

Код МРНТИ 52.45.19

*К.С. Туребекова¹, Г.Л. Каткеева², И.М. Оскембеков², Р.Б. Султангазиев¹¹Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова»
(г. Караганда, Казахстан),²Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева (г. Караганда, Казахстан)

КОЛЛЕКТИВНАЯ ФЛОТАЦИЯ ОБЕСКРЕМНЕННОГО ТЕХНОГЕННОГО БАРИТОВОГО СЫРЬЯ

Аннотация. В работе представлены результаты коллективной флотации обескремненного техногенного баритового сырья. Для определения эффективности применения флотационного метода обогащения без предварительного обескремнивания были проведены исследования по влиянию на извлечение цветных металлов из обескремненного баритового продукта во флотационный концентрат трех факторов – расходов активатора и собирателя, времени агитации пульпы с медным купоросом. В результате были определены оптимальные расходы реагентов и математическая модель процесса коллективной флотации обескремненного баритового продукта. Получены удовлетворительные результаты по извлечению в коллективный концентрат меди, цинка и свинца. Коллективная флотация обескремненного баритового продукта при оптимальных условиях показала, что цветные металлы извлекаются при оптимальных условиях на уровне 98%.

Ключевые слова: флотация, обескремнивание, техногенное сырье, барит, концентрат, цветные металлы, активатор, собиратель, медный купорос, математическая модель.

Техногенді барит шикізатын ұжымдық флотациялау

Андатпа. Жұмыста кремнийсіздендірілген техногендік барит шикізатын ұжымдық флотациялау нәтижелері көрсетілген. Алдын ала кремнийсіздендірісіз флотациялық байыту әдісін қолданудың тиімділігін анықтау үшін кремнийден тазартылған барит өнімінен флотациялық концентратқа түсті металдарды алуға үш фактордың әсері зерттелді: активатордың және жинағыштың шығыны, мыс сульфатымен пульпаның араластыру уақыты. Нәтижесінде реагенттердің оңтайлы шығыны және барит өнімін ұжымдық флотациялау процесінің математикалық моделі анықталды. Ұжымдық концентратқа мыс, мырыш және қорғасын алу бойынша қанағаттанарлық нәтижелер алынды. Оңтайлы жағдайларда кептірілген барит өнімін ұжымдық флотациялау түсті металдардың оңтайлы жағдайда 98% деңгейінде алынатынын көрсетті.

Түйінді сөздер: флотация, кремнийсіздендіру, техногендік шикізат, барит, концентрат, түсті металдар, активатор, жинағыш, мыс сульфаты, математикалық модель.

Collective flotation of desilicified technogenic barite raw material

Abstract. The paper presents the results of collective flotation of desilicified technogenic barite raw materials. To determine the effectiveness of the use of the flotation method of enrichment without prior desilicification, studies were carried out on the effect on the extraction of non-ferrous metals from the desilicified barite product into the flotation concentrate of three factors – the costs of the activator and collector, the time of pulp agitation with copper sulphate. As a result, the optimal consumption of reagents and a mathematical model of the process of collective flotation of the desilicified barite product were determined. Satisfactory results have been obtained for the extraction of copper, zinc and lead into the collective concentrate. Collective flotation of the desiccated barite product under optimal conditions showed that non-ferrous metals are recovered under optimal conditions at a level of 98%.

Key words: flotation, desilicification, technogenic raw materials, barite, concentrate, non-ferrous metals, activator, collector, blue vitriol, mathematical model.

Введение

С целью определения эффективности применения флотационного метода обогащения без предварительного обескремнивания были проведены исследования на исходном баритовом сырье состава (масс. %): SiO_2 – 40,0; $BaSO_4$ – 37,0; Al_2O_3 – 5,3; Fe – 4,6; S – 6,8; Zn – 0,6; Pb – 0,5; Cu – 0,2. Так как без предварительного обескремнивания не были достигнуты нужные результаты, провели опыты с предварительным обескремниванием исходного сырья состава (масс. %): SiO_2 – 1,9; $BaSO_4$ – 67,3; Fe – 8,4; Zn – 1,09; Pb – 0,91; Cu – 0,36. Баритовое сырье было обескремнено термохимическим способом [1].

Техногенное сырье – минеральное образование (месторождение), накопление которого произошло в результате производственной деятельности промышленных предприятий в последнее столетие. Современные

Таблица 1

Показатели флотации баритового сырья

Кесте 1

Барит шикізаты флотациясының бойынша көрсеткіштері

Table 1

Indicators of flotation of barite raw materials

	Концентрат	Промпродукт	Хвосты
Выход продукта, %	11,41	5,96	82,63
Содержание Cu в продукте, %	2,73	0,76	0,09
Извлечение Cu в продукт, %	85,50	12,43	2,07
Содержание Zn в продукте, %	7,70	3,05	0,04
Извлечение Zn в продукт, %	80,50	16,67	2,83
Содержание Pb в продукте, %	6,45	2,41	0,03
Извлечение Pb в продукт, %	81,0	15,8	3,2
Содержание Fe в продукте, %	34,66	11,75	4,49
Извлечение Fe в продукт, %	47,28	8,37	44,35
Содержание $BaSO_4$ в продукте, %	2,50	62,28	76,58
Извлечение $BaSO_4$ в продукт, %	0,42	5,52	94,06

технологии и оборудование дают возможность частично или полностью извлекать полезные металлы и минералы из техногенного сырья [2].

Ценные элементы теряются в хвостах обогатительных фабрик, в шлаках, пылях металлургических заводов, улетучиваются с отходящими газами или сбрасываются вместе со сточными водами. Эти потери происходят по основным, но еще в большей степени попутным полезным компонентам и обуславливаются в основном несовершенством существующих методов и технологических схем переработки минерального сырья [3].

Потребности в рудном сырье непрерывно возрастают, что ведет к ускоренной отработке разведанных месторождений, особенно богатых, и к вводу в эксплуатацию месторождений с пониженным содержанием полезных компонентов. Вследствие этого увеличивается количество добываемой горной массы и в перспективе объемы ее будут возрастать.

В стране накоплено порядка 31,6 млрд т промышленных отходов, ежегодно образуется около 1 млрд т. Это, в основном, техногенно-минеральные образования,

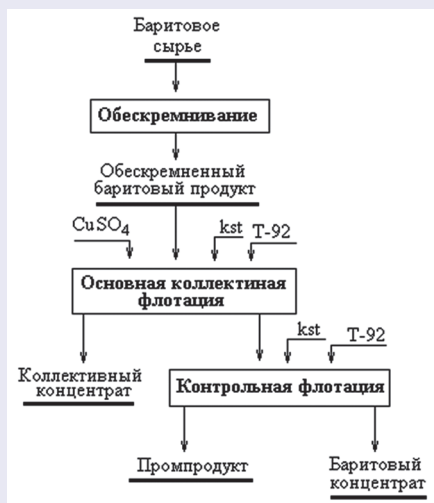


Рис. 1. Схема коллективной флотации обескремненного баритового сырья.

Сурет 1. Кремнийсіздендірілген барит шикізатының ұжымдық флотациялау сызбасы.

Figure 1. Scheme of collective flotation of desilicized barite raw materials.

Таблица 2

Факторы и уровни их варьирования для исследования процесса флотации руды

Кесте 2

Кенді флотациялау процесін зерттеу үшін олардың өзгеру факторлары мен деңгейлері

Table 2

Factors and levels of their variation for the study of the ore flotation process

Фактор	Уровень				
	1	2	3	4	5
Расход медного купороса A , г/т	50	100	150	200	300
Время агитации с медным купоросом τ , мин	1	2	3	4	5
Расход собирателя k , г/т	50	100	200	300	400

Таблица 3

Влияние факторов на извлечение меди в коллективный концентрат при флотации обескремненного баритового продукта

Кесте 3

Кремнийсіздендірілген барит өнімін флотациялау кезінде ұжымдық концентратқа мысты алу факторларының әсері

Table 3

Influence of factors on the extraction of copper into the bulk concentrate during the flotation of the desilicized barite product

№ опыта	Исследуемые факторы			Извлечение меди в концентрат, α , %	
	A , г/т	τ , мин	k , г/т	экспериментальное	расчетное
1	2	3	4	5	6
1	50	1	50	80,03	80,69
2	50	3	200	90,26	90,12
3	50	2	100	85,92	86,05
4	50	5	400	94,03	94,82
5	50	4	300	92,96	92,80
6	150	1	200	89,57	87,72
7	150	3	100	92,23	91,35
8	150	2	400	94,32	93,44
9	150	5	300	98,71	97,45
10	150	4	50	92,22	90,65
11	100	1	100	85,40	84,96
12	100	3	400	94,49	94,79
13	100	2	300	91,86	91,77
14	100	5	50	90,83	90,97
15	100	4	200	94,62	94,18
16	300	1	400	82,00	82,02
17	300	3	300	87,37	86,60
18	300	2	50	79,32	79,70
19	300	5	200	88,57	87,92
20	300	4	100	85,79	84,85
21	200	1	300	87,29	88,00
22	200	3	50	87,24	88,32
23	200	2	200	89,47	90,45
24	200	5	100	92,15	93,03
25	200	4	400	94,80	96,20
Среднее				89,66	89,55

включая вскрышную породу и золашлаки (70%), отходы обрабатывающей промышленности (10%) и прочей деятельности (20%). Оставшийся объем образуемых (около 680 млн т) отходов ежегодно размещается на хвостохранилищах и полигонах¹.

В данной работе исследуемым сырьем является обескремненный баритовый продукт состава (масс. %): SiO_2 – 1,9; $BaSO_4$ – 67,3; Fe – 8,4; Zn – 1,09; Pb – 0,91; Cu – 0,36, полученный при выщелачивании баритового сырья раствором фторида аммония; исходным сырьем для обескремнивания являлись отходы флотационного обогащения баритополиметаллической руды Карагайлинского месторождения² [4-6] в виде отвальных хвостов баритовой флотации состава (масс. %): SiO_2 – 40,9; $BaSO_4$ – 32,6; Al_2O_3 – 5,3; Fe – 4,6; S – 6,8; Zn – 0,6; Pb – 0,5; Cu – 0,2.

Методы исследования

Схема коллективной флотации обескремненного баритового сырья представлена на рис. 1.

По данной схеме проведен один эксперимент. Расход собирателя – 200 г/т, вспенивателя – 100 г/т, сульфата меди – 100 г/т. Результаты эксперимента представлены в табл. 1. Получены удовлетворительные результаты по извлечению в коллективный концентрат меди, цинка и свинца. Железо только на 55,65% перешло в концентрат, что обусловлено присутствием окисленной формы железа, которая при данных условиях не флотируется. Качество баритового концентрата значительно повысилось, достигнув уровня 76,58%.

Следует рассмотреть возможность достижения максимальных показателей по извлечению цветных металлов в коллективный концентрат за счет оптимизации условий флотации обескремненного баритового сырья.

Таблица 4
Экспериментальные и расчетные значения частных функций по флотации баритового продукта

Кесте 4
Барит өнімдерін флотациялау үшін ішінара функциялардың тәжірибелік және есептік мәндері

Table 4
Experimental and calculated values of partial functions for barite product flotation

Функция	Уровни					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
Экспериментальные значения						
α_1	88,64	91,44	93,41	90,19	84,61	89,66
α_2	84,86	88,18	90,32	92,08	92,86	89,66
α_3	85,93	88,30	90,50	91,64	91,93	89,66
Расчетные значения						
α_1	88,84	91,36	92,16	91,24	84,25	89,57
α_2	84,79	88,31	90,37	91,83	92,96	89,65
α_3	86,11	88,17	90,24	91,44	92,30	89,65

Таблица 5
Коэффициент корреляции и его значимость для частных функций по флотации баритового продукта

Кесте 5
Корреляция коэффициенті және оның барит өнімдерін флотациялау үшін ішінара функциялар үшін маңызы

Table 5
Correlation coefficient and its significance for partial functions for barite product flotation

Функция	R	t_r	Значимость функции
α_1	0,956	19,2	значима
α_2	0,998	557,6	значима
α_3	0,992	112,3	значима

С целью определения оптимальных условий коллективной флотации были проведены исследования на обескремненном баритовом продукте по схеме, представленной на рис. 1.

Исследования проведены с привлечением вероятностно-детерминированного метода планирования эксперимента³⁻⁴. Исследовали влияние на извлечение цветных

металлов из обескремненного баритового продукта во флотационный концентрат трех факторов: расхода активатора (медного купороса) и собирателя (бутилового ксантогената калия), времени агитации пульпы с медным купоросом. Пределы изменения факторов представлены в табл. 2.

Для каждого опыта готовили навеску баритового продукта,

¹Информация о сокращении, переработке и вторичном использовании отходов/ [Электронный ресурс]. https://egov.kz/cms/ru/articles/ecology/waste_reduction_recycling_and_reuse

²Янулова М.К. Минералогия скарново-барито-полиметаллического месторождения Карагайлы. – Алма-Ата: АН КазССР, 1962. – Т. 1. – 243 с.

³Мальшев В.П. Вероятностно-детерминированное планирование эксперимента. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 116 с.

⁴Мальшев В.П. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 37 с.

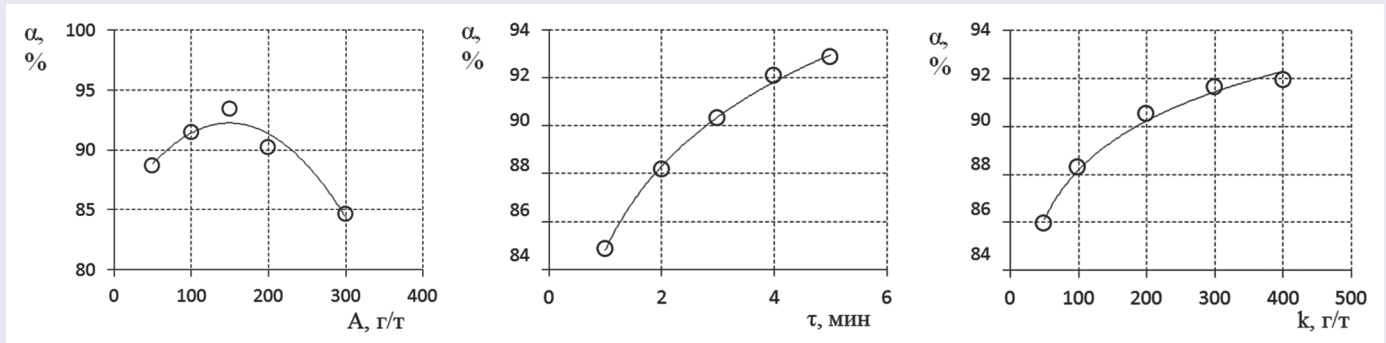


Рис. 2. Зависимости извлечения меди во флотационный концентрат.
Сурет 2. Флотациялық концентратқа мысты алудың тәуелділіктері.
Figure 2. Dependences of copper extraction into flotation concentrate.

которую смешивали во флотационной камере с водой до отношения Т:Ж = 1:4. В камеру помещали заданное количество медного купороса и агитировали в течение заданного времени, затем подавали собиратель с агитацией в 1 мин и вспениватель Т-92 также с агитацией в 1 мин.

Флотацию проводили во флотационной машине ФМЛ с объемом камеры 0,5 л. Время основной флотации – 10 мин, контрольной – 5 мин. Продукты флотации анализировали химическим методом. На основе данных химического анализа определяли извлечение α компонента в продукты флотации. В качестве исследуемого компонента была выбрана медь. Результаты приведены в табл. 3.

Считая за функцию исследования извлечение меди во флотационный концентрат, провели выборку экспериментальных данных по уровням факторов. Выбранные экспериментальные значения частных функций приведены в табл. 4.

По экспериментальным данным построили точечные графики частных зависимостей флотации

баритового продукта от исследуемых факторов (рис. 2).

По точечным данным подобрали аппроксимирующие функции для описания зависимости извлечения меди в концентрат от исследуемых факторов:

$$\alpha_1 = -34,39 \times 10^{-5} A^2 + 0,102A + 84,60. \quad (1)$$

$$\alpha_2 = 5,078 \ln(\tau) + 84,79. \quad (2)$$

$$\alpha_3 = 2,974 \ln(k) + 74,48. \quad (3)$$

По данным уравнениям рассчитали значения частных функций. Результаты расчета приведены в табл. 4. Затем определили коэффициент нелинейной множественной корреляции и через него значимость полученных частных зависимостей. Результаты приведены в табл. 5. Обобщенное многофакторное уравнение для флотации баритового продукта, составленное на основе значимых частных зависимостей, имеет вид:

$$\alpha = (-34,39 \times 10^{-5} A^2 + 0,102A + 84,60) \times [5,078 \ln(\tau) + 84,79] \times [2,974 \ln(k) + 74,48] / 89,66^2. \quad (4)$$

Данное уравнение представляет собой математическую модель процесса коллективной флотации обескремненного баритового продукта. На адекватность этой модели указывают результаты, полученные без предварительного обескремнивания коллективно-селективной флотации баритового сырья, которые значимо коррелируют с экспериментальными данными ($R = 0,98$; $t_R = 105,7$).

Результаты и их обсуждение

Согласно частным зависимостям оптимальными условиями коллективной флотации обескремненного баритового продукта являются расход медного купороса 150 г/т, время агитации пульпы с медным купоросом 5 мин, расход собирателя 400 г/т. Расчет по уравнению (4) при данных оптимальных условиях показал, что извлечение меди в коллективный концентрат составит 98,4% [7].

Коллективная флотация обескремненного баритового продукта при оптимальных условиях показал, что цветные металлы извлекаются при оптимальных условиях на уровне 98%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каткеева Г.Л., Туребекова К.С., Оскембеков И.М., Гизатуллина Д.Р. Разработка схемы получения оксида кремния из баритового сырья. // *Материалы XXV Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья»*. – 2020. – С. 344-348 (на русском языке)
2. Булатов К.В., Газалеева Г.И. Технологические схемы подготовки и глубокого обогащения техногенных отходов, содержащих тонкие шламы. Экологическая составляющая. // *Труды конгресса с международным участием и конференции молодых ученых «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований «Техноген-2019»*. – Екатеринбург, 2019. – С. 45-50 (на русском языке)

3. Бектурганов Н.С. Технологические и экологические аспекты комплексной переработки труднообогатимого минерального и техногенного сырья Казахстана. // *Материалы международного совещания «Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и минерального сырья»: Плаксинские чтения.* – Алматы, 2014. – С. 9-12 (на русском языке)
4. Янулова М.К. О лемонтите Карагайлинского месторождения в Казахстане. // *Записки Всесоюзного минералогического общества. Вторая серия.* – 1956. – Ч. 85. – С. 424-428 (на русском языке)
5. Mustafin E.S. и др. Возможность обогащения отходов рудопереработки Карагайлинского и Жезказганского ГОКа методом сухой сепарации. // *КарГУ. Серия «Химия».* – Караганда, 2020. – С. 117-123 (на английском языке)
6. Han G.H., Wu H.Y., Wang W.J., Huang Y.F. Экспериментальное исследование обескремнивания низкосортных бокситов методом флотации. // *Симпозиум по легким металлам в рамках 147-й ежегодной встречи и выставки TMS.* – 2018. – С. 203-207 (на английском языке)
7. Turebekova K.S. и др. Изучение и разработка технологической схемы выщелачивания баритового сырья. // *Вестник КарГУ. Серия «Химия».* – Караганда. – 2018. – №1. – С. 92-98. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Каткеева Г.Л., Туребекова К.С., Оскембеков И.М., Гизатуллина Д.Р. Барит шикізатынан кремний оксидін алу схемаларын құрастыру. // *XXV халықаралық ғылыми-техникалық конференция материалдары «Рудалар мен техногендік шикізаттарды өңдеудің ғылыми негіздері мен тәжірибесі».* – 2020. – Б. 344-348 (орыс тілінде)
2. Булатов К.В., Газалеева Г.И. Құрамында ұсақ иламы бар өндірістік қалдықтарды дайындау және терең байыту технологиялық схемалары. Экологиялық компонент. // *«Техноген-2019» техногендік түзілістерді өңдеу және кәдеге жарату процестерінің іргелі зерттеулері және қолданбалы дамуы» атты халықаралық қатысумен конгресс және жас ғалымдар конференциясының материалдары.* – Екатеринбург, 2019. – Б. 45-50 (орыс тілінде)
3. Бектурганов Н.С. Қазақстанның отқа төзімді минералды және техногендік шикізатын кешенді өңдеудің технологиялық және экологиялық аспектілері. // *«Табиғи және минералды шикізатты байыту және кешенді өңдеудің прогрессивті әдістері» халықаралық конференция материалдары. Плаксин оқулары.* – Алматы, 2014. – Б. 9-12 (орыс тілінде)
4. Янулова М.К. Қазақстандағы Қарагайлы кен орнының лимониті туралы. // *Бүкілодақтық пайдалы қазбалардың қорлары. Екінші серия.* – 1956. – Бөл. 85. – Б. 424-428 (орыс тілінде)
5. Mustafin E.S. және т.б. Қарагайлы және Жезқазған тау-кен байыту комбинаттарының кен байыту қалдықтарын құрғақ айыру әдісімен байыту мүмкіндігі. // *ҚарМУ. «Химия» сериясы.* – Қарағанды, 2020. – Б. 117-123 (ағылшын тілінде)
6. Han G.H., Wu H.Y., Wang W.J., Huang Y.F. Флотация арқылы төмен сұрыпты боксит кремнийсіздендіруді эксперименттік зерттеу. // *147-ші TMS жыл сайынғы жиналысы мен көрмесіндегі жеңіл металдар симпозиумы.* – 2018. – Б. 203-207 (ағылшын тілінде)
7. Turebekova K.S. және т.б. Барит шикізатын сілтісіздендірудің технологиялық сұлбасын зерттеу және әзірлеу. // *ҚарМУ. «Химия» сериясы.* – Қарағанды. – 2018. – №1. – Б. 92-98 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Katkeeva G.L., Turebekova K.S., Oskembekov I.M., Gizatullina D.R. *Razrabotka sxemy polucheniya oksida kremniya iz baritovogo syr'ya [Development of a scheme for obtaining silicon oxide from barite raw materials]. // Materialy XXV Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii. «Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i texnogennogo syr'ya» = Proceedings of the XXV International Scientific and Technical Conference. «Scientific foundations and practice of processing ores and technogenic raw materials».* – 2020. – P. 344-348 (in Russian)
2. Bulatov K.V., Gazaleeva G.I. *Technologicheskie sxemy podgotovki i glubokogo obogashheniya texnogennyx otxodov, sodержashhix tonkie shlamy. E'kologicheskaya sostavlyayushhaya [Technological schemes for the preparation and deep enrichment of industrial waste containing fine sludge. Environmental component]. // Trudy kongressa s mezhdunarodnym*

uchastiem i konferencii molodyx uchenyx «Fundamental'nye issledovaniya i prikladnye razrabotki processov pererabotki i utilizacii texnogenykh obrazovaniy «Technogen-2019» = Proceedings of the Congress with international participation and the conference of young scientists «Fundamental research and applied development of processes for the processing and disposal of technogenic formations «Technogen-2019». – Yekaterinburg, 2019. – P. 45-50 (in Russian)

3. *Bekturganov N.S. Technologicheskie i e'kologicheskie aspekty kompleksnoj pererabotki trudnoobogatimogo mineral'nogo i texnogenogo syr'ya Kazaxstana [Technological and environmental aspects of the complex processing of refractory mineral and technogenic raw materials of Kazakhstan]. // Materialy mezhdunarodnogo soveshhaniya «Progressivnyye metody obogashheniya i kompleksnoj pererabotki prirodnogo i mineral'nogo syr'ya»: Plaksinskie chteniya Proceedings of the international meeting «Progressive methods of enrichment and complex processing of natural and mineral raw materials»: Plaksinsky readings. – Almaty, 2014. – P. 9-12 (in Russian)*
4. *Yanulova M.K. O lemontite Karagajlinskogo mestorozhdeniya v Kazaxstane [About lemontite of the Karagaily deposit in Kazakhstan]. // Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshhestva = Notes of the All-Union Mineralogical Society. – 1956. – Part 85. – P. 424-428 (in Russian)*
5. *Mustafin E.S. et al. Possibility of enrichment of ore processing waste from Karagaily and Zheskazgan mining plants by dry separation method. // Bulletin of the University of Karaganda. Series «Chemistry». – 2020. – P. 117-123 (in English)*
6. *Han G.H., Wu H.Y., Wang W.J., Huang Y.F. Experimental investigation on desilicization of low-grade bauxite by flotation process // Light metals symposium at the 147th annual TMS meeting and exhibition. – 2018. – P. 203-207 (in English)*
7. *Turebekova K.S. et al. Study and development of the process scheme of leaching of barytic raw material // Bulletin of the KarSU. Series «Chemistry». – Karaganda. – 2018. – №1. – P. 92-98 (in English)*

Сведения об авторах:

Туребекова К.С., докторант кафедры «Нанотехнологии и металлургия» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), kakosh-94@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0338-679X>

Каткеева Г.Л., канд. техн. наук, доцент лаборатории «Химия и технология высококремнистых материалов» Химико-металлургического института им. Ж. Абишева (г. Караганда, Казахстан), katkeeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3910-7599>

Оскембеков И.М., старший научный сотрудник лаборатории «Химия и технология высококремнистых материалов» Химико-металлургического института им. Ж. Абишева (г. Караганда, Казахстан), ilyasosk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3074-3572>

Султангазиев Р.Б., PhD, и.о. доцента кафедры «Нанотехнологии и металлургия» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), sulrus83@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3928-486X>

Авторлар туралы мәлімет:

Туребекова К.С., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Нанотехнологиялар және металлургия» кафедрасының докторанты» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Каткеева Г.Л., техника ғылымдарының кандидаты, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының, «Жоғары кремнийлі материалдардың химиясы және технологиясы» зертханасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Оскембеков И.М., Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының, «Жоғары кремнийлі материалдардың химиясы және технологиясы» зертханасының аға ғылыми қызметкері (Қарағанды қ., Қазақстан)

Султангазиев Р.Б., PhD, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Нанотехнологиялар және металлургия» кафедрасының м.а. доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Turebekova K.S., Doctoral Student at the Department of «Nanotechnology and Metallurgy» of the Non-Commercial Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Katkeeva G.L., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Laboratory «Chemistry and Technology of High-Silicon Materials» of the Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev (Karaganda, Kazakhstan)

Oskembekov I.M., Senior Researcher at the Laboratory «Chemistry and Technology of High-Silicon Materials» of the Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev (Karaganda, Kazakhstan)

Sultangaziev R.B., PhD, Acting Assistant Professor at the Department of «Nanotechnology and Metallurgy» of the Non-Commercial Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)