

УДК 622.7-669.04

**ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОЛОВСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОВ
СОЛНЕЧНОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА**

Г. И. Газалеева, Л. Н. Назаренко, В. Н. Шигаева, И. А. Власов

*ОАО “Уралмеханобр”, E-mail: gazaleeva_gi@umbr.ru,
ул. Хохрякова, 87, 620144, г. Екатеринбург, Россия*

Исследованы оловосодержащие хвосты Солнечного ГОКа Хабаровского края с целью получения оловянного и медного концентратов. Описаны особенности вещественного состава изучаемых хвостов и их влияние на разработку технологической схемы. Проведены исследования обогатимости хвостов Солнечного ГОКа, разработана технологическая схема обогащения с использованием современных методов дезинтеграции, в том числе кавитации и ультразвука. Реализация схемы в полупромышленных условиях позволила получить общий медный концентрат с содержанием меди 18.28 %, извлечением 60.48 %, оловянный концентрат с содержанием олова 11.35 %, извлечением 50.88 %, отвальные хвосты с содержанием олова — 0.139 %, меди — 0.154 %, извлечение указанных металлов составило 46.66 и 38.45 % соответственно.

Минералы олова, полиминеральный состав сырья, фазовый состав, степень раскрытия, близкие физические свойства минералов, оловянный концентрат, медный концентрат

DOI: 10.15372/FTPRI20180315

Разработка оловянных месторождений в мире и России является приоритетным направлением из-за стабильного роста мировых цен на олово и его сплавы, а также роста их потребления [1]. В России в легкообогатимых россыпях находится около 12 % разведанных запасов олова, в то время как в Индонезии — 100 %. Среднее содержание олова в коренных рудах российских месторождений — 0.28 %, в россыпях — 0.63 кг/м³, что в 2.0–2.5 раза меньше, чем в аналогичных зарубежных рудах и россыпях. При этом Россия занимает первое место в мире по запасам олова: $A + B + C_1 + C_2$ — 2263.6 тыс. т и наряду с Бразилией (2000 тыс. т) и Китаем (1800 тыс. т) входит в мировую тройку лидеров. Однако в настоящее время ни одно из ранее действующих в СССР предприятий по добыче и обогащению оловянных руд не работает. Перспективным направлением для России представляется переработка оловосодержащих хвостов, которые скопились в достаточном количестве на Дальнем Востоке. Уже запущена технология обогащения хвостов Хинганской обогатительной фабрики, перерабатывающей легкообогатимое сырье. Основная операция схемы — центробежная концентрация в аппаратах Falcon (Канада). Предусмотрена также доводка концентратов на концентрационных столах и флотация. Предварительно полученные технологические показатели схемы: содержание олова в концентрате — 50–60 %, извлечение — 65 % [2]. Задача настоящей работы — изучение особенностей оловосодержащих хвостов с точки зрения их вещественного состава и технологических свойств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2017 г. в ОАО “Уралмеханобр” для разработки технологии обогащения поступили четыре пробы хвостов обогатительной фабрики Солнечного ГОКа массой 1 т каждая. Цель исследований состояла в получении оловянного и медного концентратов с максимально возможным извлечением полезных компонентов. Пробы представлены в соотношении 1:1 зернистым и шламовым материалом.

Минералогический, химический и фазовый состав материала проб определялся в аккредитованной лаборатории ОАО “Уралмеханобр”. Экспериментальные исследования по изучению степени раскрытия полезных минералов в исходных и измельченных продуктах осуществлялись с помощью методов технологической минералогии с применением оптического микроскопа Axio Imager (Carl Zeiss, Германия), программного продукта “Минерал С-7” (Россия), электронного сканирующего микроскопа EVA-MA 15 (Carl Zeiss, Германия) и программных комплексов INCA и AZtec (Великобритания). Лабораторные исследования обогатимости материала хвостов проводились на полупромышленной гибкой технологической цепочке посредством различных сочетаний измельчительного, классифицирующего и гравитационного оборудования. В схеме применялись грохоты мокрого тонкого измельчения: DERRICK Stack Sizer, многочастотный вибрационный резонансный грохот ULSTM 1.5 × 0.6-Е компании “Kroosh Technologies Ltd” и грохот Cuccolini той же компании. В схеме также использовалась шаровая мельница МШЛ 300 × 200, лабораторная гидроциклонная установка “Laborant” ZLF 50 CH (Германия), концентрационный стол Holman (Великобритания).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности вещественного состава. На рис. 1, 2 представлены гранулометрические характеристики и распределение олова по классам крупности в пробах хвостов Солнечного ГОКа. Содержание олова в исходных хвостах по данным химического анализа колеблется от 0.33 до 0.41 %, меди — от 0.42 до 0.46 %. Отмечено повышенное содержание мышьяка — 0.4–0.63 %.

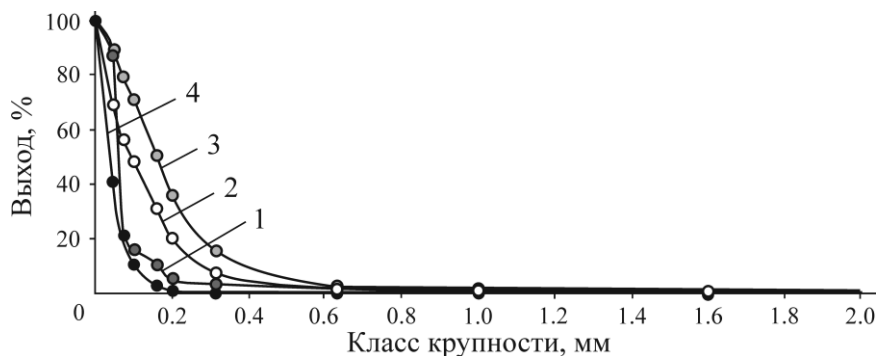


Рис. 1. Гранулометрический состав хвостов проб 1–4 Солнечного ГОКа

Согласно данным гранулометрического анализа проб, проба 1 является зернистой, проба 2 — крупнозернистой, пробы 3, 4 — шламовые. По данным химического анализа классов крупности проб 1–4 хвостов Солнечного ГОКа олово, медь, мышьяк и окись вольфрама концентрируются в классе –0.044 мм. Концентрация олова в этом классе в 1.34–1.85 раза, меди — в 1.24–1.4 раза, мышьяка — в 1.58–2.28 раза выше, чем в классе +0.044 мм. В исходных хвостах наблюдается повышенное содержание тонких шламов фракции менее 20 мкм: 16.58, 2.93, 35.08 и 28.60 % соответственно в пробах 1–4, а в классе менее 5 мкм интенсивно концентрируется медь. Ее содержание составляет 1 % и более. Это учтено при составлении технологической

схемы обогащения [3]. Еще одна особенность вещественного состава оловосодержащих хвостов — то, что минералы олова, в отличие от меди, находятся в сростках, причем эти сростки поликомпонентны (рис. 3).

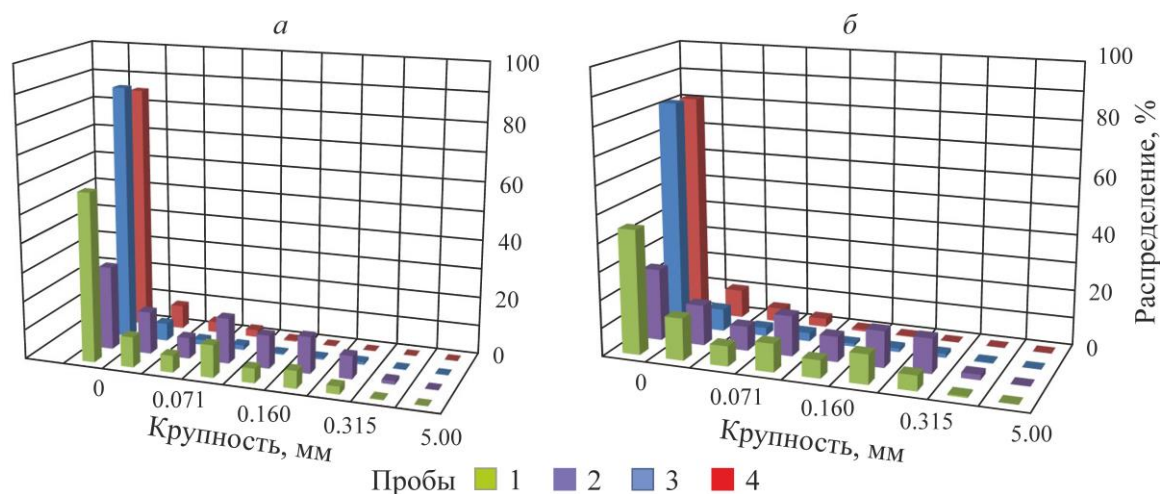


Рис. 2. Распределение олова (а) и меди (б) по классам крупности в пробах 1–4 хвостов Солнечного ГОКа

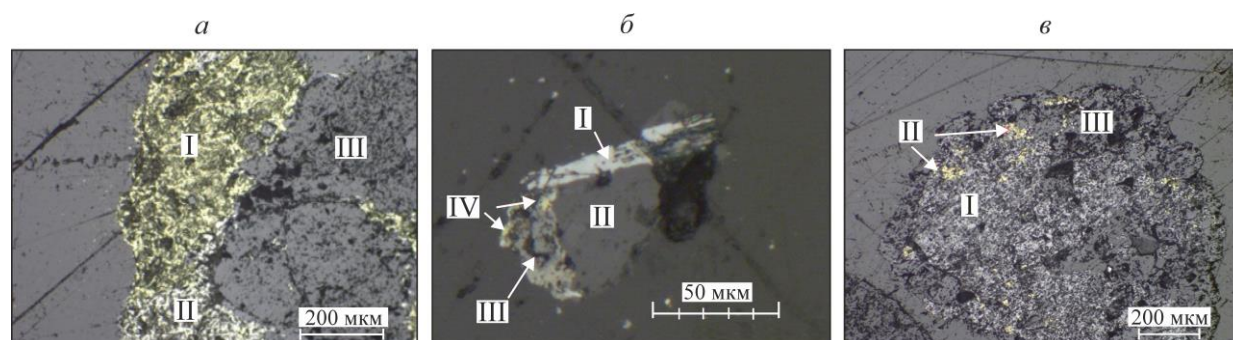


Рис. 3. Сростки минералов: а — халькопирита, пирротина и нерудных минералов; б — арсенипирита, магнетита, халькопирита и нерудных минералов; в — магнетита, касситерита, станина, халькопирита с нерудными минералами

Указанная особенность предполагает необходимость раскрытия таких сложных сростков. Следует также учитывать фазовый состав исходного материала, который является еще одной особенностью вещественного состава (табл. 1).

Анализ результатов изучения фазового состава проб показал, что олово на 84–86 % представлено оксидом (касситерит), на 13–15 % — сульфидом (станин), а медь на 64–74 % — первичным минералом в виде халькопирита, на 16–27 % — вторичными минералами (ковеллин, борнит, халькозин), на 4–7 % — окисленной формой и на 2–3 % сульфатной составляющей. Для олова именно касситерит обладает повышенной шламуемостью, для меди — это ковеллин и другие вторичные и окисленные минералы [4, 5].

Технологические особенности разработки схемы обогащения. Исследование особенностей вещественного состава проб показало, что с их учетом разработка технологической схемы обогащения предполагает, с одной стороны, раскрытие минералов олова из поликомпонентных сростков, а с другой — бережный подход к измельчительным операциям из-за сильной склонности к ошламованию основного минерала олова касситерита и вторичных минералов меди.

ТАБЛИЦА 1. Формы проявления меди и олова в хвостах Солнечного ГОКа, %

Форма соединения	Массовая доля				Распределение			
	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4
Олово								
Касситерит	0.28	0.33	0.35	0.33	84.85	86.84	85.37	86.84
Станин	0.05	0.05	0.06	0.05	15.15	13.16	14.63	13.16
Итого	0.33	0.38	0.41	0.38	100	100	100	100
Медь								
Сульфидная:								
первичная	0.31	0.24	0.30	0.34	73.81	64.86	66.67	73.91
вторичная	0.07	0.10	0.11	0.09	16.67	27.03	24.44	19.57
Окисленная	0.02	0.02	0.03	0.02	7.14	5.41	6.67	4.35
Сульфатная	0.02	0.01	0.01	0.01	2.38	2.70	2.22	2.17
Итого	0.42	0.37	0.45	0.46	100	100	100	100

Определение технологических особенностей схемы также построено на анализе физических признаков разделения основных минералов проб (рис. 4) [6].

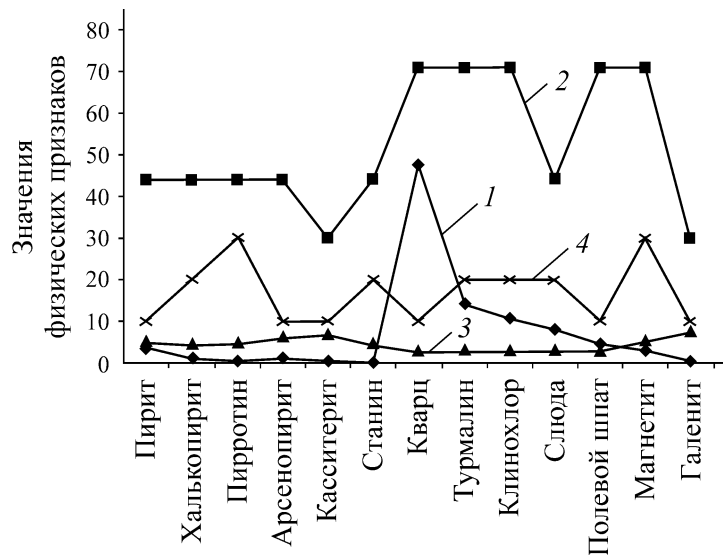


Рис. 4. Сравнение физических признаков минералов проб хвостов Солнечного ГОКа: 1 — содержание минерала в средней пробе (1 : 1 : 1 : 1), %; 2 — степень раскрытия — класс крупности, в котором раскрыто более 80% данного минерала, мкм; 3 — плотность минерала, г/см³; 4 — магнитные свойства в баллах

Данные рис. 4 показывают, что в материале оловосодержащих хвостов Солнечного ГОКа достаточно много минералов с близкими физическими свойствами. Так, близкую плотность имеют сульфиды, станин, магнетит и галенит. Касситерит отличается более высокой плотностью (6.3–7.2 г/см³), но его низкое содержание и крупность практически сводят на нет гравитационную контрастность.

Из рис. 4 следует, что первой стадией концентрации полезных минералов должно быть выделение основной массы хвостов в виде кварца, так как его содержание в пробах наибольшее (47%), он имеет самую низкую плотность, немагнитен и полностью раскрыт. Выделение кварца необходимо проводить с помощью гравитационных методов обогащения при разделении

материала по классам крупности. На основании представленных исследований и априорной информации о схемах оловянных обогатительных фабрик [7, 8] предложена коллективная технологическая схема получения черновых оловянно-медных концентратов (рис. 5). В табл. 2 приведены результаты испытания предложенной схемы на усредненных исходных хвостах.

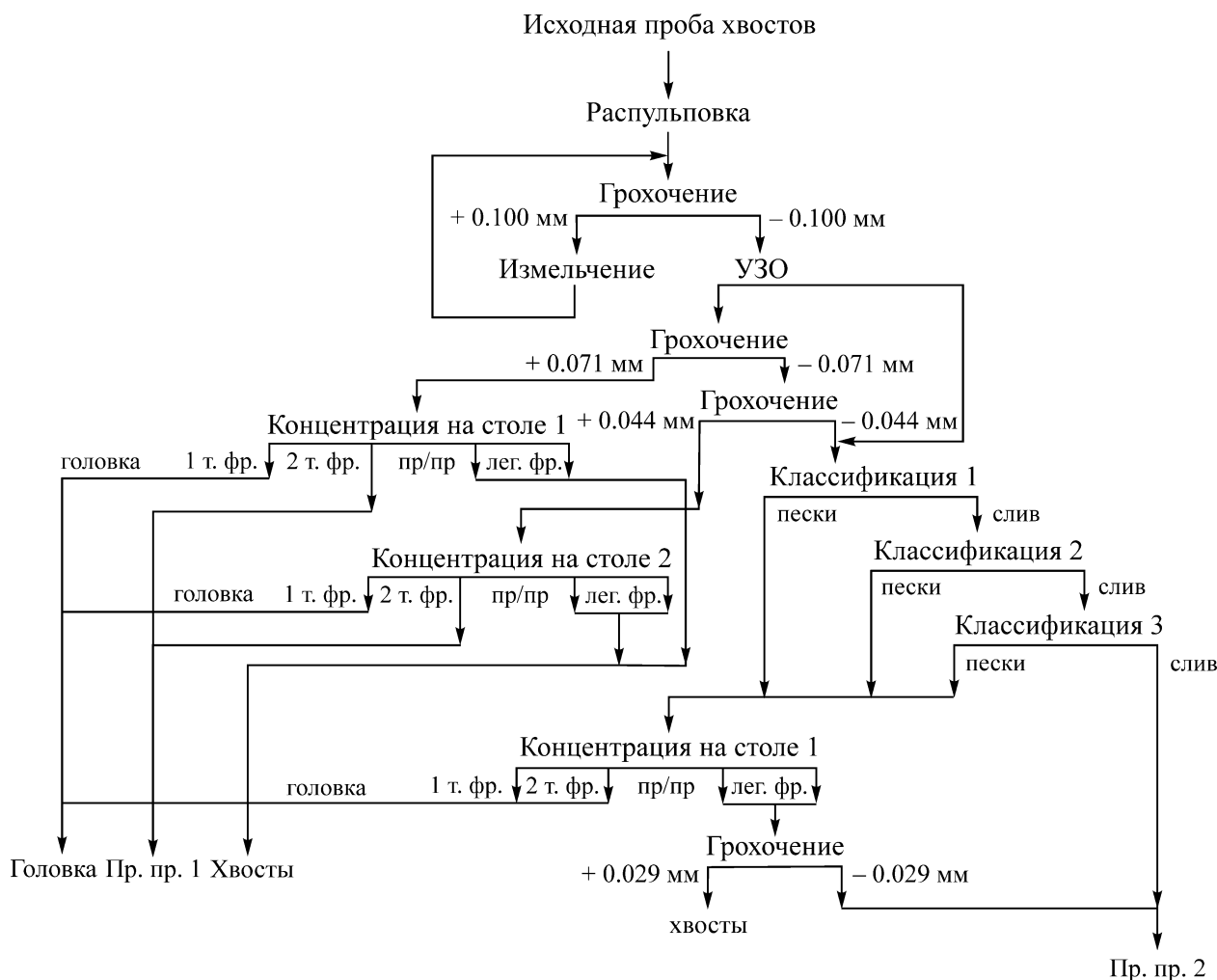


Рис. 5. Схема получения коллективных олово-медных концентратов (1 т. фр., 2 т. фр. — первая и вторая тяжелые фракции, пр/пр — промежуточный продукт, лег. фр. — легкая фракция)

ТАБЛИЦА 2. Общий баланс технологических показателей коллективной схемы предварительного обогащения объединенной пробы, %

Операция	Продукт	Выход	Содержание		Извлечение	
			Sn	Cu	Sn	Cu
Схема 1, проба 1	Концентрат головки	4.80	1.98	1.31	32.76	16.15
	Промпродукт 1	8.37	0.37	0.68	10.69	14.62
	Промпродукт 2	39.01	0.34	0.59	44.18	58.72
	Хвосты	47.82	0.07	0.09	12.37	10.51
Итого		100	0.29	0.39	100	100

Технологические особенности коллективной технологической схемы:

- измельчение исходного материала в стержневой мельнице в щадящем режиме до крупности 0.1 мм в замкнутом цикле с поличастотным грохотом;
- ультразвуковая или кавитационная обработка класса –0.1 мм с целью щадящей очистки поверхности кварца от всего спектра минералов [9];
- разделение обработанного материала на классы крупности –0.1 + 0.071 мм, –0.071 + 0.044 мм и –0.044 мм;
- гидроциклонирование в три стадии класса –0.044 мм;
- концентрирование на столе раздельно каждого класса крупности;
- выделение на поличастотном грохоте шламового продукта крупностью менее 0.029 мм;
- получение двух коллективных концентратов: зернового (технологическая головка + пром-продукт 1) и шламового — крупностью менее 0.029 мм (промпродукт 2).

Благодаря коллективной схеме, получены отвальные хвосты ($\beta_{Sn} = 0.074\%$, $\beta_{Cu} = 0.087\%$), выход которых от исходного сырья составил 47.82 %. Общее извлечение олова в коллективные продукты — 87.63 %, извлечение меди — 89.49 %.

Последующее изучение минеральных и фазовых особенностей коллективных концентратов позволило разработать схемы их перераспределения. При этом особенностями схем было использование добавок диспергатора (гексаметафосфата) в операции медной и оловянной флотации, обесшламливание и высокоградиентная мокрая магнитная сепарация продукта перед оловянной флотацией [10, 11].

По результатам проверки полной схемы обогащения на средней пробе исходных оловосодержащих хвостов Солнечного ГОКа достигнуты следующие результаты: общий медный концентрат с содержанием меди 18.28 %, извлечением 60.48 % и выходом 1.29 %; оловянный концентрат с содержанием олова 11.35 %, извлечением 50.88 % и выходом 1.30 %. Общие отвальные хвосты имели выход 97.41 %, содержание олова — 0.139 %, меди — 0.154 %, извлечение соответствующих металлов — 46.66 и 38.45 %. Анализ показал, что данные результаты значительно выше ранее полученных, а потери основных металлов связаны с их повышенной шламуемостью.

Укрупненный технико-экономический расчет показал, что окупаемость капитальных вложений предлагаемой технологии составляет без учета дисконтирования 7 лет, с учетом дисконтирования — 9 лет.

ВЫВОДЫ

Изучение особенностей вещественного состава и характерных технологических свойств проб исходных оловосодержащих хвостов Солнечного ГОКа дало возможность разработать эффективную коллективную схему их обогащения с выделением отвальных хвостов, выход которых от исходного сырья составил 47.82 %. Общее извлечение олова в коллективные продукты — 87.63 %, меди — 89.49 %.

Реализация предложенной схемы с перераспределением коллективных концентратов и учетом выявленных технологических особенностей позволила получить конечные концентраты: медный с содержанием меди 18.28 %, извлечением 60.48 % и оловянный с содержанием олова 11.35 %, извлечением 50.88 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чантурия В. А., Вайсберг Л. А., Козлов А. П.** Приоритетные направления исследований в области переработки минерального сырья // Обогащение руд. — 2014. — № 2. — С. 3–10.
2. **Марченко Н. В., Алексеева Т. В.** Способ обогащения оловосодержащих хвостов // Науч. тр. S. World. — 2012. — Т. 10. — № 3. — С. 3–6.
3. **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.
4. **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 // ФТПРПИ. — 2016. — № 1. — С. 36–46.
5. **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.
6. **Газалеева Г. И., Шихов Н. В., Власов И. А., Шигаева В. Н.** Разработка технологии обогащения хромитовых хвостов Донского ГОКа // Обогащение руд. — 2017. — № 2. — С. 11–21.
7. **Недоговоров Д. И.** Промышленный опыт флотации касситерита из шламов сложного состава // Бюл. цв. металлургии. — 1958. — № 7. — С. 15–20.
8. **Кондратьев С. А., Ростовцев В. И., Бакшеева И. И.** О перспективах использования радиационно-термической обработки при обогащении техногенного сырья Новосибирского оловокомбината // ФТПРПИ. — 2017. — № 2. — С. 135–144.
9. **Korobeinikov M. V., Bryazgin A. A., and Bezuglov V. V.** Radiation-thermal treatment in ore dressing, IOP Conf. Series, Materials Science and Engineering, 2015, Vol. 81. — P. 1–6.
10. **Кондратьев С. А., Бурдакова Е. А.** Роль физической формы сорбции во флотационном процессе // ФТПРПИ. — 2017. — № 4. — С. 135–145.
11. **Wang H. and Lu Sh.** Modifying effect of electron beam irradiation on magnetic property of iron-bearing minerals, J. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2014, No. 50 (1). — P. 79–86.

Поступила в редакцию 22/II 2018