

Химический состав исходной руды

Элемент	Мөлшері
Au (алтын)	1,57 г/т
Ag (күміс)	42,5 г/т
Fe (темір)	2,14%
S (күкірт)	1,06%
Pb (қорғасын)	0,15%
Zn (мырыш)	0,17%
As (мышьяк)	0,05%
Sb (сурьма)	0,01%

Кесте 2

Ақтөбе кен орнының минералдық құрамы

Table 2

Mineral composition of the Aktobe ore

Таблица 2

Минеральный состав руды месторождения Актөбе

Минерал	Формула	Мөлшері (%)
Кварц	SiO₂	79,1
Калийлі дала шпаты	KAlSi₃O₈	7,2
Кальцит	CaCO₃	4,6
Слюда	KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂	3,1
Пирит	FeS₂	6,0

Алтын мен күмістің фазалық құрамы

Фазалық талдау нәтижелері алтынның тек 46,47%-ы бос күйде екенін көрсетті. Металдың 37,61%-ы сульфидті минералдармен, негізінен пиритпен байланысқан, ал 15,92%-ы жыныстың құрамында майда түйіршік түрінде бекітілген. Күмістің таралу ерекшелігі күрделірек: 38,59% бос күйінде, 27,67% сульфидтермен байланысқан, ал шамамен 30%-ы тотығу формаларында кездеседі (3-кесте).

Бұл нәтижелер алтын мен күмістің едәуір бөлігі қиын қолжетімді түрінде екенін дәлелдейді, сондықтан тиімді тікелей циандау мүмкін емес.

Алтын мен күмістің түйіршік өлшемдері бойынша таралуы

Талдау нәтижелері ұнтақтау дәрежесі артқан сайын алтын мен күмістің мөлшері де өсетінін көрсетті. Алтынның мөлшері ірі фракцияларда 1,05–1,12 г/т деңгейінде болса, -0,074 мм класта 3,37 г/т жетті. Күміс мөлшері де осындай заңдылыққа ие: ірі фракцияларда 35–37 г/т, ал ең ұсақ класта 78,75 г/т құрады (4-кесте).

1-суретте алтын мен күмістің мөлшері ірі кластан ұсақ класқа өткен сайын жүйелі түрде өсетіні көрсетілген. Бұл ұнтақтау барысында сульфидті минералдардың ашылуымен және олардың құрамындағы майда алтынның босауымен түсіндіріледі.

Кесте 3

Алтын мен күмістің фазалық құрамы

Table 3

Phase analysis of gold and silver

Таблица 3

Фазовый анализ золота и серебра

Таралу формасы	Au (г/т)	Au үлесі (%)	Ag (г/т)	Ag үлесі (%)
Бос және ашық түзілімдерде	0,73	46,47	16,40	38,59
Сульфидтермен байланысқан	0,59	37,61	11,76	27,67
Жыныста майда түйіршік түрінде	0,25	15,92	0,99	2,33
Басқа қиын қолжетімді формалар	—	—	13,35	31,41
Барлығы	1,57	100,0	42,50	100,0

Кесте 4

Алтын мен күмістің түйіршік өлшемдері бойынша таралуы

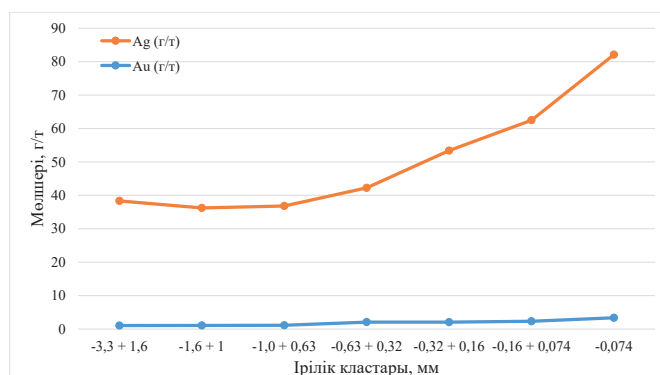
Table 4

Distribution of gold and silver by particle size classes

Таблица 4

Распределение золота и серебра по классам крупности

Класс (мм)	Au (г/т)	Ag (г/т)
-3,3 + 1,6	1,05	37,29
-1,6 + 1,0	1,07	35,17
-1,0 + 0,63	1,12	35,71
-0,63 + 0,32	2,07	40,17
-0,32 + 0,16	2,06	51,33
-0,16 + 0,074	2,33	60,17
-0,074	3,37	78,75



Сурет 1. Алтын мен күмістің ірілік кластары бойынша таралуы

Figure 1. Distribution of gold and silver by size classes

Рис. 1. Распределение золота и серебра по классам крупности

GRG-тест нәтижелері

GRG-тест гравитация әдісі алтынның тек бір бөлігін ғана тиімді бөліп ала алатынын растады. Бірінші кезеңде

(-2 мм өлемінде) 8,62% металл бөлінсе, екінші кезеңде (80% < 0,3 мм) бұл көрсеткіш 21,10%-ға дейін өсті. Ал әрі қарай -0,074 мм-ге дейін ұнтақтағанда қосымша өсім тек 6,21% болды. Жалпы алғанда, центрифугалық концентрация арқылы алтынды алу деңгейі 35,93% құрады (5-кесте).

Кесте 5

GRG тестінің нәтижелері

Table 5

GRG test results

Таблица 5

Результаты GRG-теста

Ұнтақтау сатысы	Au алынуы (%)	Ag алынуы (%)
-2 мм	8,62	2,29
80% < 0,3 мм	21,10	3,80
80% < 0,074 мм	6,21	3,86
Барлығы	35,93	9,95

Негізгі өсім 0,3 мм-ге дейін ұнтақтау кезінде болатыны, ал әрі қарай ұнтақтаудың қосымша әсері шамалы екені көрсетілген. Бұл қалған алтынның майда түйіршік түрінде болуы және гравитацияға қолжетімсіздігімен байланысты.

Гравитациялық байыту сұлбаларын салыстыру

Салыстырмалы сынақтар көрсеткендей, «ұнтақтау – отсадка арқылы байыту – концентрациялық үстел» сұлбасы 16,11% алтын алуды қамтамасыз етті, ал концентраттағы алтын мөлшері 21,35 г/т болды. Ал «ұнтақтау – центрифугалық концентрация» сұлбасы анағұрлым жоғары нәтижелер көрсетті: алтынды алу – 28,74%, концентраттағы алтын мөлшері – 36,62 г/т [4, 5] (6-кесте).

Кесте 6

Бастапқы кеннің гравитациялық байыту нәтижелері

Table 6

Results of gravity concentration of initial ore

Таблица 6

Результаты гравитационного обогащения исходной руды

Байыту сұлбасы	Au алынуы (%)	Концентраттағы Au (г/т)
Ұнтақтау – отсадка – концентрациялық үстел	16,11	21,35
Ұнтақтау – центрифугалық концентрация	28,74	36,62

Талқылау

Алынған нәтижелер Ақтөбе кенін өндеуде аралас технологияларды қолданудың қажеттілігін дәлелдейді. Алтынның жартысынан астамы сульфидтерде және жыныстың құрамында бекітілгендіктен, қарапайым циандау жоғары нәтиже бермейді. Дегенмен, бастапқы кезеңде гравитациялық әдістерді енгізу арқылы алтынның 30%-ға дейін бөліп алып, кейінгі флотация мен гидрометаллургиялық процестердің жүктемесін айтарлықтай азайтуға болады.

Сұлбаларды салыстыру нәтижесінде центрифугалық концентрацияның тиімдірек екені анықталды, себебі ол

ұсақ түйіршікті алтынды (0,03 мм-ден бастап) бөлуге мүмкіндік береді. Бұл әлемдік тәжірибеге сәйкес келеді: Knelson және Falcon концентраторлары майда алтынды бөліп алудың негізгі жабдығы болып табылады.

Осылайша, Ақтөбе кенін өңдеудің ең оңтайлы нұсқасы – «гравитация-флотация-концентраттарды циандау» аралас технологиясы. Мұндай тәсіл металдарды неғұрлым толық бөліп алуды қамтамасыз етеді және қиын байытылатын алтын құрамды кендерді өңдеудегі заманауи үрдістерге толық сәйкес келеді.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер Ақтөбе кен орнының қиын байытылатын алтын құрамды кендерінің минералдық құрамын, алтын мен күмістің таралу формаларын және гравитациялық байытудың технологиялық мүмкіндіктерін жан-жақты сипаттауға мүмкіндік берді. Анықталғандай, кеннің негізгі ерекшеліктері – алтынның төмен мөлшері (орташа 1,55–1,6 г/т) және күмістің салыстырмалы аз құрамы (42–43 г/т), минералдық құрамында кварцтың басымдығы және пириттің 10%-ға дейін болуы, бұл оның қиын байытылатын сипатын алдын ала анықтайды. Алтынның жартысынан астамы сульфидті минералдар мен жыныс құрамында бекітілгендіктен, дәстүрлі әдістермен металды тиімді бөліп алу мүмкін емес.

Фазалық талдау нәтижелері алтынның бос күйіндегі үлесі небәрі 46,47% екенін, қалғаны сульфидті минералдармен байланысты немесе жыныс түзілу минералдары ішінде майда түйіршік түрінде бекітілгенін көрсетті. Бұл деректер ара-

лас технологияларды қолданудың қажеттілігін дәлелдейді. Жүргізілген GRG-тест пен гравитациялық байыту сұлбаларын сынау нәтижелері центрифугалық концентрацияның ең тиімді әдіс екенін айқындады, ол алтынды 35,93%-ға дейін бөліп алуға мүмкіндік береді. Лабораториялық жағдайда «ұнтақтау – центрифугалық концентрация» сұлбасы алтынды 28,74% деңгейінде концентратқа шоғырландырды, бұл дәстүрлі «отсадка және концентрациялық үстел» сұлбасынан шамамен екі есе жоғары нәтиже көрсетті.

Осылайша, Ақтөбе кен орнының қиын байытылатын рудаларын қайта өңдеудің оңтайлы технологиялық сұлбасы – гравитация, флотация және алтын құрамды концентраттарды кейінгі циандау комбинациясы болып табылады. Мұндай тәсіл әлемдік тәжірибеге сәйкес келеді [1–3] және қиын байытылатын шикізаттан бағалы металдарды барынша толық әрі ұтымды алуды қамтамасыз етеді. Алынған нәтижелер болашақта өндірістік технологияны әзірлеуге, оның ішінде қосымша флотациялық операцияларды және сульфидті концентраттарды гидрометаллургиялық өңдеуді қамтуға негіз болады.

Зерттеу жұмысының практикалық маңыздылығы – ұсынылған технологиялық шешімдер Ақтөбе кен орнының минералдық ресурстарын пайдалану тиімділігін арттырып, оны қазіргі деңгейде өнеркәсіптік игерудің мүмкіндігін ғылыми тұрғыда негіздейді.

Алғыс

Зерттеу ҚР ҒЖБМ 2023/AP19680182 гранттық қаржыландыру жобасы бойынша орындалды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Adams M.D. Алтын кендерін өңдеу: жоба әзірлеу және операциялар. 2-ші басылым. Elsevier, 2016. 980 б. (ағылшын тілінде)
2. Ақтөбе кен орнындағы құрамында алтыны бар упорлы кендердің заттық құрамын зерттеу / Барменшинова М.Б. [және т. б.] // Минералды шикізатты кешенді пайдалану. 2023. Т. 331. № 4. Б. 5–11 (ағылшын тілінде)
3. Marsden J., House C. Алтынды алу химиясы. 2-ші басылым. SME, 2006. 651 б. (ағылшын тілінде).
4. Zhang D., Xu B., Li J. Қиын өңделетін алтын кендерін биошаймалау арқылы алдын ала өңдеудегі жетістіктер // Minerals Engineering. 2019. Т. 138. Б. 110–121 (ағылшын тілінде)
5. Corrins I.J. Алтын өнеркәсібінде центрифугалық сепараторларды қолдану // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017. Т. 117. № 3. Б. 201–210 (ағылшын тілінде)
6. Salter J.D., Wills B.A. Қазіргі минералдық шикізатты қайта өңдеудегі гравитациялық байыту // Developments in Mineral Processing. 2018. Т. 7. Б. 381–407 (ағылшын тілінде)
7. Мельников Н.Н., Пугачев А.И. Алтын кендерін қайта өңдеу технологиясы: М.: Недра, 2004. 412 б. (орыс тілінде)
8. Ковалев В.А., Федоров К.Н. Қиын өңделетін алтын кенттерін қайта өңдеудің заманауи тәсілдері // Тау журналы. 2019. № 8. Б. 45–52 (орыс тілінде)
9. Жунусов Б.А., Капасов Е.К. Қазақстандағы қиын өңделетін алтын кендерін байытудың біріктірілген әдістері // ҚМТУ хабаршысы. 2020. № 2 (47). Б. 77–85 (орыс тілінде)
10. Бектуров А.А., Сағындыков С.А. Мынарал кен алаңының қиын өңделетін алтын кендерін қайта өңдеудің перспективалары // Минералды шикізатты кешенді пайдалану. 2021. № 3. Б. 14–23 (орыс тілінде)
11. Nurpeissova A., Bazarbayeva A., Yessimova G. Қазақстанда қиын өңделетін алтын кендерін өңдеудің инновациялық технологиялары // E3S Web of Conferences. 2021. Т. 174. Мақ. 02021 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Adams M.D. *Gold Ore Processing: Project Development and Operations*. 2nd ed. Elsevier, 2016. 980 p. (in English)
2. Study of the material composition of refractory gold-bearing ore from the Aktobe deposit / Barmenshinova M. [et al.] // *Complex Use of Mineral Resources*. 2023. V. 331. No. 4. 5–11 pp. (in English)
3. Marsden J., House C. *The Chemistry of Gold Extraction*. 2nd ed. SME, 2006. 651 p. (in English)
4. Zhang D., Xu B., Li J. Advances in Pretreatment of Refractory Gold Ores by Bioleaching // *Minerals Engineering*. 2019. V. 138. 110–121 pp. (in English)
5. Corrins I.J. Application of Centrifugal Separators in the Gold Industry // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017. V. 117. No. 3. 201–210 pp. (in English)
6. Salter J.D., Wills B.A. Gravity Concentration in Modern Mineral Processing // *Developments in Mineral Processing*. 2018. V. 7. 381–407 pp. (in English)
7. Melnikov N.N., Pugachev A.I. *Tekhnologiya pererabotki zolotonosnykh rud [Technology of Processing Gold-Bearing Ores]*. Moscow: Nedra, 2004. 412 p. (in Russian)
8. Kovalev V.A., Fedorov K.N. *Sovremennye podkhody k pererabotke upornykh zolotosoderzhashchikh rud [Modern approaches to processing refractory gold ores]*, *Gornyi Zhurnal [Mining Magazine]*. 2019. No. 8. 45–52 pp. (in Russian)
9. Zhunusov B.A., Kapasov E.K. *Kombinirovannye metody obogashcheniya upornykh zolotosoderzhashchikh rud Kazakhstana [Combined methods of beneficiation of refractory gold ores of Kazakhstan]*, *Vestnik KGTU [Bulletin of KGTU]*. 2020. No. 2 (47). 77–85 pp. (in Russian)
10. Bekturov A.A., Sagyndikov S.A. *Perspektivy pererabotki upornykh zolotosoderzhashchikh rud Mynaral'skogo rudnogo polya [Prospects for processing refractory gold ores of the Mynaral ore field]*, *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'ya [Complex Use of Mineral Resources]*. 2021. No. 3. 14–23 pp. (in Russian)
11. Nurpeissova A., Bazarbayeva A., Yessimova G. Innovative Technologies for Processing Refractory Gold Ores in Kazakhstan // *E3S Web of Conferences*. 2021. V. 174. Art. 02021 (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Adams M.D. *Переработка золотых руд: разработка проектов и операции*. 2-е изд. Elsevier, 2016. 980 с. (на английском языке)
2. Исследование вещественного состава упорных золотосодержащих руд месторождения Актобе / Барменшинова М.Б. [и др.] // *Комплексное использование минерального сырья*. 2023. Т. 331. № 4. С. 5–11 (на английском языке)
3. Marsden J., House C. *Химия извлечения золота*. 2-е изд. SME, 2006. 651 с. (на английском языке)
4. Zhang D., Xu B., Li J. Достижения в предварительной обработке упорных золотых руд методом биовыщелачивания // *Minerals Engineering*. 2019. Т. 138. С. 110–121 (на английском языке)
5. Corrins I.J. Применение центробежных сепараторов в золотодобывающей промышленности // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017. Т. 117. № 3. С. 201–210 (на английском языке)
6. Salter J.D., Wills B.A. Гравитационное обогащение в современной переработке минерального сырья // *Developments in Mineral Processing*. 2018. Т. 7. С. 381–407 (на английском языке)
7. Мельников Н.Н., Пугачев А.И. *Технология переработки золотоносных руд*. М.: Недра, 2004. 412 с. (на русском языке)
8. Ковалев В.А., Федоров К.Н. Современные подходы к переработке упорных золотосодержащих руд // *Горный журнал*. 2019. № 8. С. 45–52 (на русском языке)
9. Жунусов Б.А., Капасов Е.К. Комбинированные методы обогащения упорных золотосодержащих руд Казахстана // *Вестник КГТУ*. 2020. № 2 (47). С. 77–85 (на русском языке)
10. Бектуров А.А., Сагындыков С.А. Перспективы переработки упорных золотосодержащих руд Мынаральского рудного поля // *Комплексное использование минерального сырья*. 2021. № 3. С. 14–23 (на русском языке)
11. Nurpeissova A., Bazarbayeva A., Yessimova G. Инновационные технологии переработки упорных золотосодержащих руд в Казахстане // *E3S Web of Conferences*. 2021. Т. 174. С. 02021 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Барменшинова М.Б., т. ғ. к., қауымдастырылған профессор, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан), m.barmenshinova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0534-2387>

Мотовилов И.Ю., Ph.D докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан), i.motovilov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0716-402X>

Іңкар М.Ә., Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан), m.ingkar@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-7304-9326>

Омар Р.С., техника ғылымдарының магистрі, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының инженері (Алматы қ., Қазақстан), r.omar@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-3269-7549>

Information about the authors:

Barmenshinova M.B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and mineral processing, Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan).

Motovilov I.Y., Doctor Ph.D, Associate Professor at the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan).

Ingkar M.A., doctoral student at the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan).

Omar R.S., Master of Technical Sciences, Engineer of the Department of Metallurgy and mineral processing, Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Барменшинова М.Б., к. т. н., ассоциированный профессор, заведующий кафедрой «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Казахского национального исследовательского университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Мотовилов И.Ю., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Казахского национального исследовательского университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Инкар М.А., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Казахского национального исследовательского университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Омар Р.С., магистр технических наук, инженер кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Казахского национального исследовательского университета им. К.И. Сатпаева (Алматы, Казахстан)

CENTRAL ASIA PLAST WORLD

17-18-19 МАРТА | 2026

200+ участников из **20+** стран

Национальные стенды:



Австрия



Германия



Италия



Турция



Китай

**18-я Международная Выставка
Индустрии Пластмасс,
Полимеров и Каучука**

IN COOPERATION WITH



MEMBER OF



Получить пропуск:



+7 (707) 611 81 04

КАЗАХСТАН, АЛМАТЫ, ВЦ АТАКЕНТ



info@plastworld.kz



[plastworld.kz](https://www.instagram.com/plastworld.kz)



www.plastworld.kz