

Код МРНТИ 52.45.17

Г.Е. Аскарова, *К.К. Мамырбаева, М.Р. Шаутинов, А.Б. Бегалинов
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

ҚИЫН БАЙЫТЫЛАТЫН АЛТЫН ҚҰРАМДЫ КЕНДІ САТЫЛЫ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУДЫ ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Зерттеу мақсаты болып Васильков алтынқұрамды кенін тиімді гравитациялық байыту сұлбасын жасау болып табылды. Физика-химиялық талдаулармен алтынның мөлшері 3,2 г/т, оның 1,81 г/т кен құрамында сап алтын түрінде, қалғандары арсенопирит, пиритпен және аз мөлшерде бос минералдармен байланысқан күйлерінде кездесетіндігі анықталды. Дисперстік талдау нәтижелері бойынша алтын негізінен ірі және өте ұсақ кластарда таралғаны, сәйкесінше 41,70 және 27,08% құрайтындығы анықталды. Рационалды құрамды есептеу нәтижесінде -40+20, -20+10 және -10+5 мм ірілік кластары үшін гравитациялық байыту индекстері есептелді: 0,62; 0,66; 0,70; 0,06. Үш сатылы гравитациялық байыту сұлбасымен алтынқұрамды кенді байыту нәтижесінде алтынның жалпы концентраттағы шығымы 7,04%, бөліп алу дәрежесі 49,19% болатын концентрат алынды.

Түйінді сөздер: Васильков алтынқұрамды кені, гравитациялық байыту әдісі, алтын, сап алтын, гидравликалық ортадан тепкіш концентратор.

Study of stepwise gravity beneficiation of refractory old ore

Abstract. The purpose of the research was the intensification and development of the gravity enrichment scheme of the Vasilkov gold-bearing ore using a hydraulic concentrator. Physico-chemical research has established that the amount of gold in the ore sample is 3.2 g/t, of which 1.81 g/t of ore is in the form of fine-grained free gold, the rest – in the form of associated with arsenopyrite, pyrite and an insignificant amount – a bare rock with minerals. According to the results of the dispersion analysis, it was established that gold is mainly distributed in large and very small fractions, in the amount of 41.70 and 27.08%, respectively. The calculated enrichment index for size classes -40+20, -20+10 and -10+5 mm is equal to: 0.62; 0.66; 0.70; 0.06. As a result of the three-stage gravity enrichment scheme, the concentrate was obtained with a total yield of gold in the concentrate of 7.04%, and the degree of extraction was 49.19%.

Key words: Vasilkov gold mine, gravity beneficiation method, gold, fine gold, hydraulic centrifugal concentrator.

Исследование ступенчатого гравитационного обогащения упорной золотосодержащей руды

Аннотация. Целью исследования явилась интенсификация и разработка гравитационной схемы обогащения Васильковской золотосодержащей руды с использованием гидроконцентратора. Физико-химическими исследованиями установлено, что количество золота в пробе руд составляет 3,2 г/т, из них 1,81 г/т руды находится в виде мелкозернистого свободного золота, остальное – в связанном виде с арсенопиритом, пиритом и незначительное количество – с минералами пустой породы. По результатам дисперсионного анализа установлено, что золото преимущественно распределено в крупных и в очень мелких фракциях, в количестве 41,70 и 27,08% соответственно. Рассчитаны индексы обогащения для классов размера -40+20, -20+10 и -10+5 мм и они равны соответственно: 0,62; 0,66; 0,70; 0,06. В результате трехстадийной гравитационной схемы обогащения получен концентрат с общим выходом золота в концентрат 7,04%, со степенью извлечения 49,19%.

Ключевые слова: золотосодержащая Васильковская руда, гравитационный способ обогащения, золото, свободное золото, центробежный гидроконцентратор.

Кіріспе

Алтын – физика-химиялық қасиеттері ерекше асыл металдардың бірі және электроника, медицина, машина жасау және т.б. салаларда кенінен қолданылады. Алтынның әлемде және елімізде экономикалық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін мемлекеттің валюталық қор ретінде алатын маңызы өте зор.

Қазіргі кездегі отандық металлургия саласының басым мәселелерінің бірі – алтын өндірісін жылына 70 т дейін жоғарылату көзделіп отыр [1]. Елімізде алтынның қоры көп болғанымен кеннің жылдан жылға қарай бай кендердің сарқылуда. Осы мәселені шешу үшін ең алдымен алтынның минералдық шикізат базасын нығайту болып табылады.

Васильков кенорны Қазақстандағы ең ірі алтын кенорындарының бірі, ол Көкшетау қаласынан солтүстік-батысқа қарай 17 км жерде орналасқан, кендегі металдың орташа мөлшері 2,8 г/т, дәлелденген алтын қоры 370 тоннаны құрайды. Осы күнге дейін оның шамамен 10-15% кен қоры игерілген. Осы алтынқұрамды кен денесінің қалыптасу механизмі, таралу тереңдігі, минералды құрамдары және т.б. бірқалыпты емес, сондықтан әруақытта кеннің физика-химиялық құрамын зерттеу және сәйкес байытылу сұлбасын таңдау өзекті мәселе болып табылады [2, 3].

Кедей қиын байытылатын алтынқұрамды кенде алтын негізінен сап алтын түрінде және әр түрлі пішіндерде – түйіршіктер, қабықшалар, пластинкалар, дендриттер және т.б. түрінде кездеседі. Алтынның біраз бөлігі кеннің құрамында әдетте «алтын тасымалдаушы минералдар» деп аталатын пирит пен арсенопиритпен бірге, сонымен қатар

басқа да сульфидті минералдармен байланысқан түрде кездеседі [4, 5].

Алтынды өңдеу технологиясының қайсысы болмасын кен алдымен ұсақталып, содан кейін гравитациялық байытуға түседі. Байыту үдерістерінің жақсы жүруі кен құрамындағы табиғи алтын мен алтынқұрамды минералдардың түзілу табиғаты мен олардың құрамына кіретін қоспа элементтердің түрлеріне, кендегі минералдардың өзара байланысу сипаттамаларына байланысты. Бос алтын жұмсақ және оңай ұнтақталмайды, сондықтан ол жеткілікті ұсақталғанша ұнтақтау циклі арқылы 50-100 рет өтуі мүмкін. Ұнтақтау контурында жиналған бос алтынның тығыздығы бос кен минералдарымен салыстырғанда жоғары болады, сол себептен оны гравитациялық байытумен бөліп алуға мүмкін болады [5, 6]. Дегенмен гравитациялық байытудың өнімділігі көптеген факторлармен қатар байытуға түсетін алтын бөлшектерінің морфологиясына (пішініне) қатты тәуелді. Ол негізінен гравитациялық байытуға дейін жүргізілетін кенді бөлшектеу ұсақтау қондырғыларының түрлеріне, олардың қандай күшпен кенді ұсақтауына, ұсақтау сатысына да байланысты. Сондықтан гравитациялық байыту алдында қолданылатын ұсақтау бөлшектеу қондырғылары, сатылары мұқият ескерілуі тиіс [7, 8].

Гравитациялық байытуды жүргізуде қазіргі кезде бірнеше қондырғылар – Кнелсон, Фалькон және т.б. қолданылады [9, 10, 11]. Бірақ мұндай қондырғылар ұзақ жұмыс жасаған кезде негізгі техникалық мәселелердің бірі – орталықтан тепкіш күштердің әсерінен алтынды ғана емес, сонымен қатар басқа минералдар мен тау жыныстарының

бөлшектерін де тұндыруында. Ешқандай әрекет жасалмайтын болса, қондырғының конусындағы рифляның арасы тез таспен толып, дерлік тегіс болады және ауыр алтын минералының жиналу процесі тоқтайды.

Зерттеулер көрсеткендей, зауыттарда аталған қондырғылармен, яғни ауырлық күшімен байыту кезінде болжанған алтынның кендегі 35-85% бөлігі бөліп алынып, қалған бөлігі қалдықта кетеді екен. Сол үшін арнайы конструкциясы жақсартылған гидроконцентраторларды пайдаланумен байыту жүргізу маңызды мәселе болып табылады. Осы себепке байланысты алтынқұрамды кеннің байыту процесін, кеннің физика-химиялық құрамын мұқият талдау, сондай-ақ минералдарды ашу үшін қажетті ұсақтау дәрежесін дұрыс таңдау, өте ұсақ алтынды барынша жоғары дәрежеде бөліп алу сұлбасын конструкциясы жетілдірілген концентраторды қолданумен жүргізу алтын өндірісіндегі аса маңызды мәселе болып табылады.

Зерттеу жұмысының мақсаты болып Васильков қиынбайытылатын алтынқұрамды кенін гравитациялық байытудың қарқындылығын арттыру болып табылды.

Зерттеу әдістемелері мен материалдары

Зерттеу объектісі болып алтынқұрамды Васильков кен орнының сынамалары табылды.

Зерттеулерді жүргізу үшін кен үлгілері стандартты әдістер бойынша алдымен ұсақталды және орташа сынама алынды. Кен сынамасының массасы 12 кг болды.

Кеннің элементтік, фазалық және минералогиялық құрамын анықтау үшін келесідей физика-химиялық зерттеу әдістері қолданылды: рентгенфлуоресценциялық, рентгендифракциялық, микроскопиялық және химиялық. Рентгенфлуоресценциялық талдау әдісі SciAps X-50 аппаратымен, рентгендифракциялық талдау Pert MPDPRO (PANalytical) қондырғысымен, микроскопиялық талдау – Axio Score.A1 қондырғысымен жүргізілді.

Кен үлгілерінің гранулометриялық құрамы седиментациялық талдау әдісімен анықталды. Седиментациялық талдауда сұйық орта ретінде су алынды. Ұсақталған фракциялардағы алтын мен негізгі элементтердің нақты құрамын білу үшін рационалды құрам есептелді, кен массасы 100 г болды. Әр фракциядағы алтынның мөлшері химиялық талдаумен анықталды. Кенді байыту гравитациялық әдіспен, 1-суреттегі сұлба бойынша жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Қиын байытылатын алтынқұрамды кеннен алтынды толығымен бөліп алу әдісін таңдау үшін алдымен кеннің сапалық және сандық талдауларының мәні негізгі көрсеткіштер болып табылады. Зерттеуде алдымен рентгенфлуоресценциялық және химиялық талдаулар көмегімен алдымен Васильков алтынқұрамды кеннің химиялық құрамы анықталды (1-кесте).

Рентгендифракциялық талдау нәтижесінде кеннің негізгі минералдары болып арсенопирит, пирит, пирротин, өте аз мөлшерде халькопирит, сфалерит, галенит, сфалерит, висмутин және т.б. бар екендігі табылды. Минералогиялық талдау бойынша Васильков кеноры үлгісінде сап алтын, сонымен қатар пирит, арсенопирит, аз мөлшерде халькопирит және висмутин, сондай-ақ мышьякпен бірге

байланысқан түрде кездесетіндігі анықталды. Алтынның негізгі массасы ұсақдисперсті, пішіндері дұрыс емес, алтын бөлшектерінің беті бос минералдармен жабылған. Мұндай «алтынтасушы» минералдардың болуы кеннің қиын байытылатын түріне жататындығын анықтайтын факторлар болып табылады [3, 4].

Кесте 1

Васильков алтынқұрамды кеннің химиялық құрамы

Table 1

Chemical composition of Vasilkov gold ore

Таблица 1

Химический состав Васильковской золотосодержащей руды

Элемент, косылыс атауы	Химиялық формуласы, символы	Бағалы заттың үлесі, %
Кремний оксиді	SiO_2	64,62
Алюминий оксиді	Al_2O_3	12,40
Кальций оксиді	CaO	4,20
Магний оксиді	MgO	3,43
Темір жалпы	$Fe_{жал}$	4,70
Күкірт жалпы	$S_{жал}$	1,22
Сульфидті күкірт	$S_{сульфид}$	1,18
Титан оксиді	TiO_2	0,43
Мыс	Cu	0,24
Қорғасын	Pb	0,05
Мырыш	Zn	0,01
Мышьяк	As	2,22
Алтын, г/т	Au	3,20
Күміс г/т	Ag	2,10

Алтынқұрамды кеннің химиялық талдауы көрсеткендей, сынамалардағы алтынның мөлшері оншалықты жоғары емес, небары 3,2 г/т тең болды. Сынаманың басым көп бөлігі кварц болып табылды және оның мөлшері 64,62%, ал алюминий оксидінің мөлшері шамамен 12.40% құрады.

Минералогиялық талдауға сәйкес алтынқұрамды кен сульфидті минералданған, орташа гранодиориттер құрамды болып табылды.

Кен сынамаларындағы алтынның кендегі кездесетін мөлшерін дәл анықтау үшін рационалды құрам есептелді. Нәтижелер 2-кестеде келтірілген.

Кенді рационалды талдау нәтижесі бойынша алтынның басым бөлігі, яғни 68,75% мөлшері бос күйінде (1,8 г/т), шамамен бестен бір бөлігі арсенопиритпен, 21.87% – 2,1 г/т, он бестен бір бөлігі пиритпен (6,67 %, 0,64 г/т) ал қалғаны - тау жыныстары минералдарымен (2,71 % – 0,26 г/т) байланысқан түрде кездесетіндігі анықталды.

Ұсатылған кен сынамаларындағы алтынның әр ірілік класындағы таралу мөлшерін анықтау үшін химиялық (дисперсті) талдау жүргізілді. Нәтижелер 3-кестеде келтірілген.

Кесте 2
Кендегі алтынның рационалды құрамы

Rational composition of gold in ore

Рациональный состав золота в руде

Алтынның минералдармен бірлесу нысаны	Бағалы заттың үлесі, г/т	Таралуы, %
Сап алтын	1,81	68,75
Сульфидтер (арсенопиритпен) бірге	2,11	21,87
Сульфидтермен (пиритпен) байланысқан түрі	0,64	6,67
Тау жыныстарымен (кварц, доломит және т.б.) байланысқан түрі	0,26	2,71
Барлығы	3,20	100,00

Кесте 3

Әр түрлі класс бойынша алтынның таралуын дисперсиялық талдау нәтижелері

Results of variance analysis of gold distribution by class

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа распределения золота по классам

Классы, мкм	Шығым, %	Алтынның, бағалы заттың құрамы, г/т	Таралуы, %
+60	24,63	1,80	41,70
-60+40	19,18	1,10	19,85
-40+20	18,60	0,065	11,37
-20+0	37,59	0,50	27,08
Барлығы	100,00	3,20	100,00

Кен сынамасындағы алтынның дисперстік талдау нәтижелері бойынша алтын негізінен ірі (41,70%) және өте ұсақ кластарда (27,08%) көп таралғандығын көрсетті. Бұл нәтижелер бойынша кенді байыту үшін гравитациялық байыту әдісін қолдануға жарамды екендігі нақтыланды. Осы мақсатта әрі қарай кеннің фракциялық талдауын келесі мақсаттарды, яғни біріншісі – кенді алдын ала байыту мүмкіндігін анықтау, екіншісі – кенді гравитациялық байытуда алынатын технологиялық көрсеткіштерге болжам жасау үшін жүргізілді. Васильков кенінің фракциялық талдау нәтижелері 4 – кестеде келтірілген.

Талдау негізінде -40+20, -20+10 және -10+5 мм ірілік классы үшін гравитациялық байыту процесін қолдану мүмкіндігі болжанды. Ірілік классы -40+20; -20+10; -10+5; -40+5 мм фракциялар үшін гравитациялық байыту индекстері есептелді және олар сәйкесінше келесілерге

тең болды: 0,62; 0,66; 0,70; 0,06. Алынған нәтижелер байытудың гравитациялық индексі 0.6-0.7 аралығында болатындығы анықталды.

Осылайша, технологиялық балансты құруға қажетті негізгі көрсеткіштер болып келесілер табылды және оларға талдаулар жасалды: алтынның бастапқы үлгідегі мөлшері, кен үлгісінің гранулометриялық құрамы және асыл металдың фракциялар бойынша таралуы, барлық сатылардағы концентрат пен қалдықтардың құрамы және шығым мөлшерлері.

Зерттеулер барысында алтынқұрамды кенді байытудың келесідей технологиялық сұлбасы әзірленіп, сынақтар жүргізілді (1-сурет).

Бұл сұлба бойынша ең алдымен массасы 12 кг, 3,2 г/т алтынқұрамды кен сынамасы бірінші ұсату сатысына түседі. Бұл сатыда кен жақты ұсатқышпен -2100+300 мм ірілікке дейін, әрі қарай екінші ұсату сатысында кен жақты ұсатқышпен -300+150 мм дейін ұсатылады. Үшінші сатыда үлгілердің ірілігі валкалы ұсатқыштар көмегімен -150+40 мм дейін жеткізілді. Осы үш сатыдан кейін кеннің -40+0 мм дейінгі кен диірменге ұнтақтауға жіберіледі. Ұнтақтаудан шыққан кен бірінші гравитациялық байыту сатысында, отсадкалау машинасында және -5+0 класты кен винтті сепараторда байытылды, тазалау үрдісі ретінде концентрациялау столында байыту жүргізілді. Алынған концентраттағы алтынның шығымы 2,11%, бағалы заттың пайыздық үлесі 22,1 г/т, ал бөліп алу дәрежесі 14,57% тең болды. Осы бірінші гравитациялық байытудан кейінгі алынатын қалдықты білікті шарлы диірменге салып, 0,24 мм ірілігіне дейін ұнтақтаймыз.

Екінші гравитациялық байыту сатысы ортадан тепкіш гидроконцентраторда жүргізілді, алтынның шығымы 2,86%, асыл металдың пайыздық үлесі 20,5 г/т, бөліп алу дәрежесі 18,32% құрады. Осы сатыдан шыққан қалдық құрамындағы алтынды бөліп алу үшін шарлы диірменде 0,12 мм дейін ұнтақталып, әрі қарай байытуға жіберілді.

Үшінші гравитациялық байыту сатысы да ортадан тепкіш гидроконцентраторда жүргізілді. Байыту нәтижесінде алынған концентраттың шығымы 2,07%, асыл металдың пайыздық үлесі 25,2 г/т, ал бөліп алу дәрежесі 16,30% жетті. Осы сатыдан шыққан қалдық ары қарай флотациялық байытуға жіберіледі.

Ұсынылған технологиялық сұлба бойынша талдау нәтижелері төмендегі 5-кестеде келтірілген.

Зерттеулердің барысында Васильков алтынқұрамды кенін байытудың тиімді технологиялық сұлбасы құрастырылды, алынған көрсеткіштер бойынша флотацияға жіберілетін қалдықта небары 2,4 г/т сап алтын бар, бұл бұрынғы байыту сұлбасымен салыстырғанда әлдеқайда төмен болды, демек барлық концентраттың шығымы 7,04%, ал алтынды бөліп алу дәрежесі 49,19% көрсетеді. Бұл көрсеткіш дәстүрлі әдістермен алтынқұрамды кенді байыту көрсеткіштерінен 1,5 есеге көп.

Қорытынды

Құрамында ұсақдисперсті сап алтыны бар қиын байытылатын Васильков алтынқұрамды кені үшін гравитациялық байыту әдісін қолдану тиімді болып табылады.

Кесте 4

Васильков алтынқұрамды кеннің фракциялық құрамы

Table 4

Fractional composition of Vasilkov goldbearing ore

Таблица 4

Фракционный состав Васильковской золотосодержащей руды

Фракция тығыздығы, кг/м ³	Шығым, %	Бағалы заттың үлесі, %	Көбей- тіндісі	Жеңіл фракция			Ауыр фракция		
				Шығым, %	Бағалы заттың үлесі, %	Көбей- тіндісі	Шығым, %	Бағалы заттың үлесі, %	Көбей- тіндісі
класс -40+20 мм									
+3000	8,23	0,24	1,97	8,23	0,24	1,97	100	0,65	65
-3000+2900	3,52	0,41	1,44	11,75	0,39	4,58	91,77	0,66	60,57
-2900+2800	10,75	0,59	6,34	22,5	0,95	21,4	88,25	0,70	61,78
-2800+2700	16,50	0,55	9,07	39	0,54	21,06	77,5	0,77	59,7
-2700+2600	38,0	1,62	61,56	77	0,61	46,97	61	0,20	12,2
-2600	23,0	2,91	66,93	100,0	0,65	65	23	2,91	66,93
Барлығы	100	1,47	147,31	-	-	-	-	-	-
класс -20+10 мм									
+3000	3,99	0,24	0,96	3,99	0,24	0,98	100,0	0,69	69
-3000+2900	11,64	0,41	4,77	15,63	0,30	4,7	96,01	0,70	67,21
-2900+2800	35,30	0,59	20,83	51,93	0,53	27,52	84,37	0,75	63,28
-2800+2700	37,11	0,55	20,41	90,04	0,57	51,32	49,07	0,86	42,20
-2700+2600	8,57	1,62	13,88	95,61	0,63	60,23	11,96	1,75	20,93
-2600	3,39	2,91	9,86	100,0	0,69	69	3,39	2,03	6,88
Барлығы	100	0,65	65	-	-	-	-	-	-
класс -10+ 5мм									
+3000	6,98	0,17	1,19	6,98	0,17	1,19	100,0	0,71	71
-3000+2900	14,64	0,42	6,15	21,62	0,35	7,6	94,02	0,75	70,52
-2900+2800	26,73	0,64	17,11	48,35	0,53	25,63	78,38	0,81	63,5
-2800+2700	40,50	0,59	23,9	88,85	0,56	49,76	41,65	0,96	39,9
-2700+2600	5,45	1,31	7,14	94,3	0,60	56,58	11,15	1,97	21,96
-2600	5,70	2,60	14,82	100,0	0,71	71	5,70	2,60	14,82
Барлығы	100,0	0,71	71	-	-	-	-	-	-

Кесте 5

Қиын байытылатын Васильков алтынқұрамды кенді үшсатылы гравитациялық байыту нәтижелері

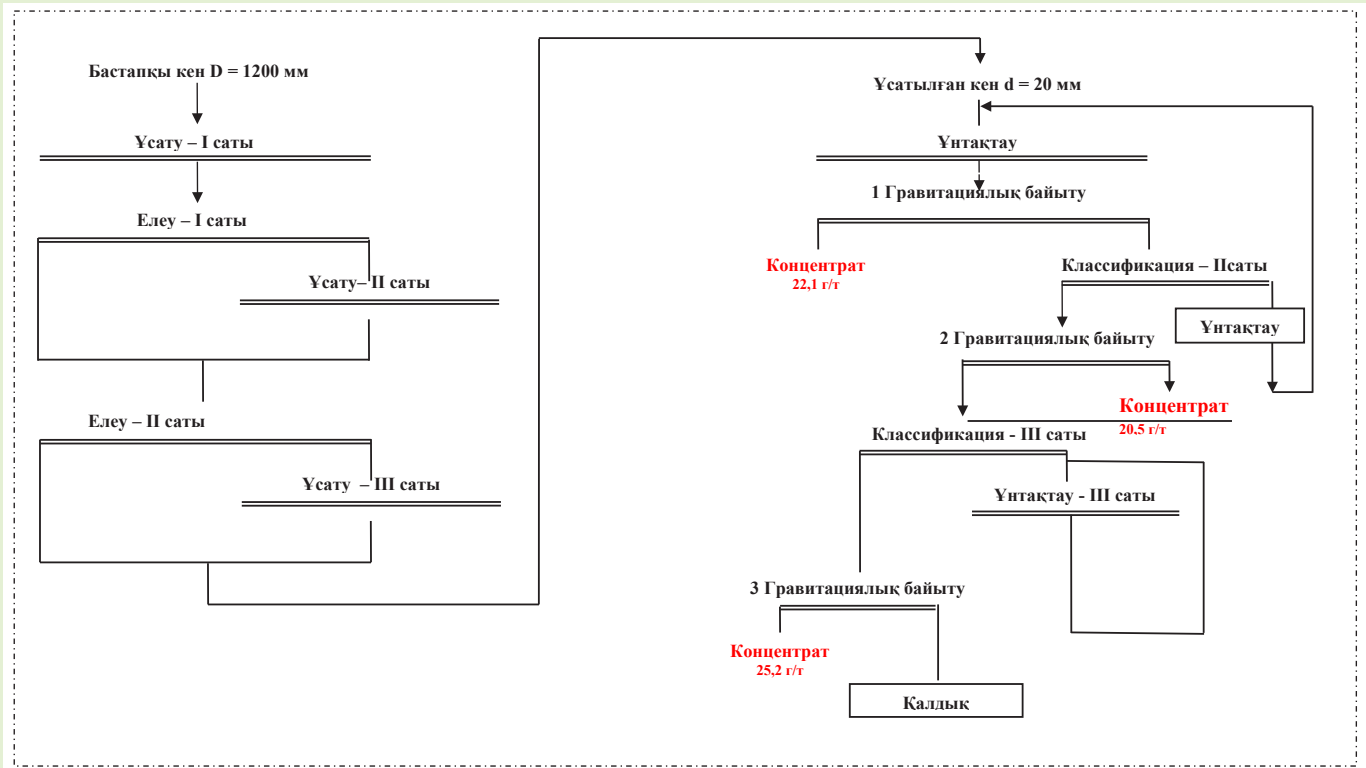
Table 5

Results of three-stage gravity concentration of refractory Vasilkov goldbearing ore

Таблица 5

Результаты трехстадийного гравитационного обогащения упорной Васильковской золотосодержащей руды

Өнімнің атаулары	Шығымы, %	Бағалы заттың пайыздық үлесі г/т	Бөліп алу дәрежесі, %
1-гравитациялық концентрат	2,11	22,10	14,57
Қалдық	97,89	2,39	85,43
2-гравитациялық концентрат	2,86	20,49	18,32
Қалдық	97,14	2,01	81,68
3- гравитациялық концентрат	2,07	25,20	16,30
Қалдық	97,93	2,39	83,70
Кен	100,00	3,20	100,00



Сурет 1. Қиын байытылатын Васильков алтынқұрамды кенді гравитациялық байытудың технологиялық сұлбасы.
Figure 1. Technological flowsheet of gravity concentration of refractory Vasilkov goldbearing ore.

Рис. 1. Технологическая схема гравитационного обогащения упорной Васильковской золотосодержащей руды.

Васильков кедей алтынқұрамды кенінде алтынның құрамы 3,20 г/т құрады, негізгі минералдары болып келесілер табылды: кварц, пирит, арсенопирит пирит, пирротин және т.б., мұндай кен кедей және қиын байытылатын кенге жағады.

Рационалды талдау нәтижесі бойынша алтынның 68,75% мөлшері бос күйінде (1,81 г/т), 21,87% (2,11 г/т) бөлігі арсенопиритпен, 6,67% (0,64 г/т) бөлігі пиритпен, қалған 2,71% (0,26 г/т) бөлігі – бос минералдарымен байланысқаны анықталды. Дисперстік талдау алтын негізінен ірі және өте ұсақ кластарда көп таралғандығын көрсетті.

Талдау негізінде 40+20, -20+10 және -10+5 мм ірілік класы үшін гравитациялық байыту процесін қолдану мүмкіндігі табылды. Ортадан тепкіш гидравликалық концентраторды пайдаланумен жүргізілетін тиімді үшсатылы гравитациялық байыту сұлбасы жасалды және кенде таралған сап алтынның ұсақ, жұқа және шаң тәрізді бөлшектері максималды мөлшерде бөліп алуға мүмкіндік туындады. Осы сұлба бойынша алтынды жалпы бөліп алу дәрежесі 49,19% құрады. Бұл сұлба Васильков кеніне ұқсас алтынқұрамды кендерді байыту үшін жарамды және экономикалық жағынан тиімді болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Верховин С.С. Қазақстанның алтын өндіру өнеркәсібі. URL: <https://zolotodb.ru/article/11194> (орыс тілінде)
2. Dolgorolova, A., Seltmann, R., Miroshnikova, A. and Mizernaya, M. Құрамында алтыны бар Васильков кенорнының минералогиялық және геохимиялық сипаттамасы (Солтүстік Қазақстан). // «Тұрақты әлемнің минералды ресурстары» конференция жинағы, Нанси, Франция, 2015. – Т. 1. – Б. 77-80 (ағылшын тілінде)
3. Абдыкирова Г.Ж. Құрамында алтыны бар қиын байытылатын кенді және техногендік шикізатты байыту технологияларын жетілдіру. Монография: Алматы: Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, 2022, Б. 225 (орыс тілінде)
4. Jiafeng Liet al. Құрамында пирит пен арсенопирит басым болып келетін алтын құрамды қиын байытылатын кенін алудың минералогиялық сипаттамаларын және оңтайландыру талдаулары. // Геохимия. 2023. Бөл. 83. Шығ. 1. Б. 1-11 (ағылшын тілінде)
5. Dominy S.Cet al. Гравитациямен бөлінетін алтын кенін геометаллургиялық зерттеу. // Минералдар. 2018. Бөл. 8 (5):186. Б. 1-11 (ағылшын тілінде)

6. Nayak A. Ұсақ бөлшектерді өңдеу үшін күшейтілген гравитациялық сепараторларды қолдану: шолу. / Nayak A., Jena M.S. Mandre N.R. // Тұрақты металлургия журналы. 2021. Бөл. 7. Б. 315-339 (ағылшын тілінде)
7. Moosakazemi F. et al. Шарлы диірменде бөлшектерінің морфологиясына конструкциялық және жұмыс параметрлерінің әсері. // Минералды өндеудің халықаралық журналы. 2017. Б. 165. Б. 41-49 (ағылшын тілінде)
8. McGrath T.D.H. Гравитациялық және флотациялық концентраттардағы сап алтын түйіршіктерінің 2D и 3D пішінің сипаттамаларын салыстыру. / McGrath T.D.H., Connor L.O., Eksteen J.J. // Минералды инженерия. 2015. Бөл. 82. Б. 45-53 (ағылшын тілінде)
9. Qiao Chen et al. Кнелсон концентраторының жұмыс механизмін талдау. // Минералды инженерия. 2020. Бөл. 158. Б. 1-10 (ағылшын тілінде)
10. Qiao Chen et al. Кнелсон концентраторын зерттеу және қолдану: Шолу. // Минералды инженерия. 2020. Б. 152. Б. 1-15 (ағылшын тілінде)
11. Marion C. et al. Зертханалық Falcon концентраторы көмегімен ұсақ минералдарды тығыз ортада бөлу мүмкіндігі. // Минералды инженерия. 2017. Т. 105. Б. 7-9 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Verhozin S.S. Zolotodobyvayushhaja promyshlennost' Kazahstana. URL: <https://zolotodb.ru/article/11194> [Verkhosin S.S. Gold mining industry of Kazakhstan. URL: <https://zolotodb.ru/article/11194>] (in Russian)
2. Dolgopolova A., Seltmann R., Miroshnikova A., Mizernaya M. Mineralogical and Geochemical Characteristics of the Vasilkovskoye Gold Deposit (North Kazakhstan). // Proceedings of conference «Mineral Resources in a Sustainable World», Nancy, France, 2015. – Vol. 1. – P. 77-80 (In English)
3. Abdykairova G.Zh. Sovershenstvovanie tehnologij obogashhenija zolotosoderzhashhego upornogo rudnogo i tehnogennogo syr'ja. Monografija: Almaty: KazNITU im. K.I. Satpaeva, 2022, S. 225 [Abdykairova G.Zh. Improving technologies for the enrichment of gold-bearing refractory ore and technogenic raw materials. Monograph: Almaty: KazNITU named after K.I. Satpayev, 2022, P. 225] (In Russian)
4. Jiafeng Li et al. Mineralogical characteristics and recovery process optimization analysis of a refractory gold ore with gold particles mainly encapsulated in pyrite and Arsenopyrite. // Geochemistry. 2023. Vol. 83. Issue 1. P. 1-11 (In English)
5. Geometallurgical Study of a Gravity Recoverable Gold Orebody / Dominy S.C et al. // Minerals. 2018. Vol. 8(5):186. P. 1-11 (In English)
6. Nayak A. Application of Enhanced Gravity Separators for Fine Particle Processing: An Overview. / Nayak A., Jena M.S., Mandre N.R. // Journal of Sustainable Metallurgy. 2021. Vol. 7. P. 315-339 (In English)
7. Moosakazemi F. et al. Effect of design and operational parameters on particle morphology in ball mills. / Moosakazemi F. et al. // International Journal of Mineral Processing. 2017. Vol. 165. P. 41-49 (In English)
8. T.D.H. McGrath. A comparison of 2D and 3D shape characterisations of free gold particles in gravity and flash flotation concentrates. / T.D.H. McGrath, L. O'Connor, J.J. Eksteen. // Minerals Engineering. 2015. Vol. 82. P. 45-53 (In English)
9. Chen Q. et al. Analysis of the operating mechanism of a Knelson concentrator. // Minerals Engineering. 2020. Vol. 158. P. 1-10 (In English)
10. Qiao Chen et al. Research and application of a Knelson concentrator: A review. // Minerals Engineering. 2020. Vol. 152. 1-15 (In English)
11. Marion C. et al. The potential for dense medium separation of mineral fines using a laboratory Falcon Concentrator // Minerals Engineering. 2017. Vol. 105. P. 7-9 (In English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Верхозин С.С. Золотодобывающая промышленность Казахстана. URL: <https://zolotodb.ru/article/11194> (на русском языке)
2. Долгополова А., Зельтманн Р., Мирошникова А., Мизерная М. Минералогические и геохимические характеристики Васильковского золоторудного месторождения (Северный Казахстан). // Материалы конференции «Минеральные ресурсы в устойчивом мире», Нанси, Франция, 2015. – Т.1. – С. 77-80 (на английском языке)
3. Абдыкairoва Г.Ж. Совершенствование технологий обогащения золотосодержащего упорного рудного и техногенного сырья. Монография: Алматы: КазННТУ им. К.И. Сатпаева, 2022, С. 225 (на русском языке)

4. *Jiafeng Li et al.* Минералогические характеристики и анализ оптимизации процесса извлечения упорной золотой руды с частицами золота, главным образом, инкапсулированными в пирите и арсениопирите. // *Геохимия*. 2023. Т. 83. Вып. 1. С. 1-11 (на английском языке)
5. *Dominy S.C. et al.* Геометаллургическое исследование гравитационно извлекаемого золоторудного тела. // *Минералы*. 2018. Т.8 (5):186. С. 1-11 (на английском языке)
6. *Nayak A.* Применение сепараторов повышенной гравитации для переработки мелких частиц: обзор / *Nayak A., Jena M.S., Mandre N.R.* // *Журнал устойчивой металлургии*. 2021. Т. 7. С. 315-339 (на английском языке)
7. *Moosakazemi F. et al.* Влияние конструкции и эксплуатационных параметров на морфологию частиц в шаровых мельницах. // *Международный журнал по переработке полезных ископаемых*. 2017. Т. 165. С. 41-49 (на английском языке)
8. *McGrath T.D.H.* Сравнение характеристик формы частиц свободного золота в 2D и 3D в концентратах гравитационной и мгновенной флотации. / *T.D.H. McGrath, L. O'Connor, J.J. Eksteen.* // *Горное дело*. 2015. Вып. 82. С. 45-53 (на английском языке)
9. *Chen Q. et al.* Анализ рабочего механизма концентратора Кнельсона. // *Минеральное машиностроение*. 2020. Т. 158. С. 1-10 (на английском языке)
10. *Qiao Chen et al.* Исследование и применение концентратора Кнельсона: обзор. // *Минеральное машиностроение*. 2020. Т. 152. С. 1-15 (на английском языке)
11. *Marion C. et al.* Возможности разделения минеральных частиц в плотной среде с использованием лабораторного концентратора Falcon. // *Минеральное машиностроение*. 2017. Т. 105. С. 7-9 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Аскарова Г.Е., Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» және «Тау-кен ісі» кафедрасының Ph.D докторанты (Алматы қ., Қазақстан), g.askarova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6823-5450>

Мамырбаева К.К., Ph.D докторы, Satbayev University «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан), k.mamyrbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1094-5345>

Шаутинов М.Р., техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан), m.shautenov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0266-3882>

Бегалинов А.Б., техника ғылымдарының докторы, Satbayev University «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры, (Алматы қ., Қазақстан), a.begalinov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-4793-6207>

Information about the authors:

Askarova G.E., doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing and the Department of Mining, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Mamyrbayeva K.K., Doctor Ph.D., Associate Professor of the Department of «Metallurgical Processes, Heat Engineering and Technology of Special Materials» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Shautenov M.R., Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Begalinov A.B., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mining Engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Аскарова Г.Е., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» и кафедры «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Мамырбаева К.К., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Шаутинов М.Р., кандидат технических наук, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Бегалинов А.Б., доктор технических наук, профессор кафедры «Горного дела» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)