

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТИРУЕМОСТИ БОРОГИПСА ПЕРЛАСТАНОМ

А.Н. Хатькова¹, Л.Г. Никитина¹, С.А. Патеюк¹

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, e-mail: nikitina-ig@mail.ru

Аннотация: Рассмотрена проблема накопления, хранения, утилизации и переработки отходов различных производств. Выделены преимущества использования техногенного вторичного сырья в качестве источника для получения товарных продуктов. В качестве объекта исследования выбран борогипс, содержащий в своем составе гипс и диоксид кремния, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности. Рассмотрены существующие способы переработки борогипса. Предложен новый флотационный реагент для выделения кремниевоего концентрата из отходов производства борной кислоты. С помощью методов математического планирования проведен многофакторный эксперимент, который позволил выявить оптимальный режим проведения флотации. В качестве факторов выбраны: температура, pH, концентрация основного флотационного реагента, время агитации, а также время проведения флотации. Представлены результаты экспериментального исследования исходного сырья и полученных образцов с помощью современных физико-химических методов (спектрофотометрия, ИК-спектроскопия, растровая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ), которые позволили изучить химический, минеральный составы, а также структуру исследуемых образцов. Проведенные исследования указывают, что перластан ON-60 является перспективным флотореагентом для флотации борогипса.

Ключевые слова: отходы, вторичное сырье, борогипс, диоксид кремния, гипс, перластан ON-60, флотация, флотационный реагент, многофакторный эксперимент.

Для цитирования: Хатькова А. Н., Никитина Л. Г., Патеюк С. А. Исследование флотиреуемости борогипса перластаном // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 160–171. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-160-171.

Floatability of borogypsum with perlasthan

A.N. Khat'kova¹, L.G. Nikitina¹, S.A. Pateyuk¹

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia, e-mail: nikitina-ig@mail.ru

Abstract: The article discusses the problem of accumulation, storage, use and processing of various production waste. Advantages of mining waste use as a source of manufacturing marketable products are emphasized. The study object is selected to be borogypsum containing gypsum and silicon dioxide applicable in different industries. The current processing methods of borogypsum are reviewed. A new flotation agent is proposed to extract silicon concentrate from waste of boric acid production. The mathematical planning methods are used to carry out the multi-factor experiment which reveals the optimal mode of flotation. The selected factors are: the temperature, pH, concentration of the main flotation agent, agitation time, as well as the flotation duration. The data of experimental investigation are presented for initial raw material and produced samples. The investigations were carried out using the modern physicochemical methods (spectrophotometry, IR spectroscopy, scanning electron microscopy, X-ray phase analysis), which made it possible to ana-

lyze chemical and mineralogical compositions, as well as structures of samples. The implemented research shows that perlstan ON-60 is a promising flotation agent for borogypsum.

Key words: waste, secondary raw materials, borogypsum, silicon dioxide, gypsum, perlstan ON-60, flotation, flotation agent, multi-factor experiment.

For citation: Khat'kova A. N., Nikitina L. G., Pateyuk S. A. Floatability of borogypsum with perlstan. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(11):160-171. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-160-171.

Введение

Отходы, образующиеся при добыче и переработке минеральных ресурсов — крупнейшая часть всех отходов в Европейских странах [1]. В связи с этим перспективным направлением становится использование отходов промышленных производств в качестве вторичного сырья. Даже самые загрязненные отходы могут быть вовлечены в повторное использование на 30—40%.

Во многих странах среднего Востока, Северной Африки, Восточной Европы большинство образующихся при производстве отходов не перерабатываются, а просто складироваются в отведенных местах [2].

Недостатком отечественной промышленности является ее высокая ресурсоемкость, обусловленная, в том числе, низким уровнем использования вторичного сырья [3]. Темпы образования отходов значительно опережают процессы их переработки и естественного обезвреживания [4]. Некоторые из этих отходов являются инертными и, следовательно, вряд ли могут представлять значительную угрозу для окружающей среды, однако другие отходы могут содержать большое количество опасных веществ [5]. Поэтому отходы добывающей промышленности должны надлежащим образом управляться для предотвращения или сведения к минимуму загрязнения воды и почвы [6]. При этом, кроме экологической составляющей, использование вторичного сырья может быть выгодно и в экономическом плане [7].

Обеспечение экологической безопасности может осуществляться с помощью разработки и внедрения малоотходных и безотходных технологий, организации переработки отходов и использования вторичного сырья [8]. Внедрение эффективных методов утилизации отходов является одним из приоритетов, что приводит к измеримым экономическим и экологическим последствиям [9].

Дальний Восток России имеет запасы уникального минерального сырья, но существующие в настоящее время технологии переработки не позволяют эффективно его использовать. За годы работы предприятий горнорудной и химической промышленности на Дальнем Востоке накоплены миллионы тонн техногенных отходов, которые в настоящее время не перерабатываются. Так, общее количество отходов производства борной кислоты — борогипса — в Дальневосточном регионе составляет более 25 млн т. Борогипс содержит в своем составе гипс и диоксид кремния, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности [10, 11]. В связи с этим проблема комплексной переработки данных отходов с получением различных функциональных материалов является весьма актуальной задачей [12].

Для флотации гипсосодержащего сырья обычно используются жирнокислотные реагенты [13, 14]. На территории обогатительной фабрики ООО «Дальнегорский ГОК» проведен ряд промышленных испытаний по извлечению кремниевого концентрата, в качестве флотаци-

Таблица 1

Оптимальные условия обратной флотации аморфного кремнезема жидким мылом
Optimal conditions for reverse flotation of amorphous silica with liquid soap

Наименование показателей	Значение
Расход реагента, кг/т шламов борогипса	1,5
Регулятор среды	Сода
Расход регулятора среды, кг/т шламов борогипса	7–10
Температура флотации, °С	35–40
рН	8,5–9,0
Время основной флотации, мин	9
Время контрольной флотации	5

онного реагента использовалось жидкое мыло (ТУ 9144-005-48847668-2012).

В ходе данных испытаний выявлены оптимальные условия флотации при использовании жидкого мыла в качестве флотационного реагента, которые представлены в табл. 1. При проведении такой обратной флотации в лабораторных условиях на обогатительной фабрике удалось достичь выхода в 15% при содержании диоксида кремния 60–65%. Однако при внедрении данной схемы в промышленное производство возникли трудности, связанные с недостаточным выходом продукта.

Целью нашего исследования является разработка новой технологии обогащения отходов производства борной кислоты, обеспечивающей получение кремниевого концентрата с содержанием оксида кремния 50–65%.

Методы

Образцы исследованы фотометрическим методом на приборе КФК-3-1 «ЗОМЗ» на содержание диоксида кремния в них.

ИК-спектры регистрировали инфракрасным Фурье-спектрометром SHIMADZU FTIR-8400S в области 4000–400 см⁻¹ на таблетках с KBr.

Морфологию и химический состав исследуемых образцов изучили на растворах электроном микроскопе (РЭМ) JSM-6510LV JEOL (Япония) с системой

микроанализа — энергодисперсным рентгеновским спектрометром модели INCA Energy 350, Oxford Instruments (Великобритания) при увеличении в 500 и 1000 раз. Пробоподготовку для анализа осуществляли путем нанесения образца в виде порошка на двусторонний электропроводящий углеродный скотч с последующим напылением на основу платиновой пленки.

Для определения минерального состава проведен рентгенофазовый анализ. Образцы истирали в агатовой ступке со спиртом и исследовали методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.0, излучение — CuK α , Ni — фильтр, V = 25 кВ, I = 20 мА, в диапазоне 5–65° 2 θ , шаг сканирования — 0,05°. Фазовый состав проб расшифрован с помощью программы поиска фаз (Diffraclus, PDF-2, 2007 г).

Результаты

В качестве объекта исследования выбрана проба отходов от производства борной кислоты — борогипс, полученная от ООО «Дальнегорский ГОК». Предварительный химический и минералогический составы (по данным ООО «Дальнегорский ГОК») указаны в табл. 2.

Нами предложен новый флотационный реагент перластан ON 60 для получения кремниевого концентрата обратной флотацией. Перластаны — торговая мар-

Таблица 2

**Предварительный химический и минералогический составы борогипса
(по данным ООО «Дальнегорский ГОК»)
Preliminary chemical and mineralogical compositions of borogypsum
(according to the data of «Dalnegorsky GOK» LLC)**

Химический состав		Минералогический состав	
наименование показателей	содержание, %	наименование показателей	содержание, %
SO ₃	27–32	гипс двухводный	50–56
CaO	23–28	ангидрит	11–22
SiO ₂	19–28	аморфный кремнезем	16–22
B ₂ O ₃	0,5–2,1	борная кислота	1–3
Al ₂ O ₃	0,3–0,8	неразложившиеся минералы	4–12
Fe ₂ O ₃	0,7–3,0		
MgO	0–0,2		
K ₂ O + Na ₂ O	0,1–0,3		
влага гидратная	12–15		

ка анионоактивных поверхностных веществ N-ацил-саркозинового ряда. Перластан-ON 60 — одна из нескольких выпускаемых модификаций. Химический состав: олеил саркозинат натрия. Перластаны по химизму подобны жирным кислотам и по своей реакционной способности ведут себя как модифицированные жирные кислоты. Важной особенностью перластанов является их хорошие смачивающие и пенообразующие свойства. Кроме того, они не чувствительны к жесткой воде и растворам электролитов. Перластан ON-60 хорошо зарекомендовал себя при флотации неметаллических флюоритовых руд [15], и он является

перспективным флотореагентом для борогипса.

Для установления оптимальных условий проведения флотации нами использована методика рационального планирования многофакторного эксперимента [16], в основу которой положена нелинейная множественная корреляция, а также известная формула М.М. Протодьяконова, предложенная им для обработки статистических данных. Новая форма уравнения, имеющая ограничения по теоретическому максимуму, и показывает его применимость для описания кинетических зависимостей. Используются статистические критерии, с помо-

Таблица 3

**Факторы, влияющие на обратную флотацию аморфного кремнезема
Factors influencing reverse flotation of amorphous silica**

Фактор	Уровни				
	1	2	3	4	5
X1 — Температура флотации, °С	10	15	20	25	30
X2 — pH флотации	5,5	6,5	7,5	8,5	9,0
X3 — Концентрация перластана, г/т	200	250	300	350	400
X4 — Время агитации, с	60	90	120	150	180
X5 — время флотации, мин	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Таблица 4

Результаты многофакторного эксперимента обратной флотации аморфного кремнезема перластаном

The results of a multifactorial experiment of reverse flotation of amorphous silica by perlstan

№	T, °C	pH	C, г/т	t _а , с	t _ф , мин	Продукт	γ, %	β, %	ε, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	5,5	200	60	4	пенный	25,59	20,56	20,17
						камерный	74,41	27,98	79,83
						исходный	100	26,28	100
2	10	7,5	300	120	5	пенный	26,25	14,31	14,09
						камерный	73,75	31,05	85,91
						исходный	100	26,28	100
3	10	6,5	250	90	4,5	пенный	21,19	15,48	12,27
						камерный	78,81	29,76	87,73
						исходный	100	26,28	100
4	10	9,0	400	180	6	пенный	32,82	14,43	17,79
						камерный	67,18	32,57	82,21
						исходный	100	26,28	100
5	10	8,5	350	150	5,5	пенный	29,06	15,58	17,49
						камерный	70,94	30,11	82,51
						исходный	100	26,28	100
6	20	5,5	300	90	6	пенный	25,59	17,46	16,77
						камерный	74,41	29,80	83,23
						исходный	100	26,28	100
7	20	7,5	250	180	5,5	пенный	28,11	14,84	15,87
						камерный	71,89	30,75	84,13
						исходный	100	26,28	100
8	20	6,5	400	150	4	пенный	32,37	16,31	20,61
						камерный	67,63	30,07	79,39
						исходный	100	26,28	100
9	20	9,0	350	60	5	пенный	33,02	14,66	18,21
						камерный	66,98	32,47	81,79
						исходный	100	26,28	100
10	20	8,5	200	120	4,5	пенный	23,49	14,85	13,06
						камерный	76,51	30,36	86,94
						исходный	100	26,28	100
11	15	5,5	250	150	5	пенный	22,54	16,13	13,63
						камерный	77,46	29,74	86,37
						исходный	100	26,28	100
12	15	7,5	400	60	4,5	пенный	30,16	13,84	16,51
						камерный	69,84	30,22	83,49
						исходный	100	26,28	100

13	15	6,5	350	120	6	пенный	28,60	15,57	17,39
						камерный	71,40	29,63	82,61
						исходный	100	26,28	100
14	15	9,0	200	90	5,5	пенный	21,63	15,34	13,16
						камерный	78,37	27,95	86,84
						исходный	100	26,28	100
15	15	8,5	300	180	4	пенный	30,29	16,03	18,32
						камерный	69,71	31,05	81,68
						исходный	100	26,28	100
16	30	5,5	400	120	5,5	пенный	43,68	18,09	29,75
						камерный	56,32	33,13	70,25
						исходный	100	26,28	100
17	30	7,5	350	90	4	пенный	43,03	15,34	25,36
						камерный	56,97	34,10	74,64
						исходный	100	26,28	100
18	30	6,5	200	180	5	пенный	29,72	12,71	14,24
						камерный	70,28	32,38	85,76
						исходный	100	26,28	100
19	30	9,0	300	150	4,5	пенный	43,05	13,54	22,22
						камерный	56,95	35,82	77,78
						исходный	100	26,28	100
20	30	8,5	250	60	6	пенный	34,90	15,26	20,14
						камерный	65,10	32,44	79,86
						исходный	100	26,28	100
21	25	5,5	350	180	4,5	пенный	32,50	18,56	23,59
						камерный	67,50	28,95	76,41
						исходный	100	26,28	100
22	25	7,5	200	150	6	пенный	30,39	13,75	16,13
						камерный	69,61	31,21	83,87
						исходный	100	26,28	100
23	25	6,5	300	60	5,5	пенный	35,25	14,37	19,87
						камерный	64,75	31,54	80,13
						исходный	100	26,28	100
24	25	9,0	250	120	4	пенный	35,52	13,52	19,00
						камерный	64,48	31,76	81,00
						исходный	100	26,28	100
25	25	8,5	400	90	5	пенный	46,37	14,32	26,21
						камерный	53,63	34,85	73,79
						исходный	100	26,28	100

Таблица 5

Результаты обратной флотации аморфного кремнезема в оптимальных условиях многофакторного эксперимента
Results of reverse flotation of amorphous silica under optimal conditions of a multifactor experiment

Оптимальный режим флотации		Результаты эксперимента проведенного при оптимальных условиях		
Параметр	Значение	Параметр	Прогнозируемое значение	Реальное значение
Температура, °С	15	содержание SiO ₂ в камерном продукте, %	30,61	30,64
pH	6,5			
С осн. флотации, г/т	200	извлечение SiO ₂ в камерный продукт, %	83,49	83,17
Время агитации, с	180			
Время флотации, мин	4,5			

стью которых можно оценить значимость частных и обобщенных зависимостей. Методом рекомендованы ускоренные приемы алгебраического описания частных зависимостей. В табл. 3 представлены уровни изучаемых факторов.

После проведения пятифакторного эксперимента полученные образцы исследованы на содержание диоксида кремния фотометрическим методом [17]. Матрица эксперимента, а также результаты проведенных исследований представлены в табл. 4.

Анализируя полученные результаты, исходя из реальных условий процесса флотации минеральных частиц, подобрали оптимальный режим флотации. В табл. 5 представлены результаты флотации, про-

веденной в оптимальном режиме. Как видно из таблицы, при максимизации извлечения содержание диоксида кремния в камерном продукте остается достаточно низким.

Также нами проведен эксперимент, направленный на максимизацию содержания диоксида кремния в камерном продукте, включающий в себя контрольную обратную флотацию. Параметры флотации и полученные результаты указаны в табл. 6.

После проведения контрольных экспериментов исходный продукт и полученные образцы изучены разными физико-химическими методами, такими как: ИК-спектроскопия, растровая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ.

Таблица 6

Результаты обратной флотации аморфного кремнезема в предлагаемом режиме
The results of the reverse flotation of amorphous silica in the proposed mode

Режим флотации		Результаты	
параметр	значение	параметр	значение
Температура, °С	30	выход SiO ₂ в камерный продукт, %	36,77
pH	7,91		
С осн. флотации, г/т	400	содержание SiO ₂ в камерном продукте, %	46,27
С контр. флотации, г/т	200		
Время агитации, с	180		
Время осн. флотации, мин	4,5	извлечение SiO ₂ в камерный продукт, %	65,15
Время контр. флотации, мин	4,5		

Обсуждение результатов

На ИК-спектрах (рис. 1) валентные колебания Si-O-Si групп (области 1094 см^{-1} , 466 см^{-1}) относятся к содержанию диоксида кремния, а колебания SO_4 групп (области 1153 см^{-1} , 665 см^{-1} , 600 см^{-1}) — к содержанию гипса и ангидрида в образцах. Изменение относительной интенсивности полос поглощения, принадлежащих валентным колебаниям диоксида кремния и гипса, измеряли по отношению к интенсивности полосы поглощения, принадле-

жащих валентным колебаниям Si-O-Si групп в области 1094 см^{-1} [17].

Относительная интенсивность полос поглощения валентных колебаний SO_4 групп увеличивается в результате флотации, что свидетельствует о переходе гипса в пенные продукты. В свою очередь, возрастание относительной интенсивности полос поглощения Si-O-Si групп в камерном продукте указывает на повышение концентрации диоксида кремния в нем.

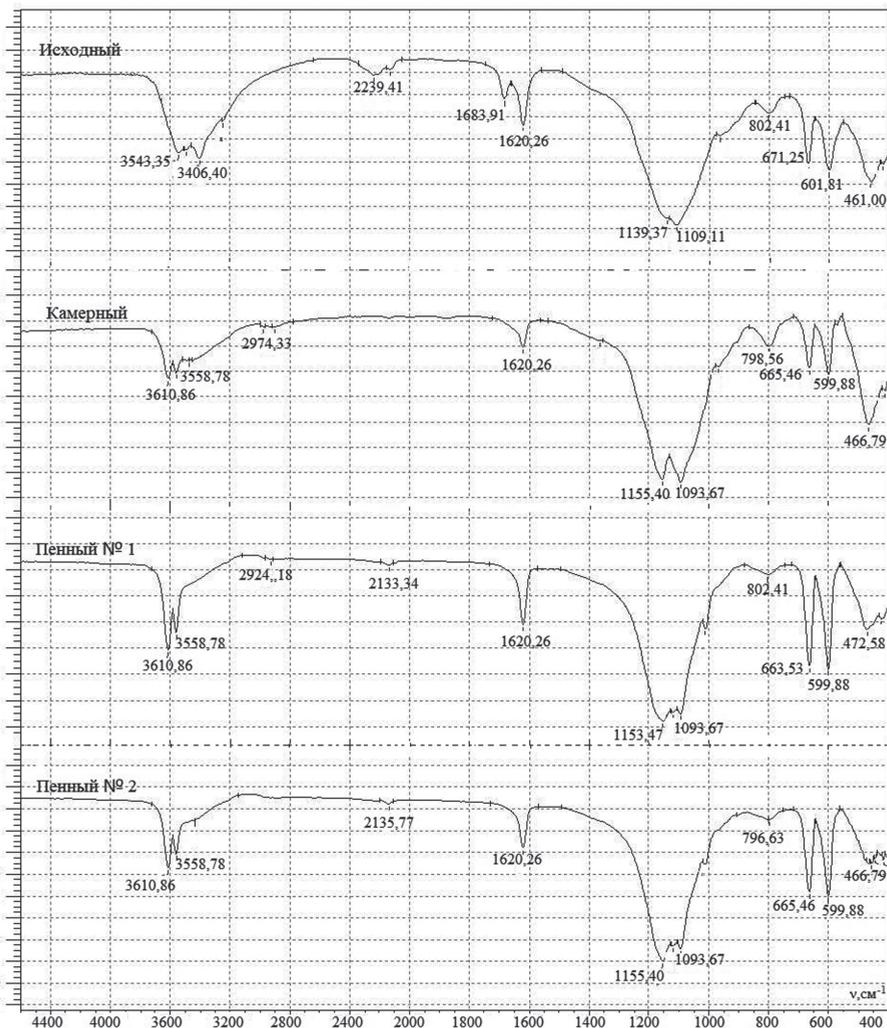


Рис. 1. ИК-спектры исследуемых образцов

Fig. 1. IR spectra of tested samples

Таблица 8

Результаты РЭМ полученных продуктов
SEM results of the obtained products

Продукт	Si	S	Ca	O	Другие элементы
Исходный	12,72	9,63	13,53	61,23	2,89
Пенный № 1	9,13	13,55	19,26	56,25	1,81
Пенный № 2	4,61	13,18	22,04	58,49	1,68
Камерный	18,12	7,78	11,90	56,80	5,40

Таблица 9

Результаты РФА полученных продуктов
The results of the XRF of the obtained products

Продукт	Фазовый состав
Исходный	гипс, ангидрит, следы кварца, возможно следы пироксена
Пенный № 1	гидросульфат кальция, ангидрит
Пенный № 2	гидросульфат кальция, ангидрит, следы кварца
Камерный	гидросульфат кальция, ангидрит, кварц

Результаты исследования химического состава образцов растровой электронной микроскопией приведены в табл. 8.

Анализ показал, что большая часть Ca и S после флотации перешли в пенные продукты, забирая с собой незначительные количества Si. Это позволяет значительно увеличить содержание Si в камерном продукте.

Установлено, что образцы имеют сложный рельеф микроповерхности, образованный кристаллами и агрегатами, представленными в большинстве случа-

ев тонкодисперсной массой. Минимальный и максимальный диаметр Ферета агрегатов представлен на рис. 2.

Из рис. 1 следует, что камерный продукт отличается более высокодисперсной структурой. В результате флотации происходит агрегация частиц, о чем свидетельствует увеличение максимального диаметра Ферета частиц в пенном № 2 продукте, в сравнении с исходным образцом.

Результаты рентгенофазового анализа представлены в табл. 9.

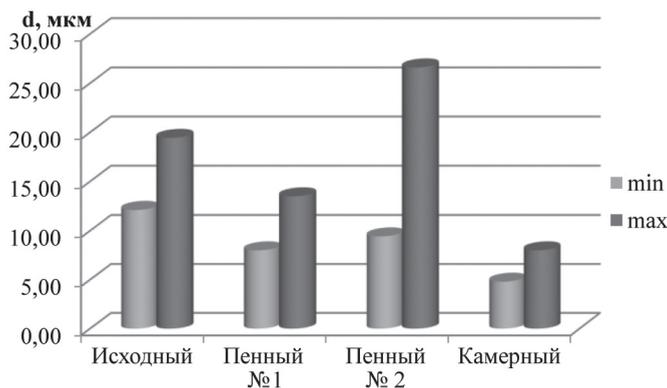


Рис. 2. Минимальный и максимальный диаметр Ферета агрегатов частиц на микрофотографиях РЭМ
 Fig. 2. The minimum and maximum Feret particle diameter of particle aggregates on SEM micrographs

Рентгенофазовый анализ подтверждает, что после технологического передела практически весь диоксид кремния остается в камерном продукте, лишь следовые количества переходят во второй пенный продукт.

Заключение

Таким образом, проведенные физико-химические исследования образцов подтвердили, что перластан ON-60 является подходящим флотореагентом для флотации борогипса. Перластан ON-60 слабо зависит от pH среды и флотирует практически при любом pH, что является несомненным преимуществом, так

как применение перластана ON-60 не влечет за собой использование дополнительных реагентов. Также перластан ON-60 позволяет проводить флотацию в менее высокотемпературном режиме (30 °С) и значительно сокращает время проведения процесса.

Однако, стоит отметить, что для улучшения качества получаемых продуктов необходимы дополнительные перечистные операции, либо предварительная обработка борогипса. Нами запланированы исследования, направленные на модификацию данной технологии извлечения кремниевого концентрата из отходов производства борной кислоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pullum L. V., Boger D. Sofra F. Hydraulic Mineral Waste Transport and Storage // Annual Review of Fluid Mechanics. 2018. Vol. 50. Pp. 157–185.
2. Negm A. M., Shareef N. Waste Management in MENA Regions. — Switzerland: Springer, 2019. Pp. 1–11.
3. Сагдеева Г. С., Патракова Г. Р. Переработка отходов производства и потребления с использованием их ресурсного потенциала // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — № 6. — С. 194–198.
4. Никифоров И. В., Мустафин И. А., Гильмутдинов А. Т., Ахметов А. Ф., Лапшин И. Г. Исследование композиций котельного топлива на базе продуктов переработки нефтешлама и остатков нефтехимических производств // Башкирский химический журнал. — 2016. — № 3. — С. 89–93.
5. Oelofse S. H. N., Hobbs P. J., Rascher J., Cobbing J. E. The pollution and destruction threat of gold mining waste on the Witwatersrand — A West Rand case study / 10th International symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP, 2007) (Bangkok, Thailand, 11–13 December 2007) / editorial board: Dr. Raj Singhal et. Mine Planning and Equipment Selection, USA, 2007, 973 p.
6. European commission URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/mining/index.htm> (дата обращения 26.02.2019).
7. Singhanian R. R., Agarwal R. A., Kumar R. P., Sukumaran R. K. Waste to Wealth. Singapore: Springer, 2018, Pp. 1–15.
8. Амадзиева Н. А., Хизриев А. Ш. Возобновляемая энергетика как один из факторов энергосбережения на сельских территориях республики Дагестан // Региональные проблемы преобразования экономики. — 2016. — № 2 (64). — С. 90–96.
9. Kudelko J. Effectiveness of mineral waste management // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2018. No 1–9. Pp. 440–448. DOI: 1080/17480930.2018.1438036.
10. Сугопяко Д. В., Зенитова Л. А. Диоксид кремния как армирующий наполнитель полимерных материалов // Вестник Казанского технологического университета. — 2015. — Т. 18. — № 5. — С. 94–100.
11. Халиуллина А. А., Мусин И. Н., Ксембаев С. С., Салахов А. К., Разина И. С. Разработка зубочелюстного тренажера с использованием полимерных композиционных материалов // Вестник казанского технологического университета. — 2013. — № 5(16). — С. 94–96.
12. Гордиенко П. С., Козин А. В., Ярусова С. Б., Згиблый И. Г. Комплексная переработка отходов производства борной кислоты с получением материалов для стройиндустрии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № S4–9. — С. 60–66.

13. Bulut G., Atak S., Tuncer E. Celestite-gypsum separation by flotation // *The Canadian Journal of Metallurgy and Materials Science*. 2008. Issue 2. Vol. 47. Pp. 119–126.
14. Matsuno T., Kadota M., Ishiguro Y. Separation of Gypsum by the Flotation Process. *Bulletin of the Society of Salt Science*. 1958. Vol. 12. Issue 2. Pp. 73–78.
15. Долгих О.Л. Использование реагента перластана как альтернативы олеиновой кислоте при флотации флюорита // *Вестник Забайкальского государственного университета*. — 2012. — № 9 (88). — С. 20–26.
16. Малышев В.П. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента. — Алма-Ата: Наука, 1977. — 35 с.
17. Ефимова А.И. Специальный физический практикум. Инфракрасная спектроскопия наноструктурированных полупроводников и диэлектриков. — М.: МГУ, 2014. — 32 с. **ИДБ**

REFERENCES

1. Pullum L. V., Boger D. Sofra F. Hydraulic Mineral Waste Transport and Storage. *Annual Review of Fluid Mechanics*. 2018. Vol. 50. Pp. 157–185.
2. Negm A. M., Shareef N. *Waste Management in MENA Regions*. Switzerland: Springer, 2019. Pp. 1–11.
3. Sagdeeva G. S., Patrakova G. R. Recycling of production and consumption waste using their resource potential. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014, no 6, pp. 194–198. [In Russ].
4. Nikiforov I. V., Mustafin I. A., Gil'mutdinov A. T., Akhmetov A. F., Lapshin I. G. Study of boiler fuel compositions based on sludge processing products and petrochemical residues. *Bashkirskiy khimicheskij zhurnal*. 2016, no 3, pp. 89–93. [In Russ].
5. Oelofse S. H. H., Hobbs P. J., Rascher J., Cobbing J. E. The pollution and destruction threat of gold mining waste on the Witwatersrand. A West Rand case study. *10th International symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP, 2007)* (Bangkok, Thailand, 11–13 December 2007). editorial board: Dr. Raj Singhal et. Mine Planning and Equipment Selection, USA, 2007, 973 p.
6. *European commission* URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/mining/index.htm> (accessed 26.02.2019).
7. Singhanian R. R., Agarwal R. A., Kumar R. P., Sukumaran R. K. *Waste to Wealth*. Singapore: Springer, 2018, Pp. 1–15.
8. Amadzieva N. A., Khizriev A. Sh. Renewable energy as one of the factors of energy saving in the rural territories of the Republic of Dagestan. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki*. 2016, no 2 (64), pp. 90–96. [In Russ].
9. Kudelko J. Effectiveness of mineral waste management. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2018. No 1–9. Pp. 440–448. DOI: 1080/17480930.2018.1438036.
10. Sugonyako D. V., Zenitova L. A. Silicon dioxide as a reinforcing filler of polymeric materials. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. Vol. 18, no 5, pp. 94–100. [In Russ].
11. Khaliullina A. A., Musin I. N., Ksembaev S. S., Salakhov A. K., Razina I. S. Development of a dental-maxillary simulator using polymeric composite materials. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013, no 5(16), pp. 94–96. [In Russ].
12. Gordienko P. S., Kozin A. V., Yarusova S. B., Zgiblyy I. G. Complex processing of waste production of boric acid to produce materials for the construction industry. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no S4–9, pp. 60–66. [In Russ].
13. Bulut G., Atak S., Tuncer E. Celestite-gypsum separation by flotation. *The Canadian Journal of Metallurgy and Materials Science*. 2008. Issue 2. Vol. 47. Pp. 119–126.
14. Matsuno T., Kadota M., Ishiguro Y. Separation of Gypsum by the Flotation Process. *Bulletin of the Society of Salt Science*. 1958. Vol. 12. Issue 2. Pp. 73–78.
15. Dolgikh O. L. Use of perlstan reagent as an alternative to oleic acid during fluorite flotation. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012, no 9 (88), pp. 20–26. [In Russ].
16. Malyshev V. P. *Matematicheskoe planirovanie metallurgicheskogo i khimicheskogo eksperimenta* [Mathematical planning of metallurgical and chemical experiment], Alma-Ata, Nauka, 1977, 35 p.
17. Efimova A. I. *Spetsial'nyy fizicheskij praktikum. Infrakrasnaya spektroskopiya nanostrukturirovannykh poluprovodnikov i dielektrikov* [Special physical workshop. Infrared spectroscopy of nanostructured semiconductors and dielectrics], Moscow, MGU, 2014, 32 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Хатькова Алиса Николаевна*¹ — д-р техн. наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе, e-mail: Alisa1965.65@mail.ru,

*Никитина Людмила Георгиевна*¹ — канд. техн. наук, доцент, заместитель декана по учебной деятельности горного факультета, e-mail: nikitina-ig@mail.ru,

*Патеюк Сергей Андреевич*¹ — аспирант, e-mail: nesvvik@gmail.com,

¹ Забайкальский государственный университет.

Для контактов: Никитина Л.Г., e-mail: nikitina-ig@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*A.N. Khat'kova*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

Vice-Rector for Research and Innovation, e-mail: Alisa1965.65@mail.ru,

*L.G. Nikitina*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Deputy Dean for Educational Activities of the Mining Faculty, e-mail: nikitina-ig@mail.ru,

*S.A. Pateyuk*¹, Graduate Student, e-mail: nesvvik@gmail.com,

¹ Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.

Corresponding author: L.G. Nikitina, e-mail: nikitina-ig@mail.ru.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОВЕДЕНИЯ С СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКОЙ И ОСТАВЛЕНИЕМ ПОРОДЫ В ШАХТЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОЩНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПЛАСТА (2019, СВ 28, 12 с.)

Белодедов Андрей Алексеевич — канд. техн. наук, доцент, и.о. зав. кафедрой, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, e-mail: a.a.belodedov@mail.ru.

Выполнен анализ состояния горных работ на действующих угольных шахтах Российского Донбасса, установлены проблемы снижения эффективности разработки и определены пути их повышения. Разработана методика, согласно которой выполнена оценка технологий с селективной выемкой и оставлением породы в шахте, и установлена эффективная область применения схем в зависимости от мощности разрабатываемого пласта.

Ключевые слова: шахта, горные работы, производственная мощность, горная выработка, проведение, технологическая схема, угольный пласт, выемка, зольность, порода, закладка, выработанное пространство, эффективность.

STUDY THE EFFECTIVE APPLICATIONS OF TECHNOLOGICAL SCHEMES OF SELECTIVE EXTRACTION AND SEPARATION OF ORE IN THE MINE DEPENDING ON THE POWER OF THE DEVELOPED LAYER

A.A. Belodedov, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Acting Head of Chair, M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 346428, Novocherkassk, Russia, e-mail: a.a.belodedov@mail.ru.

The article analyses the state of mining operations at existing coal mines in the Russian Donbass, established the problem of reducing the efficiency of development and identifies ways of improving them. A technique is developed, according to which the evaluated technologies with the selective extraction and abandonment of the rocks in the mine, and the effective scope of the schemes, depending on the capacity of the producing formation.

Key words: mine, mining, production capacity, excavation, conduct, the technological scheme, coal layer, recess, ash, breed, bookmark, the mined-out space, efficiency.