

Код МРНТИ 52.45.17

М.Р. Шаутенов, *Н.Т. Акказина Т.М. Алменов, Р.К. Жанакоева
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

СИРЕК ЖЕР КЕНДЕРІНІҢ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТЫЛУЫН ФРАКЦИЯЛЫҚ ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Құндыбай кен орны Қазақстанның Қостанай облысында орналасқан. Кен әр түрлі минералдардан тұрады әрі сирек кездесетін жер элементтеріне (СЖЭ) бай. Сирек кездесетін жер элементі – иттрий гидрофосфаты (черчит $YPO_4 \cdot 2H_2O$) негізгі кен минералы болып табылады. Титан минералдары (ильменит, рутил, лейкоксен) – олармен қатар жүретін компоненттер. Кен қоспсыған құмды мору қыртысына жатады. Мақалада Құндыбай кен орнындағы кенінің құрамы мен қасиеттерін анықтау бойынша зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Кен орнынан кеннің өкілетті сынама алынды. Зерттелетін кенді гравитациялық байытудың фракциялық талдау нәтижелері мен технологиялық көрсеткіштері ұсынылды. Кеннің құрамындағы минералдарлық элементтердің өте майда ұсақтығына байланысты кенді байыту үрдісі біз әзірлеген дірілді ортадан тепкіш табақшалы аппаратты пайдалана отырып, гравитациялық байыту әдісімен жүзеге асырылды.

Түйінді сөздер: сирек жер металды кен, ірілік класс, фракциялық талдау, гравитациялық байыту, концентрат, қалдық.

Study of gravity concentration of rare earth ores on the basis of fractional analysis

Abstract. The Kundybay deposit is located in the Kostanay region of Kazakhstan. Ore is represented by various minerals – rich in rare earth elements (REE). The main ore mineral is yttrium-rare earth hydrophosphate ($YPO_4 \cdot 2H_2O$). Associated components are titanium minerals (ilmenite, rutile, leucocoxene). The ore belongs to the loose sandy weathering crusts. This article presents the results of studies on determining the composition and properties of ore Kundybay deposit. A representative sample of ore was taken from the deposit. The results of fractional analysis and technological indicators of gravity concentration of the study ore are presented. Due to the fine dissemination of useful mineral elements contained in it, the ore enrichment process was carried out by gravity enrichment method using our developed vibrocentrifugal more frequent apparatus.

Key words: rare-earth ore, size class, fractional analysis, gravitational enrichment, concentrate, tailings.

Исследование гравитационного обогащения редкоземельных руд на основе фракционного анализа

Аннотация. Месторождение Кундыбай расположено в Костанайской области Казахстана. Руда представлена различными минералами – богатыми редкоземельными элементами (РЗЭ). Основным рудным минералом является гидрофосфат иттрия – редких земель (черчит $YPO_4 \cdot 2H_2O$). Попутными компонентами являются титановые минералы (ильменит, рутил, лейкоксен). Руда относится к рыхлым песчанистым корам выветривания. В статье приведены результаты исследований по определению состава и свойств руды Кундыбайского месторождения. Из месторождения отобрана представительная проба руды. Представлены результаты фракционного анализа и технологические показатели гравитационного обогащения исследуемой руды. В связи с тонкой вкрапленностью содержащихся в нем полезных минеральных элементов. Процесс обогащения руды осуществлялся гравитационным методом обогащения с использованием нами разработанного виброцентробежного чашевого аппарата.

Ключевые слова: редкоземельная руда, класс крупности, фракционный анализ, гравитационное обогащение, концентрат, хвосты.

Кіріспе

Сирек кездесетін бай металдардың кен орындары тау-сылып, өндіріске кедей немесе байытылуы қиын кендерді тарту қажеттілігінің туындағаны белгілі. Соңғыларына сирек кездесетін жер элементтерінің (СКЖЭ) фосфаттары (черчит, рабдофонит, ксенотим немесе монацит) арқылы берілетін мору қыртысындағы кендер жатады.

Шынында да, зерттелетін кеннің осы технологиялық ерекшеліктері оны бірегей және құнды етеді. Радиоактивтіліктің болмауы елеулі артықшылық болып табылады, себебі бұл кенді өндіру және қайта өңдеу кезінде қосымша қауіпсіздік шараларын болдырмауға мүмкіндік береді, сондай-ақ соңғы өнімнің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Бұдан басқа, кеннің қоспсыған құм-сазды гранулометриялық құрамы ұсату және ұнтақтау операцияларына жұмсалатын шығынды айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді, бұл да маңызды факторға жатады. Дефицитті иттрий, европий және басқа да ауыр лантаноидтар кіретін лантаноидтардың ерекше құрамы осы кенді ерекше құнды етеді, себебі бұл элементтердің құны жоғары және өнеркәсіптің әртүрлі салаларында кеңінен қолданылады [1].

Осыған байланысты кен құрамындағы пайдалы компоненттердің бөлінуінің өзгермелілігін және оларды қайта өңдеудің технологиялық ерекшеліктерін белгілей отырып, кеннің заттай құрамын зерделеу мақсатында толық ауқымды ғылыми зерттеулер жүргізу қажеттілігі туындады. Кен минералдары өте ұсақ, олар көбінесе аралас тау жыныстары түйіршіктерінің ішінде кездеседі. Сирек кездесетін шикізатты өңдеуге бұрын жүргізілген зерттеулерді талдау негізінде [2, 3] зерттелетін минералдық шикізатты қайта

өңдеудің технологиялық әдістерінің әдістемесі белгіленіп, бастапқы сирек кездесетін кенді гравитациялық байыту бойынша зертханалық зерттеулер жүргізілді. Ірілік класы 0,10 мм асатын кенді гравитациялық байыту мүмкіндігі белгіленді.

Іріктелген сынаманың құрамы мен қасиеттерін анықтау бойынша зерттеулер жүргізу үшін физикалық-химиялық талдаулардың: спектралдық, минералогиялық, химиялық, рентгендік-фазалық талдау және растрлық электрондық микроскопия әдістері пайдаланылды.

Бастапқы сирек кездесетін кенді гравитациялық байыту бойынша зерттеулер жүргізілді.

Сирек кездесетін кенге 17 элементтен тұратын топ кіреді, оның құрамында: скандий (*Sc*), иттрий (*Y*), лантан (*La*), церий (*Ce*), празеодим (*Pr*), неодим (*Nd*), прометий (*Pm*), самарий (*Sm*), европий (*Eu*), гадолиний (*Gd*), тербий (*Tb*), диспрозий (*Dy*), гольмий (*Ho*), эрбий (*Er*), тулий (*Tm*), иттербий (*Yb*), лютеций (*Lu*) бар. Сирек кездесетін элементтер аспап жасауда, радиоэлектроникада, машина жасауда, атом техникасында, химия өнеркәсібінде, металлургияда және басқа түрлі салаларда пайдаланылады. *Nd, Y, Sm, Er, Eu, Fe-B*-мен (темір бориды) негізінде, атап айтқанда, жел генераторлары мен электромобильдер қозғалтқышында қолданылатын тұрақты магниттерді жасау үшін жоғары магниттеу және коэрцитивметр күші бар корытпалар алынады [4].

Қазіргі уақытта сирек кездесетін металдар (СКМ) – заманауи материалдар мен технологиялардың негізгі компоненттері. Оларға үнемі қызығушылық таныту, әлемдік нарықта сұраныстың өсуінен оларды жоғары технологиялық өнеркәсіп салаларында кеңінен тұтынуға байланысты [5].

Өндірілетін СКМ қуатты тұрақты магниттер, мұнай крекингіне, каучук синтезіне арналған катализаторлар өндірісінде, сондай-ақ пайдаланылған автокөлік газдарының каталитикалық сүзгі-бейтараптандырғыштарын, мониторлар мен энергия үнемдейтін шамдарға арналған люминофорларды шығару үшін пайдаланылады.

СКМ-ның бірегей қасиеттері металлургия, аспап жасау, машина жасау, радиоэлектроника, химия, қорғаныс өнеркәсібі және т. б. заманауи озық технологияларды іске асыру үшін негіз болып табылады.

Құрамында сирек кездесетін жер элементтерінің (СКЖЭ) минералдары бар кендер, әдетте, монацит, ксенотим, эвксенит және т.б сияқты ауыр минералдарды бөлу үшін гравитациялық байытуға ұшырайды [6, 7].

Қазақстандағы Қостанай облысында орналасқан Құндыбай кен орнының минералдық шикізаты зерттеу нысаны болып табылады [8]. Мору кыртыстарының басты құндылығы – бастнезит, черчит және рабдофонит сияқты сирек кездесетін қайталама жер минералдары. Кен орнындағы барынша кең таралған минерал – черчит. Рабдофонит құрамы жағынан ΣTR_2O_3 – 42,57%, черчит минералына жақын минерал болып табылады, оған иттрийдің жоғары құрамы (4,76%) тән.

Өнеркәсіптің жоғары технологиялық салаларының жылдам дамуы аспап жасауда, радиоэлектроникада пайдаланылатын сирек жер металдар есебінен жүргізіледі. Олардың материалдары бірінші кезекте әскери-өнеркәсіптік және авиациялық-ғарыш салаларында қолданылады, сондай-ақ мемлекет үшін маңызды стратегиялық мәнге ие.

Материалдар және негізгі әдістер

Құндыбай кен орны кенінің құрамы мен қасиеттерін анықтау бойынша зерттеулер жүргізу үшін кеннің өкілетті сынамаcы іріктеп алынды. Физикалық-химиялық талдаулардың: спектралдық, минералогиялық, химиялық, рентгендік-фазалық талдау және растрлық электрондық микроскопия әдістері пайдаланылды.

Зерттелетін кеннің және байыту өнімдерінің сынамаларына атомдық-эмиссиялық сапалық спектралдық талдау ДФС-13 дифракциялық спектрографында, МИН-8 микроскопын (өтетін жарық) және Deica инвертацияланған микроскопын (шағылысқан жарық) пайдалана отырып минералогиялық талдау жүргізілді. D8 Advance (Bruker) аппаратында рентгендік-фазалық талдау жүргізілді.

Минералдық-технологиялық зерттеулердің құрамына мынадай үрдістер: зерттелетін минералдық шикізаттың гранулометриялық және минералогиялық құрамын зерттеу; кеннің сазды фракциясын шламсыздандыру үрдісі; фракциялық талдау және гравитациялық байыту негізінде гравитациялық байыту кірді.

Жұмыста химиялық, минералогиялық және гранулометриялық талдау әдістері зерттелінді. Байытудың гравитациялық әдісі негізінде сирек кездесетін минералды шикізаттың іріктелген маңызды сынамаcының байытылуына тәжірибелік зерттеулер жүргізілді.

Нәтижелер және оларды талқылау

Фракциялық талдау, негізінде гравитациялық байыту алдында жүргізіледі. Соның негізінде байытылатын кеннің

технологиялық сипаттамасы анықталады. Ол үшін фракциялық талдауға байытылатын кеннің әртүрлі ірілік кластары жұмылдырылады. Тығыздық бойынша бөліну ортасы ретінде минералдық тұздардың сулы ерітінділері, органикалық сұйықтықтар, суспензиялар қолданылады [9, 10].

Алынған кен сынамаcынан ірілігі 2,50–0,315 мм және 0,315–0,10 мм құрайтын ірілік кластарына фракциялық талдау жүргізілді. Аталған ірілік кластары М-45 ауыр сұйық ерітіндісінде келесі тығыздық фракцияларына бөлінді (kg/m^3): 2550-ден төмен, 2550–2650, 2650–2750, 2750–2850, 2850–2950 және 2950-дан жоғары.

0,10–0,0 мм ірілік класс тығыздығы 2850 kg/m^3 құрайтын сұйықтықта ортадан тепкіш күш өрісінде өңделініп екі фракция алынды: 2850 kg/m^3 төмен және одан жоғары.

Фракциялық талдауға арналған кен сынамаcының гранулометриялық құрамы 1-кестеде, ал фракциялық талдау нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 1

Фракциялық талдауға арналған кен сынамаcының гранулометриялық құрамы

Table 1

Particle size distribution of ore sample for fractional analysis

Таблица 1

Гранулометрический состав пробы руды для фракционного анализа

Кластар, мм	Шығым, %	ΣСКЖЭ құрамы, г/т	ΣСКЖЭ таралуы, %
-2.5-0.315	31,37	92,35	9,414
-0,315+0.1	19,82	146,96	9,465
-0.1-0,0	48,81	511,44	81,121
Барлығы	100,0	307,73	100,0

Гранулометриялық құрамның нәтижелері бойынша зерттелетін кен сынамаcындағы орташа өлшенген ΣСКЖЭ құрамы 307,73 г/т (1-кесте) құрады. Кен сынамаcының гранулометриялық құрамының нәтижелерін талдау көрсеткендей, ірілігі 2,5–0,315 мм болатын класс шығымы 31,37%-ды, сондай-ақ құрамында ΣСКЖЭ 92,35 г/т және бөліп алу дәрежесі 9,414% құрады. Ал ірілігі 0,315–0,0 мм болатын класс шығымы 19,82%-ды, құрамында ΣСКЖЭ 146,96 г/т және бөліп алу дәрежесі 9,465% құрады.

Ең үлкен шығым мен бөліп алу дәрежесі 0,1–0,0 мм болатын ірілік класында байқалады. Оның құрамында ΣСКЖЭ 511,44 г/т, ал бөліп алу дәрежесі 81,121% кезінде шығымы 48,81% құрады. Фракциялық талдау нәтижелері бойынша зерттелетін кен сынамаcындағы орташа өлшенген құрамы ΣСКЖЭ 307,83 г/т құрады (2-кесте).

Фракциялық құрамды зерттеу нәтижелерін талдау (2-кесте) ірілігі 2,5–0,315 мм кластан теориялық тұрғыдан сирек жер элементтерінің ең көп шоғырлануы байқалатын тығыздығы 2850–2950 kg/m^3 және 2950 kg/m^3 астам ауыр концентратты фракциялар бөлінуі мүмкін екенін көрсетеді. Осылайша, тығыздығы 2850–2950 kg/m^3 фракцияның шығымы 0,58%-ды, ал тығыздығы 2950 kg/m^3 асатын фракцияның шығымы – 1,13%, ΣСКЖЭ 432,96 г/т және

Кесме 2

Фракциялық талдаудың нәтижелері

Table 2

Results of the fractional analysis

Таблица 2

Результаты фракционного анализа

Ірілік класс, мм	Фракциялардың тығыздығы, кг/м ³	Шығым, %		ΣСКЖЭ құрамы, г/т	ΣСКЖЭ таралуы, %	
		кластан	кеннен		кластан	кеннен
2,5–0,315	-2550	9,45	2,96	68,1	6,97	0,65
	2550-2650	60,33	18,92	42,93	28,05	2,64
	2650-2750	15,0	4,71	145,75	23,67	2,23
	2750-2850	9,78	3,07	128,17	13,58	1,28
	2850-2950	1,85	0,58	432,96	8,67	0,82
	+2950	3,59	1,13	490,22	19,06	1,80
	Барлығы	100,0	31,37	92,34	100,0	9,42
0,315–0,10	-2550	2,74	0,54	191,343	3,57	0,34
	2550-2650	42,1	8,34	47,876	13,72	1,30
	2650-2750	16,21	3,21	98,199	10,83	1,02
	2750-2850	30,74	6,09	81,948	17,14	1,62
	2850-2950	2,32	0,47	643,937	10,16	0,98
	+2950	5,89	1,17	1112,162	44,58	4,23
	Барлығы	100,0	19,82	146,95	100,0	9,49
2,5–0,10	-2550	6,84	3,50	87,11	5,33	0,99
	2550-2650	53,25	27,26	44,44	21,16	3,94
	2650-2750	15,47	7,92	126,48	17,50	3,25
	2750-2850	17,89	9,16	97,44	15,59	2,90
	2850-2950	2,05	1,05	527,74	10,08	1,80
	+2950	4,50	2,3	806,60	30,34	6,03
	Барлығы	100,0	51,19	111,83	100,0	18,91
0,10–0,0	-	-	48,81	511,45	—	81,09
Кен	-	-	100,0	307,83	-	100

490,22 г/т тиісінше, осы ірілік класында бастапқы құрамында ΣСКЖЭ 92,34% бар. Осы тығыздық фракцияларын бірлесіп бөлген жағдайда олардың жалпы шығымы 1,71%, ал орташа құрамы ΣСКЖЭ 470,80 г/т құрайтыны анықталды.

Теориялық тұрғыдан алғанда, сирек кездесетін жер элементтердің ең аз құрамы байқалатын тығыздығы 2550 кг/м³ және 2550-2650 кг/м³ жеңіл фракциялардың ықтимал шығымы 2,96% және 18,92% құрады, ал олардың құрамы сәйкесінше ΣСКЖЭ 68,10 г/т және 42,93 г/т болды. Оларды тығыздығы 2650 кг/м³ аз бір жалпы фракцияға бөлген кезде олардың жалпы шығымы 21,88%-ды құрайды, ΣСКЖЭ орташа құрамы 46,385 г/т тең.

Бір мезгілде зерттелетін ірілік класында тығыздығы 2650–2750 кг/м³ және 2750–2850 кг/м³ аралық фракциялар бар, олардың шығымы 4,71% және 3,07%, ал құрамы сәйкесінше ΣСКЖЭ 145,75 г/т және 128,17 г/т құрады. Аралық тығыздықтағы фракциялар (2650–2850 кг/м³) бірлесіп бөлінген жағдайда, олардың жалпы шығымы 7,78%-ды құрайды, орташа құрамы ΣСКЖЭ 128,53 г/т.

Ірілігі 2,5–0,315 мм кластың фракциялық құрамының нәтижелерін талдау негізінде оны гравитациялық байыту кезінде үш өнім бөлінуі мүмкін: концентрат, аралық өнім және қалдықтар. Осы ірілік класын тек 2850 кг/м³ тығыздығы бойынша бөлген жағдайда, жеңіл өнімге 2850 кг/м³ кем тығыздықтағы фракциялар бөліп шығарылған жағдайда, олардың жалпы шығымы 29,66%, орташа құрамы ΣСКЖЭ 67,895 г/т құрайды. 0,315–0,10 мм ірілік класының фракциялық құрамы теориялық тұрғыдан сирек жер элементтерінің елеулі шоғырлануы байқалатын тығыздықтарда 2850–2950 кг/м³ және 2950 кг/м³ астам ауыр концентратты фракциялардың бөлінуі мүмкін екенін көрсетеді. Осылайша, тығыздығы 2850–2950 кг/м³ және 2950 кг/м³ астам фракцияның шығымы 0,47% және 1,17% құрады, ал ΣСКЖЭ құрамында 643,937 г/т және 1112,162 г/т бар, осы ірілік кластың бастапқы құрамында ΣСКЖЭ 146,95 г/т бар. Осы тығыздық фракцияларының жиынтық шығымы 1,64% құрайды, орташа құрамымен ΣСКЖЭ 977,95 г/т.

Талдау нәтижелері көрсеткендей, ірілігі 0,315–0,10 мм болатын класта, тығыздығы 2850 кг/м³ аз барлық фрак-

цияларда іс жүзінде бірдей $\Sigma\text{СКЖЭ}$ құрамы байқалады, 191,343 г/т – 47,876 г/т шегінде. Осының негізінде осы ірілік класында жеңіл және аралық фракциялар арасында айқын шекара байқалмайтынын атап өтуге болады. Тиісінше, тығыздығы 2850 кг/м³ аз фракцияларды бірлесіп бөлген кезде олардың жалпы шығымы 18,18%-ды құрайды, ал орташа құрамы $\Sigma\text{СКЖЭ}$ – 72,436 г/т. Бұл ретте ұқсас тығыздықтағы фракцияда, бірақ 2,5–0,315 мм болатын ірілік класта $\Sigma\text{СКЖЭ}$ құрамы іс жүзінде бірдей және 67,895 г/т тең екенін атап өту қажет.

Жоғарыда баяндалғанның негізінде екі ірілік класта да ауыр (концентратты) фракцияға тығыздығы 2850 кг/м³ үлкен фракцияларды бөлу қажет деп айтуға болады. Осыған сәйкес екі ірілік кластың да концентратты фракцияларын бөлу үшін қажетті бөлу тығыздығы 2850 кг/м³ құрайды. 2,5–0,315 және 0,315–0,10 мм екі ірілік класты 2850 кг/м³ тығыздығы бойынша бөлген жағдайда, теориялық жағынан ауыр концентратты фракцияның ықтимал жалпы шығымы 3,35%, орташа құрамы $\Sigma\text{СКЖЭ}$ – 719,088 г/т құрайды. Осының негізінде концентратты фракцияларға $\Sigma\text{СКЖЭ}$ шоғырлануының орташа дәрежесі 6,34 есені құрады деп айтуға болады.

Сәйкесінше, 2850 кг/м³ тығыздығы бойынша гравитациялық бөліну кезінде барлық жеңіл фракциялардың шығымы 47,84%, орташа құрамы $\Sigma\text{СКЖЭ}$ – 69,620 г/т құрайды.

Ірілігі 0,10–0,00 мм класты фракциялық талдау тығыздығы 2850 кг/м³ центрифугадағы ортадан тепкіш күшін пайдалана отырып орындалды.

Ірілігі 0,10–0,00 мм класты фракциялық талдау нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

Ірілігі 0,10–0,00 мм кластың фракциялық құрамы бөлу тығыздығы 2850 кг/м³ болған кезде, сондай-ақ сирек жер элементтердің 2850 кг/м³ астам тығыздықта (3-кесте) шоғырлануы байқалатынын көрсетеді. Бұл ретте тығыздығы 2850 кг/м³ аз фракцияларда да сирек жер элементтердің жоғары құрамы байқалады. Бұл іріліктің осы класта едәуір мөлшерде жұқа және шламды кластардың болуымен түсіндіруге болады, оларды тіпті орталықтан тепкіш күшті пайдалана отырып, салыстырмалы түрде жоғары тұтқырлыққа ие ауыр сұйықтықтарда да бөлінуі қиын.

Зерттелетін кеннен жұқа дисперсті сирек жер элементтерін бөліп алуда гравитациялық байыту әдісі қолданылады. Гравитациялық байыту әзірленген ортадан тепкіш дірілді табақшалы аппаратта [11] атқарылды. Дірілді ортадан теп-

кіш табақшалы аппарат өзінің құрылымдық параметрлері мен жұмыс істеуі тұрғысынан әзірленген гидроконцентраторларға жақын келеді. Оның басқа аппараттардан ерекшелігі: концентратордың табақшасына (роторына) қосымша су берілмейді, байыту өніміндегі пайдалы заттардың бөліну дәрежесі жоғары (200-ге дейін) келеді, сондай-ақ осы аппаратпен зерттелетін өнімдердің шағын сынамаларымен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Концентратор табақшасының қабатында материалды қопсыту оның дірілі (3000–6000 діріл/минутына) есебінен жүзеге асырылады.

Винттік сепараторда ірілігі -2,5+0,1 мм кен класы байытылды. Сумен қаттының қатынасы (С:Қ = 1:3) құрады. Алынған концентраттың сапасын жетілдіру винтті сепараторда және дірілді ортадан тепкіш табақшалы аппаратта атқарылды. Қолданылған үрдістің технологиялық параметрлері: С:Қ қатынасы 1:3, табақшаның айналу жиілігі 500 айналым/минутына. Аппараттардың көрінісі 1, 2 суреттерде келтірілген.



Сурет 1. Винтті сепаратор.

Figure 1. Screw Separator.

Рис. 1. Винтовой сепаратор.

Кесте 3

Ірілігі 0,10–0,00 мм кластың фракциялық құрамы

Table 3

Fractional composition of size class 0.10–0.00 mm

Таблица 3

Фракционный состав класса крупности 0,10–0,00 мм

Ірілік класс, мм	Фракция тығыздығы, кг/м ³	Шығым, %		$\Sigma\text{СКЖЭ}$ құрамы, %	Бөліп алу дәрежесі, %	
		кластан	кеннен		кластан	кеннен
0,10–0,00	-2850	73,96	36,10	369,090	53,37	43,296
	+ 2850	26,04	12,71	915,792	46,63	37,825
	Барлығы	100,0	48,81	511,450	100,0	81,121



А

В

Сурет 2. А – дірілді ортадан тепкіш табақшалы аппараттың жалпы көрінісі. В – фторопластан жасалынған жұмыс табақшасының көрінісі.

Figure 2. A – General view of the vibrating centrifugal apparatus. B – General view of the fluoroplastic working bowl.

Рис. 2. А – Общий вид виброцентробежного аппарата. В – общий вид рабочей чаши из фторопласта.

Зерттелетін кеннің гравитациялық байытылуы 1, 2 суреттерде ұсынылған және әзірленген ірілендірілген технологиялық қондырғыда жүзеге асырылды.

Қорытынды

Алынған іздестірілетін зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, мынандай қорытындылар жасауға болады:

1. Ірілігі 2,5–0,315 мм және 0,315–0,10 мм ірілік клас-тарын гравитациялық байыту кезінде ауыр концентрат-ты фракцияларды бөлу мүмкіндігі айқындалды;
2. Іріліктің екі класы үшін тығыздығы 2850 кг/м³ аса-тын фракциядағы СКЖЭ шоғырлану дәрежесі 5–7 құ-рады;
3. Концентратты фракцияларға бөлу үшін қажетті бөлу тығыздығы 2850 кг/м³ болды;

4. Тазартылмаған сирек кездесетін жер концентрат-тарды алу мақсатында іріліктің барлық кластарын ба-йытудың неғұрлым қолайлы үрдісі дірілді ортадан теп-кіш табақшалы аппарат пен ортадан тепкіш гидрокон-центраторлар болып табылады;

5. Кеннің фракциялық құрамын зерделеу бойынша алынған нәтижелер зерттелетін кенді, атап айтқанда 0,10 мм-ден үлкен класты гравитациялық үрдістерді пай-далана отырып байытуға болатынын көрсетті;

6. Зерттелетін кенде пайдалы компоненттердің бо-луын зерттеу негізінде гравитациялық байыту бойынша зерттеулер жүргізілді;

7. Зерттелетін кеннің гравитациялық байытылуы әзірленген дірілді ортадан тепкіш табақшалы аппарат-та жүзеге асырылды

8. Зерттеу нәтижелері мору қыртысындағы байыты-луы қиын сирек кездесетін кендерді, сондай-ақ басқа да кендерді өңдеудің технологиялық үрдістерінде пайдала-нылуы мүмкін.

Алғыс

Мақала 2024–2026 жылдарға арналған гранттық қаржыландыру шеңберінде АР23488914 «Табиғи және техногендік объектілердегі жұқа дисперсті алтынды сандық бағалау технологиясын әзірлеу және оны Қазақ-стан аумағында табу перспективаларын бағалау» жо-басы бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстарының нә-тижелері бойынша жазылған, жоба жетекшісі, т.ғ.к., профессор М.Р. Шауенов. Жоба тақырыбы бойынша зерттеулер Қазақстан Республикасы ғылым және жо-ғары білім министрлігінің Ғылым комитетімен қар-жыландырылған.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Акказина Н.Т. Мору қыртысындағы кендегі сирек жер элементтердің қосынды таралуын зерттеу // «Кен және техногендік шикізатты өңдеудің ғылыми негіздері мен практикасы» XXVIII халықаралық ғылыми-техникалық конференциясы, Екатеринбург, 2023. Б. 201–206 (орыс тілінде)
2. Сирек жер минералдарды өңдеу технологиясына шолу / Suli L.M. [және т. б.] // Химиялық инженерияны зерттеу бюллетені. 2017. Т.19. Б. 20–35 (ағылшын тілінде)
3. Коеп Binnemans. Сирек жер элементтерді өңдеу, сыни шолу. / Коеп Binnemans [және т. б.] // «Таза өндіріс» журналы. 2013. Т. 51. Б. 1–22 (ағылшын тілінде)
4. СЖМ нарығына шолу және сирек жер шикізатын қайта өңдеу технологиялары / Юшина Т.И. [және т. б.] // ГИАБ. 2015. № 1. Б. 577–605 (орыс тілінде)
5. Сирек жер элементтерін байыту және металлургия саласындағы соңғы әзірлемелері: шолу / Cheng S.K. [және т. б.] // «Сирек элементтер» журналы. 2023. Б. 629–642 (ағылшын тілінде)
6. Ауыр минералдарды физикалық байыту. 1 – бөлім: Гравитациялық байыту әдістері бойынша әдебиеттің қазіргі жағдайына шолу / Nzeh N.S. [және т. б.] // Heliyon. 2023. Т. 9. Шығ. 8. Б. 1–30 (ағылшын тілінде)
7. Монацит минералынан сирек жер металдарын бөліп алу үрдісін жасақтау: шолу. / Kumari A. [және т. б.] // Байыту саласындағы инженерия. 2015. Т. 79. Б. 102–115 (ағылшын тілінде)
8. Ниязов А.Р. Геологиялық жазба «Құндыбай титан-иттрий-сирек жер кен орны (Қазақстан Республикасы, Қостанай облысы)». АҚ «Құндыбай» қоры, 2010. 15 б. (орыс тілінде)
9. Томов Т.Г. Кендерді ауыр сұйықтықтарда байыту: М: Ғылым, 1969. 158 б. (орыс тілінде)
10. Митрофанов С.И., Барский Л.А., Самыги В.Д. Пайдалы қазбаларды байытуға зерттеу: М.: Жер қойнауы, 1974. 352 б. (орыс тілінде)
11. Инновациялық патент № 30418, Қазақстан Республикасы, ХПК В03В 5/32 (2006.01). Табақшалы ортадан тепкіш үзілімді жұмыс істейтін аппарат / Перегудов В.В., Шауенов М.Р.,

Ожогин Г.А., Мотовилов И.Ю.; өтініш беруші және патент иеленушісі Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ КЕАҚ (KZ.) – 2014/1096.1; мәлімделген 15.05.2014; жарияланды 15.10.2015. Бюлл. №10, 8 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Akkazina N.T. Raspredelenie summy redkozemel'nykh elementov v issleduemoi rude kory vyvetrivaniya [Distribution of the sum of rare-earth elements in the studied ore of the weathering crust], Materialy XXVIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogenogo syr'ya» [XXVIII International Scientific and Technical Conference «Scientific bases and practice of processing of ores and technogenic raw materials»], Ekaterinburg, 2023. 201–206 pp. (in Russian)
2. A Review of Rare Earth Mineral Processing Technology / Suli L.M. [et al.] // Chemical Engineering Research Bulletin. 2017. V. 19. 20–35 pp. (in English)
3. Recycling of rare earths: a critical review / Koen Binnemans [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2013. V. 51. 1–22 pp. (in English)
4. Obzor rynka RZM i tekhnologii pererabotki redkozemel'nogo syr'ya [Review of the REM market and technologies for processing of rare earth raw materials], Yushina T.I. [et al.], GIAB [GIAB]. 2015. No. 1. 577–605 pp. (in Russian)
5. Recent process developments in beneficiation and metallurgy of rare earths: A review / Cheng S.K. [et al.] // J. Rare Earths. 2023. 629–642 pp. (in English)
6. Physical beneficiation of heavy minerals – Part 1: A state of the art literature review on gravity concentration techniques / Nzeh N.S. [et al.] // Heliyon. 2023. V. 9. Issue 8. 1–30 pp. (in English)
7. Process development to recover rare earth metals from monazite mineral: a review / Kumari A. [et al.] // Miner. Eng. 2015. V. 79. 102–115 pp. (in English)
8. Niyazov A.R. Geologicheskaya zapiska «Kundybaiskoe titan-ittrii-redkozemel'noe mestorozhdenie (Respublika Kazakhstan, Kostanaiskaya oblast')» [Geological note «Kundybay titanium-yttrium-rare earth deposit (Republic of Kazakhstan, Kostanay region)»]. Fonds of JSC «Kundybay», 2010, 15 p. (in Russian)
9. Tomov T.G. Obogashchenie rud v tyazhelykh zhidkostyakh [Ore enrichment in heavy liquids], Moscow: Nauka, 1969. 158 p. (in Russian)
10. Mitrofanov S.I., Barsky L.A., Samygin V.D. Issledovanie poleznykh iskopaemykh na obogatimost' [Investigation of minerals for enrichability], Moscow: Nedra, 1974. 352 p. (in Russian)
11. Innovation patent No. 30418, Republic of Kazakhstan, MPK B03B 5/32 (2006.01). Vibrotsentrobeznyi chashevyi apparat periodicheskogo deistviya [Vibrocentrifugal bowl apparatus of batch action], Peregudov V.V., Shautenov M.R., Ozhogin G.A., Shautenov M.R., Ozhogin G.A., Motovilov I.Yu.; applicant and patent holder NAO K.I. Satpayev KazNITU (KZ.) – 2014/1096.1; avt.15.05.2014; publ. 15.10.2015. Bulletin No. 10. 8 p. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акказина Н.Т. Распределение суммы редкоземельных элементов в исследуемой руде коры выветривания // Материалы XXVIII межд. научно-технической конф. «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 2023. С. 201–206 (на русском языке)
2. Обзор технологии переработки редкоземельных минералов / Suli L.M. [и др.] // Бюллетень исследований в области химической инженерии. 2017. Т. 19. С. 20–35 (на английском языке)
3. Переработка редкоземельных металлов: критический обзор. / Кoen Binnemans [и др.] // Журнал «Чистое производство». 2013. Т. 15. С. 1–22 (на английском языке)
4. Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья / Юшина Т.И. [и др.] // ГИАБ. 2015. № 1. С. 577–605 (на русском языке)
5. Последние разработки в области обогащения и металлургии редкоземельных металлов: обзор / Cheng S.K. [и др.] // Журнал «Редкие элементы». 2023. С. 629–642 (на английском языке)
6. Физическое обогащение тяжелых минералов – Часть 1: Обзор современного состояния литературы по методам гравитационного обогащения / Nzeh N.S. [и др.] // Heliyon. 2023. Т. 9. Вып. 8. С. 1–30 (на английском языке)
7. Разработка процесса извлечения редкоземельных металлов из минерала монацита: обзор / Kumari A. [и др.] // Инженерное дело в области добычи полезных ископаемых. 2015. Т. 79. С. 102–115 (на английском языке)
8. Ниязов А.Р. Геологическая записка «Кундыбайское титан-иттрий-редкоземельное месторождение (Республика Казахстан, Костанайская область)». Фонды АО «Кундыбай», 2010, 15 с. (на русском языке)

9. Томов Т.Г. Обогащение руд в тяжелых жидкостях: М.: Наука, 1969. 158 с. (на русском языке)
10. Митрофанов С.И., Барский Л.А., Самыгин В.Д. Исследование полезных ископаемых на обогатимость: М.: Недра, 1974. 352 с. (на русском языке)
11. Инновационный патент №30418, Республика Казахстан, МПК В03В 5/32 (2006.01). Виброцентростремительный чашевый аппарат периодического действия / Перегудов В.В., Шаутинов М.Р., Ожогин Г.А., Мотовилов И.Ю.; заявитель и патентообладатель НАО КазННТУ имени К.И. Сатпаева (KZ.) – 2014/1096.1; заявл. 15.05.2014; опубл. 15.10.2015. Бюлл. № 10, 8 с. (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Шаутинов М.Р., т.ғ.к., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры, Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен-металлургия институты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), m.shautenov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0266-3882>

Акказина Н.Т., техника ғылымдарының магистры, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының оқытушысы, Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен-металлургия институты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), n.akkazina@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-9042-6130>

Алменов Т.М., т.ғ.к., «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры, Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен-металлургия институты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), t.almenov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-9674-8598>

Жанакова Р.К., т.ғ.к., «Тау-кен ісі» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен-металлургия институты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), r.zhanakova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0845-8449>

Information about the authors:

Shautenov M., Candidate of Technical Sciences, Professor of «Metallurgy and Mineral Processing» department, Mining and Metallurgical Institute after named O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Akkazina N., Master of Technical Sciences, Lecturer at the Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Mining and Metallurgical Institute after named O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Almenov T., Candidate of Technical Sciences, Professor of «Mining» department, Mining and Metallurgical Institute after named O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Zhanakova R., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Mining» department, Mining and Metallurgical Institute after named O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Шаутинов М.Р., к.т.н., профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Акказина Н.Т., магистр технических наук, преподаватель кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Алменов Т.М., к.т.н., профессор кафедры «Горное дело» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Жанакова Р.К., к.т.н., ассоц. профессор кафедры «Горное дело» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)