Исследование влияния дзета-потенциала поверхности минералов на процесс флотации касситерита

Газалеева Г. И.^{1*}, Назаренко Л. Н.¹, Дмитриева Е. Г.¹

¹ Научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: gazaleeva_gi@umbr.ru

Реферат

Введение. Использование флотации для дополнительного извлечения олова и повышения комплексности использования сырья является одной из основных тенденций развития технологии обогащения оловянных руд.

Цель работы. Целью исследований является выявление механизма воздействия реагентов на поверхность частиц пульпы в процессе флотации оловосодержащих продуктов, содержащих касситерит.

Методология. Исследования проводились с измерением величины дзета-потенциала пульпы на электроакустическом спектрометре Dispersion DT-310 фирмы Dispersion Technology Inc., США. Объектом исследований являлись продукты перемешивания коллективного концентрата, полученного из шламовых хвостов обогащения Солнечного ГОКа (Хабаровский край). Проводилась последовательная обработка поверхности исходного продукта следующими реагентами: гексаметафосфатом натрия, керосином, жидким стеклом, сернокислым алюминием и реагентом-собирателем «Аспарал-Ф» с замерами дзета-потенциала. Одновременно проводились открытые флотационные опыты с фракционированным съемом пенного продукта.

Результаты. Результаты исследований показали, что основное влияние на дзета-потенциал пульпы оказывает депрессор – сернокислый алюминий. При его расходе 800 и 1600 г/т величина дзета-потенциала снижается до уровня $-1,3 \dots -1,4$ мВ, имея отрицательный экстремум. При дальнейшем увеличении расхода депрессора до 2400 г/т происходит резкий скачок дзета-потенциала до плюсовых значений. Изучение зависимости величины дзета-потенциала от расхода реагента-собирателя «Аспарал-Ф» показало, что увеличение расхода собирателя до 400 г/т вызывает резкий скачок и смену знака потенциала с «плюса» на «минус» ($-0,05$ мВ), а пересечение кривой с нулевой точкой позволяет определить оптимальный его расход – 360 г/т. Флотация исходного продукта с фракционным съемом пены показала, что именно этот скачок обусловил рост качества фракций с 0,40 до 1,04 % по содержанию олова. Дальнейшая переработка полученного флотационного оловянного продукта по гравитационной схеме позволила получить кондиционный оловянный концентрат с содержанием олова 24,8 %.

Выводы. Исследование процесса оловянной флотации тонких промпродуктов технологической схемы переработки хвостов Солнечного ГОКа с измерением значений дзета-потенциала пульпы выявило закономерности влияния данного показателя на результаты флотации и оптимальные расходы флотационных реагентов.

Ключевые слова: флотация; дзета-потенциал; реагент-собиратель; фракционный съем пенного продукта; концентрационный стол; касситерит; оловянный концентрат.

Введение. Целью исследований является выявление механизма взаимодействия реагентов с минеральными частицами в процессе флотации оловосодержащих продуктов, содержащих касситерит. Использование флотации для дополнительного извлечения олова и повышения комплексности использования сырья

является одной из основных тенденций развития технологии обогащения оловянных руд. В первую очередь флотации подвергаются шламы кварц-касситеритовых и сульфидно-касситеритовых руд, потери олова с которыми достигают 25–30 % [1].

Сложность проблемы селективной флотации касситерита и получения богатых концентратов обусловлена следующим.

Во-первых, главные разделяемые минералы – касситерит и кварц – не флотируются без предварительной активации поверхности катионами металлов, с которыми мог бы взаимодействовать анионный собиратель. Эти минералы активируются практически одними и теми же катионами, что приводит к нивелированию флотационного поведения разделяемых минералов.

Во-вторых, степень активации и характер активирующих касситерит катионов изменяются в зависимости от состава сопутствующих минералов и генезиса месторождения. Решение проблемы селективной флотации касситерита ведется как в направлении изыскания новых эффективных собирателей, так и по пути подбора условий избирательной депрессии минералов пустой породы. Ранее [2–5] были испытаны следующие флотационные реагенты: собиратели – олеат натрия, oleиновая, гептиловая, ундециловая, нониловая, гидроксамовая кислоты, «Аспарал-Ф», ИМ-50, «Флотол-7.9»; регуляторы среды и модификаторы – жидкое стекло, керосин, кремнефтористый натрий и др. В настоящее время производство большинства из этих реагентов в России прекращено.

ОАО «Уралмеханобр» в 2017 г. разработал схему [6, 7] обогащения шламовых хвостов Солнечного ГОКа (Хабаровский край) [8]. По схеме был получен коллективный концентрат, который подвергался доводке магнитными, флотационными и гравитационными методами [9, 10] с использованием во флотации различных реагентов: собирателей касситерита, вспенивателей и депрессоров породных минералов.

В статье описаны результаты исследований по обоснованию применения флотационных реагентов с использованием замеров дзета-потенциала (ζ -потенциала) пульпы. Номенклатура реагентов для исследований была предоставлена фирмой BAFS, а также закуплена в Китае.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись продукты перемешивания коллективного концентрата (промпродукт –0,029 мм), полученного из шламовых хвостов обогащения Солнечного ГОКа. Схема перемешивания представлена на рис. 1. Содержание основных химических элементов в исходном продукте составляет: Sn – 0,56 %; Cu – 0,065 %; As – 3,01 %; WO₃ – 1,20 %.

Основным методом исследований явилось измерение ζ -потенциала пульпы [11, 12] при последовательной подаче реагентов в процессе флотации. Цель измерения ζ -потенциала состояла в выявлении закономерностей взаимодействия различных флотационных реагентов: диспергатора, модификатора, регулятора среды, депрессора и собирателя – с поверхностью минерала. В качестве диспергатора, модификатора и регулятора среды использовались соответственно зарекомендовавшие себя ранее гексаметафосфат натрия (ГМФ), керосин и жидкое стекло. Расходы данных реагентов также были обоснованы результатами предыдущих исследований [7]. Измерение ζ -потенциала пульпы проводилось на электроакустическом спектрометре Dispersion DT-310 фирмы Dispersion Technology Inc., США. Прибор применяется для измерения ζ -потенциала, pH, средних размеров частиц, динамической вязкости и удельной электрической проводимости различных жидких систем. Принцип действия прибора основан на возбуждении ультразвуковых колебаний в исследуемом образце жидкости или жидкой дисперсии и дальнейшем измерении скорости звука, тока колебаний коллоидной системы и спектра затухания ультразвука. Прибор состоит из сенсорного блока и ПЭВМ со

специализированным программным обеспечением, позволяющим обрабатывать и отображать результаты измерений. В первую очередь были измерены показатели для основных чистых реагентов и исходной пульпы (табл. 1).

Результаты и их обсуждение. Измерение ζ -потенциала проводилось на исходных продуктах питания оловянной флотации по мере подачи реагентов. В качестве собирателя был исследован реагент «Аспарал-Ф». Основа реагента «Аспарал-Ф» – это водный раствор или водная паста тетранатриевой соли NH-октадецил-N-сульфосукциноиласпарагиновой кислоты. Содержание твердого в пульпе составляло 20 %. Результаты измерений представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Рис. 1. Схема перечистки коллективного концентрата переработки шламовых хвостов Солнечного ГОКа
Fig. 1. Scheme of sludge tailings bulk concentrate rewashing at Solnechny enrichment plant

В первую очередь был измерен ζ -потенциал исходной пульпы. Он составил $-0,31$ mV. После подачи раствора ГМФ (расход 80 г/т) ζ -потенциал пульпы снизился до $-0,37$ mV.

Подача керосина (1000 г/т) практически не повлияла на значение ζ -потенциала, который составил $-0,37$ mV. При добавлении жидкого стекла (80 г/т) значение ζ -потенциала снизилось до $-0,39$ mV. Показатель pH пульпы при этом остался на уровне 6,3–6,36. Изучение механизма воздействия этих реагентов не входило в задачи настоящих исследований. Однако в данном случае модификаторы могут связывать ионы в пульпе, служить диспергаторами шламов и осадка солей, а также воздействовать на минералы пустой породы, такие как депрессоры. Возможен и синергетический эффект.

Следующим этапом исследований было измерение ζ -потенциала при дозированном добавлении депрессора (сернокислый алюминий) в пульпу, содержащую остальные реагенты. Депрессор подавался дробно, его расход увеличивался до

тех пор, пока ζ -потенциал пульпы не изменил заряд, и не пересек «нулевую точку». ζ -потенциал пульпы сначала снизился с $-0,39$ до $-1,26$ mV, а затем увеличился до $+0,04$ mV.

Далее замеры проводились с добавлением собирателя. Его расход увеличивали до смены знака заряда ζ -потенциала. По графикам определяли расход депрессора и собирателя в «нулевой точке». Оптимальный расход сернокислого алюминия составил 2400 г/т, реагента «Аспарал-Ф» – 360 г/т.

Таблица 1. Дзета-потенциал исходной пульпы и растворов реагентов

Table 1. Adsorption potential of initial pulp and reagent solutions

Реагент	Концентрация по массе, %	pH	ζ -потенциал, mV	Толщина ДЭС, нм	Коагулируемость, доли ед.
Исходная пульпа	20	6,30	$-0,31$	нет данных	нет данных
Аспарал-Ф	1	7,70	1,61	16,19	0,029
Сернокислый алюминий	10	2,85	1,79	нет данных	0,033
Гексаметафосфат натрия (ГМФ)	1	6,53	$-2,43$	нет данных	$-0,010$

ДЭС – двойной электрический слой.

Параллельно проводился открытый флотационный опыт с фракционным съемом пены [13, 14]. Содержание Sn в полученных фракциях приведено в табл. 2.

Анализ результатов исследований показал, что первые порции сернокислого алюминия 800 и 1600 г/т резко изменяют pH среды (с 6,36 до 5,17 и 4,54 соответственно) и придают значительный отрицательный заряд поверхности частиц, снижая ζ -потенциал пульпы (с $-0,39$ mV до $-1,26$ mV и $-1,22$ mV соответственно), имея отрицательный экстремум. При дальнейшем увеличении расхода депрессора до 2400 г/т происходит резкий скачок ζ -потенциала до плюсовых значений на уровне $+0,03$ mV (табл. 2, опыты 1–8). Зависимость ζ -потенциала от расхода реагента-собирателя «Аспарал-Ф», представленная на рис. 2, показала, что увеличение его расхода с 80 до 320 г/т сопровождается небольшим ростом ζ -потенциала, от $+0,02$ до $+0,05$ mV. Увеличение расхода собирателя до 400 г/т дает резкий скачок и смену знака потенциала с «плюса» на «минус» ($-0,05$ mV). Оптимальный расход реагента «Аспарал-Ф» в «нулевой точке» при этом составил 360 г/т, что и было принято в дальнейших исследованиях.

Флотация оловянного продукта с фракционным съемом пены [14], которая сопровождала замеры, показала, что именно скачок обусловил рост качества пенного продукта до 1,04 % по содержанию олова. При этом извлечение олова в эту фракцию также оказалось максимальным – 30,9 %, при извлечении олова в другие фракции – на уровне 2–15 %. Дополнительные данные по результатам флотационного опыта с фракционированием приведены в табл. 3.

Наблюдения за процессом флотации также показали, что камерный продукт (хвосты флотации) приобрел темно-серый цвет, что отличается от использования при флотации щавелевой кислоты совместно с салицилгидроксамовой кислотой [7, 15–17]. Эти исследования проводились в кислой среде при pH = 5–6, кислотность среды обеспечивалась подачей серной кислоты. В качестве депрессора минералов пустой породы применялась щавелевая кислота, как собиратель касситерита – салицилгидроксамовая кислота. Кроме того, в эксперименте исходная навеска обрабатывалась в роторно-пульсационном аппарате (РПА) и подвергалась диспергации с добавлением ГМФ, а затем подавались керосин и додецило-

Таблица 2. Результаты замеров ζ -потенциала в процессе добавления реагентов в питание оловянной флотации
Table 2. Results of ζ -potential evaluation in the process of adding reagents to tin flotation feed

Номер опыта	Расход реагентов, г/т					$t, ^\circ\text{C}$	pH	ζ -потенциал, mV	Содержание Sn в концентрате, %
	ГМФ	Керосин	Жидкое стекло	Сернокислый алюминий	Аспарал-Ф				
1						24,20	6,30	-0,31	
2	80					24,30	6,24	-0,38	
3	80	1000				24,30	6,24	-0,37	
4	80	1000	80			24,30	6,36	-0,38	
5	80	1000	80			24,30	6,36	-0,39	
6	80	1000	80	800		24,40	5,17	-1,26	0,56
7	80	1000	80	1600		24,40	4,54	-1,22	
8	80	1000	80	2400		24,60	4,37	0,03	
9	80	1000	80	2400		24,70	4,38	0,04	
10	80	1000	80	2400		24,90	4,38	0,04	
11	80	1000	80	2400	80	25,00	4,40	0,02	0,40
12	80	1000	80	2400	160	25,00	4,40	0,03	0,49
13	80	1000	80	2400	240	25,10	4,40	0,04	0,61
14	80	1000	80	2400	320	25,20	4,40	0,05	0,84
15	80	1000	80	2400	400	25,20	4,40	-0,05	1,04

Продукт – пульга, 20 % твердого.

вый спирт. В результате был получен оловянный промпродукт с содержанием олова 0,81 % и извлечением от исходного 31,11 %.

Общие показатели флотации настоящих исследований с фракционированным съемом вполне соответствуют предыдущим исследованиям, однако при использовании данных замеров ζ -потенциала существует возможность улучшить пока-

Рис. 2. Зависимость величины дзета-потенциала от расхода реагента-собиателя «Аспарал-Ф»

Fig. 2. Dependence between the value of absorption potential and the consumption of Asparal-F reagent-collector

затели флотации с применением предлагаемых реагентов, найдя оптимальный расход при пересечении кривой ζ -потенциала оси ординат.

Согласно данным минералогического анализа, отвальные хвосты флотационных опытов представлены кварцем на 53 %, турмалином – на 13 %, клинохлором – на 8 %, слюдой, полевыми шпатами, оливинами и карбонатами – на 18 % суммарно. Рудные минералы представлены окислами железа на 7 %. Минералов олова в

Таблица 3. Результаты флотационного опыта с фракционным съемом пенного продукта

Table 3. Results of flotation experience with fractional removal of foam

Продукт	Выход, %	Содержание Sn, %	Извлечение Sn, %
Фракция 1	2,90	0,40	2,07
Фракция 2	6,36	0,49	5,55
Фракция 3	9,84	0,61	10,70
Фракция 4	10,03	0,84	15,01
Фракция 5	16,66	1,04	30,90
Σ 1-2-3-4-5	45,79	0,79	64,24
Отвальные хвосты	54,21	0,37	35,76
Немагнитная фракция	100,00	0,56	100,00

хвостах нет, что указывает на эффективность флотации и применяемых реагентов. Результаты минералогического анализа исходного продукта и хвостов флотации представлены в табл. 4.

Далее были проведены перечистные опыты также с замерами ζ -потенциала. Расходы реагентов составили: сернокислый алюминий – 1600 г/т, реагент «Аспарал-Ф» – 360 г/т. Отличительным условием перечистой флотации была единовременная подача собирателя. Анализ данных перечистных опытов пока-

зал, что значение ζ -потенциала прямо пропорционально увеличению расхода депрессора – сернокислого алюминия. По результатам проведенного опыта после перемешивания был получен промпродукт с содержанием олова 1 % и извлечением 28 %.

Таблица 4. Содержание минералов в исходном продукте и хвостах оловянной флотации

Table 4. The content of minerals in initial product and tin flotation tailings

Минерал	Содержание, %		Минерал	Содержание, %	
	В исходном	В хвостах		В исходном	В хвостах
Касситерит	1	–	Кварц	48	53
Станин	Менее 1	–	Турмалин	10	13
Пирит	1	Менее 1	Клинохлор	12	8
Халькопирит	Менее 1	Менее 1	Слюды	3	4
Арсенопирит	3	–	Полевые шпаты	8	7
Шеелит, вольфрамит	Менее 1	Менее 1	Карбонаты	4	5
Окислы железа (гематит, гетит, магнетит)	5	7	Оливины	4	2
Прочие рудные	Менее 1	Менее 1	Прочие нерудные минералы	1	1

Отвальные хвосты получились более богатыми, чем в опыте с фракционным сепарированием пенного продукта. Массовая доля олова в хвостах составила 0,44 % при извлечении 51 %. Причиной таких показателей предположительно стала единовременная подача реагента «Аспарал-Ф», в отличие от дробной подачи, которая производилась в предыдущем опыте. Также подтверждено, что при нулевом значении ζ -потенциала расход реагента-собирателя выше, чем в базовом опыте с применением салицилгидроксамовой кислоты. Концентрат перемешивания поступал на гравитационное обогащение на концентрационных столах, включающих основной прием концентрирования и две контрольные операции по дообогащению легких фракций. В результате был получен конечный оловянный концентрат с содержанием олова 24,8 %, извлечением 69,11 % от операции и выходом 1,45 % от исходного.

Выводы. Исследование процесса оловянной флотации тонких промпродуктов технологической схемы переработки хвостов Солнечного ГОКа с измерением значений ζ -потенциала пульпы выявило закономерности влияния данного показателя на результаты флотации и оптимальные расходы флотационных реагентов.

Основное влияние на ζ -потенциал пульпы при оловянной флотации оказывает депрессор – сернокислый алюминий. Оптимальный расход депрессора составляет 2400 г/т при значении ζ -потенциала +0,03 mV. Оптимальный расход реагента-собирателя «Аспарал-Ф» составляет 360 г/т и определен при нулевом значении ζ -потенциала, что позволило улучшить качество фракции пенного продукта с 0,4 до 1,04 % по содержанию олова.

В результате обогащения флотационного оловянного продукта по гравитационной схеме был получен товарный оловянный концентрат с содержанием олова 24,8 % и извлечением 69,11 % от операции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чантурия В. А., Вайсберг Л. А., Козлов А. П. Приоритетные направления исследования в области переработки минерального сырья // Обогащение руд. 2014. № 2. С. 3–10.
2. Марченко Н. В., Алексеева Т. В. Способ обогащения оловосодержащих хвостов // Сибирский федеральный институт: науч. тр. 2012. Т. 10. № 3. С. 3–6.
3. Польшин С. И. Флотация руд редких металлов и олова. М.: Госуд. науч.-техн. изд-во литер. по горному делу, 1960. 295 с.
4. Бергер Г. С. Флотуируемость минералов. М.: Госуд. науч.-техн. изд-во литер. по горному делу, 1962. 158 с.
5. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. М.: Недра, 1984. 277 с.
6. Газалеева Г. И., Назаренко Л. Н., Шигаева В. Н. Разработка технологической схемы обогащения черного концентрата, содержащего тонкие шламы минералов олова и меди // Обогащение руд. 2018. № 6. С. 38–43.
7. Газалеева Г. И., Назаренко Л. Н., Шигаева В. Н., Власов И. А. Технологические особенности переработки оловосодержащих хвостов Солнечного ГОКа // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 3. С. 150–156.
8. Газалеева Г. И., Братыгин Е. В., Власов И. А., Мамонов С. В., Рогожин А. А., Курков А. В. Влияние тонких шламов на выбор схем рудоподготовки ниобиевых руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 1. С. 36–46.
9. Wang H., Lu Sh. Modifying effect of electron beam irradiation on magnetic property of iron-bearing minerals // Journal Physicochemical Problems of Mineral Processing. 2014. No. 50(1). P. 79–86.
10. Korobeinikov M. V., Bryazgin A. A., Bezuglov V. V. Radiation-thermal treatment in ore dressing // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 81. P. 1–6.
11. Tin statistics and information. The USGS Mineral Resources Program delivers unbiased science and information to understand mineral resource potential, production, consumption, and how minerals interact with the environment, 2018.
12. Knapp H., Neubert K., Schropp Ch., Wotruba H. Viable applications of sensor-based sorting for the processing of mineral resources // Chem. Bio. Eng. Rev. 2014. No. 1(4). P. 86–95.
13. Недоговоров Д. И. Промышленный опыт флотации касситерита из шламов сложного состава // Бюллетень цветной металлургии. 1958. № 7. С. 15–20.
14. Кондратьев С. А., Бурдакова Е. А. Роль физической формы сорбции во флотационном процессе // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 4. С. 135–145.
15. Федотов П. К., Сенченко А. Е., Федотов К. В., Бурдонов А. Е. Технология переработки оловосодержащей руды месторождения Казахстана // Обогащение руд. 2017. № 1. С. 8–14.
16. Юсупов Т. С., Кондратьев С. А., Бакшеева И. И. Структурно-химические и технологические свойства минералов касситерит-сульфидного техногенного сырья // Обогащение руд. 2016. № 5. С. 26–30.
17. Boucher D., Deng Z., Leadbeater T. W., Langlois R., Waters K. E. Speed analysis of quartz and hematite particles in a spiral concentrator by PEPT // Miner. Eng. 2016. No. 91. P. 86–91. doi:10.1016/j.mineng.2015.09.014

Поступила в редакцию 23 декабря 2019 года

Сведения об авторах:

Газалеева Галина Ивановна – доктор технических наук, заведующая отделом рудоподготовки и специальных методов исследований Научно-исследовательского и проектного института обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр». E-mail: gazaleeva_gi@umbr.ru

Назаренко Людмила Николаевна – старший научный сотрудник лаборатории руд редких металлов и неметаллического сырья Научно-исследовательского и проектного института обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр». E-mail: nazarenko_ln@umbr.ru

Дмитриева Елена Геннадиевна – ведущий научный сотрудник лаборатории окисления и физико-механических испытаний Научно-исследовательского и проектного института обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр». E-mail: dmitrieva_eg@umbr.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-70-79

The research of the absorption potential effect of the minerals surface on the cassiterite flotation process

Galina I. Gazaleeva¹, Liudmila N. Nazarenko¹, Elena G. Dmitrieva¹

¹ JSC Uralmexkhanobr, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. The use of flotation for tin additional recovery and in order to increase integrated use of raw materials is one of the main trends in tin ores beneficiation technology development.

Research aim is to identify the mechanism of reagents action on the pulp particles surface during the flotation of tin-containing products containing cassiterite.

Methodology. Pulp absorption potential was measured on Dispersion DT-310 electro-acoustic spectrometer from Dispersion Technology Inc., USA. The object of research was the cleaning products of the collective concentrate obtained from beneficiation sludge tailings of Solnechny enrichment plant (the Khabarovsk Territory). The surface of the initial product was sequentially treated with the following reagents: sodium hexametaphosphate, kerosene, liquid glass, aluminum sulfate and the Asparal-F collector reagent with measurements of the absorption potential. At the same time, open flotation experiments were carried out with fractionated removal of the foam product.

Results. The research results have shown that the main influence on pulp absorption potential is exerted by a depressor - aluminum sulfate. With its consumption of 800 and 1600 g/t, the value of the absorption potential decreases to the level of minus 1.3–1.4 mV, having a negative extremum. With a further increase in depressor consumption to 2400 g/t, there is a abrupt jump in the absorption potential to positive values. The study of absorption potential value dependence on Asparal-F reagent-collector consumption has shown that an increase in the collector flow rate to 400 g/t causes a abrupt jump and alternation of the potential from + to – (– 0.05 mV) and the intersection of the curve with the zero point allows to determine its optimal flow rate 360 g/t. Flotation of the initial product with fractional removal of foam has shown that it was this jump that led to an increase in the quality of fractions from 0.40 to 1.04% in terms of tin content. Further processing of the obtained flotation tin product according to the gravitational scheme made it possible to obtain conditioned tin concentrate with a tin content of 24.8%.

Conclusions. The study of thin intermediate products tin flotation process in the tailings processing flow chart of Solnechny enrichment plant with pulp ζ -potential evaluation revealed some regularities of this indicator influence on the flotation results and the optimal consumption of flotation reagents.

Key words: flotation; absorption potential; reagent-collector; fractional removal of foam product; concentration table; cassiterite; tin concentrate.

REFERENCES

1. Chanturiia V. A., Vaisberg L. A., Kozlov A. P. Promising trends in investigations aimed at all-round utilization of mineral raw materials. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2014; 2: 3–10. (In Russ.)
2. Marchenko N. V., Alekseeva T. V. Tin-containing tailings milling method. In: *Siberian Federal Institute: scholarly works*. 2012; 10 (3): 3–6. (In Russ.)
3. Polkin S. I. *Flotation of rare metal ore and tin*. Moscow: Gosud. nauch.-tekhn. izd-vo liter. po gornomu delu Publishing; 1960. (In Russ.)
4. Berger G. S. *Flotation ability of minerals*. Moscow: Gosud. nauch.-tekhn. izd-vo liter. po gornomu delu Publishing; 1962. (In Russ.)
5. Abramov A. A. *Flotation techniques of beneficiation*. Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)
6. Gazaleeva G. I., Nazarenko L. N., Shigaeva V. N. Developing a flow chart to process rough concentrate containing slimes of tin and copper. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2018; 6: 38–43. (In Russ.)
7. Gazaleeva G. I., Nazarenko L. N., Shigaeva V. N., Vlasov I. A. Technological features of processing tin-containing tailings at Solnechny enrichment plant. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2018; 3: 150–156. (In Russ.)
8. Gazaleeva G. I., Bratygin E. V., Vlasov I. A., Mamonov S. V., Rogozhin A. A., Kurkov A. V. The influence of slime on the choice of niobium ore dressing schemes. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2016; 1: 36–46. (In Russ.)
9. Wang H., Lu Sh. Modifying effect of electron beam irradiation on magnetic property of iron-bearing minerals. *Journal Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2014; 50(1): 79–86.
10. Korobeinikov M. V., Bryazgin A. A., Bezuglov V. V. Radiation-thermal treatment in ore dressing. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2015; 81: 1–6.
11. Tin statistics and information. The USGS Mineral Resources Program delivers unbiased science and information to understand mineral resource potential, production, consumption, and how minerals interact with the environment, 2018.
12. Knapp H., Neubert K., Schropp Ch., Wotruba H. Viable applications of sensor-based sorting for the processing of mineral resources. *Chem. Bio. Eng. Rev.* 2014; 1(4): 86–95.
13. Nedogovorov D. I. Промышленный опыт флотации касситерита из шламов сложного состава // *Biulleten tsvetnoi metallurgii = Bulletin of Nonferrous Metallurgy*. 1958; 7: 15–20. (In Russ.)
14. Kondratiev S. A., Burdakova E. A. The role of physical form of sorption in the process of flotation. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2017; 4: 135–145. (In Russ.)
15. Fedotov P. K., Senchenko A. E., Fedotov K. V., Burdonov A. E. The Kazakhstan deposit tin-bearing ore processing technology. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2017; 1: 8–14. (In Russ.)
16. Iusupov T. S., Kondratiev S. A., Baksheeva I. I. Production-induced cassiterite-sulfide mineral formation structural-chemical and technological properties. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2016; 5: 26–30. (In Russ.)
17. Boucher D., Deng Z., Leadbeater T. W., Langlois R., Waters K. E. Speed analysis of quartz and hematite particles in a spiral concentrator by PEPT. *Miner. Eng.* 2016; 91: 86–91.

Information about authors:

Galina I. Gazaleeva – DSc (Engineering), Head of Ore Preparation and Special Research Methods Department, JSC Uralmekhanobr. E-mail: gazaleeva_gi@umbr.ru

Liudmila N. Nazarenko – senior researcher of the Laboratory of Rare Metal Ore and Nonmetallic Raw Materials, JSC Uralmekhanobr. E-mail: nazarenko_ln@umbr.ru

Elena G. Dmitrieva – leading researcher of the Laboratory of Agglomeration and Physical and Mechanical Testing, JSC Uralmekhanobr. E-mail: dmitrieva_eg@umbr.ru

Для цитирования: Газалеева Г. И., Назаренко Л. Н., Дмитриева Е. Г. Исследование влияния дзета-потенциала поверхности минералов на процесс флотации касситерита // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 3. С. 70–79. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-70-79

For citation: Gazaleeva G. I., Nazarenko L. N., Dmitrieva E. G. The research of the absorption potential effect of the minerals surface on the cassiterite flotation process. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2020; 3: 70–79. (In Russ.) DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-70-79