

вый и бертьерин-бемитовый. Выявлены сложные формы вхождения полезных компонентов и их технологические свойства. Отмечено, что различного рода физико-химическими воздействиями на железистые бокситы можно добиться принципиального улучшения их технологических свойств. Особенный интерес в рамках рассматриваемой темы представляет радиационно-термический метод изменения механических и физико-химических свойств бокситов. Аналогичное заключение по извлечению новообразованных и полезных компонентов, иногда гораздо более ценных, чем компоненты исходного сырья можно сделать по красным шламам. Использование красного шлама в качестве сорбентов радионуклидов — одно из перспективных направлений утилизации отходов.

Авторы благодарят ЦКП ИГ Коми НЦ УрО РАН за помощь в проведении аналитических работ.

Работа выполняется в рамках Программы РАН (ГР № АААА-А17-117121270037-4) и при частичной финансовой поддержке проекта № 18-5-5-44 программ УрО РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вахрушев, А.В. Первая находка самородного золота и теллура в бокситах Вежаю-Ворыквинского месторождения (Средний Тиман) / А.В. Вахрушев // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. — 2011. — № 7. — С. 23–25.
2. Вахрушев, В.А. Бокситы Тимана: минералого-технологические особенности / В.А. Вахрушев, О.Б. Котова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. — 2011. — № 3. — С. 11–16.
3. Вахрушев, В.А. Проблемы переработки бокситового сырья / В.А. Вахрушев, И.Ф. Любинский, О.Б. Котова // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. — Т. III. — Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. — С. 303–304.
4. Вахрушев, А.В. Бокситы Тиманского региона: новые методы и средства комплексной переработки / В.А. Вахрушев, О.Б. Котова, И.Ф. Любинский // Разведка и охрана недр. — 2009. — № 11. — С. 53–56.
5. Котова, О.Б. Сорбенты радионуклидов на основе промышленных отходов: физико-химические свойства и перспективы использования / О.Б. Котова, Л.Н. Москальчук, Д.А. Шушков, Т.Г. Леонтьева, А.А. Бакай // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. — 2017. — № 4. — С. 29–36 (doi: 10.19110/2221-1381-2017-4-29-36).
6. Котова, О.Б. Радиационно-термическое модифицирование железистых бокситов в процессах их переработки / О.Б. Котова, И.Н. Размыслов, В.И. Ростовцев, В.И. Силаев // Обогащение руд. — 2016. — № 4 (doi: 10.17580/or.2016.04.03).
7. Chenna, Rao Borra etc. Recovery of Rare Earths and Other Valuable Metals From Bauxite Residue (Red Mud): A Review Sustain. Metall. (2016) 2:365–386 DOI 10.1007/s40831-016-0068-2.
8. Kotova, O. Timan minerals of bauxites and residues: problems of processing and enrichment (Russia) / O. Kotova, G. Gasaleeva, A. Vakhrushev // J. Acta mineralogical sinica. — 2013.
9. Kotova, O. Minerals of Bauxites and Residues: Problems of Processing and Enrichment (Russia) / O. Kotova, G. Gasaleeva, A. Vakhrushev // In book: Proceedings of the 11th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM), 2015. — PP. 241–251 (doi: 10.1007/978-3-319-13948-7\_25).
10. Kotova, O. Mineralogy and crystal chemistry of iron in the Timan bauxites and products of their technological processing / O. Kotova, V. Silaev, V. Lutoev, A. Vakhrushev // Materials Science and Engineering 123 (2016) 012024 (doi:10.1088/1757-899X/123/1/012024).
11. Kotova, O. Crystal chemical characteristics and physical properties of ferrous minerals as the basis for the formation of functional materials / O. Kotova, A. Shmakova, B. Kanev, L.A. Gomze // Materials Science and Engineering 175 (2017) 012015 doi:10.1088/1757-899X/175/1/012015.

© Котова О.Б., Размыслов И.Н., 2018

Котова Ольга Борисовна // kotova@geo.komisc.ru  
Размыслов Илья Николаевич // z-projekt@bk.ru

Чикишева Т.А.<sup>1-3</sup>, Прокопьев С.А.<sup>1,3</sup>, Прокопьев Е.С.<sup>1,3</sup>, Карпова А.Г.<sup>1,2</sup> (1 — ООО ПК «Спирит», 2 — Иркутский госуниверситет, 3 — Институт земной коры СО РАН)

#### МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЛОВЯННОЙ РУДЫ ПРАВОУРМИЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

*В статье содержатся данные минералогического исследования руды Правоурмийского месторождения. Авторами определены структурные и текстурные характеристики руды, ее минеральный состав, а также изучены физические и технологические свойства минералов. Полученные данные могут быть использованы для усовершенствования технологии разработки месторождения.*  
**Ключевые слова:** оловянные руды, минералогические исследования, технологические свойства руд.

Chikisheva T.A.<sup>1-3</sup>, Prokopen S.A.<sup>1,3</sup>, Prokopen E.S.<sup>1,3</sup>, Karpova A.G.<sup>1,2</sup> (1 — LLC PC Spirit, 2 — Irkutsk State University, 3 — Institute of the Earth's crust of SB RAS)

#### MINERALOGICAL-TECHNOLOGICAL RESEARCH PRAVOURMIYSKOE TIN ORE DEPOSIT (THE KHABAROVSK TERRITORY)

*The article contains data on the mineralogical research of the ore from the Pravoormysky tin ore deposit. The authors determined the structural and texture characteristics of the ore, its mineral composition, and also studied the physical and technological properties of minerals. The data obtained can be used to improve the field development technology.* **Keywords:** tin ores, mineralogical research, technological properties of ores.

Месторождения олова в России — одни из самых богатых в мире. Общее количество разведанных запасов превышает 2,26 млн т. Основные запасы олова в России сосредоточены на востоке страны. Правоурмийское месторождение — одно из перспективных месторождений олова. Попутно из руд месторождения может добываться вольфрам. Однако производство олова в России в постсоветский период резко сократилось по причине изменившихся экономических условий, которые сделали эксплуатацию бедных по содержанию олова месторождений неэффективной. Российская промышленность потребляет около 6,5–7 тыс. т олова в год. Около 90 % добываемого олова импортируется.

Для достижения более полного извлечения ценных компонентов из руды необходимо детальное изучение ее вещественного состава и текстурно-структурных особенностей, физических свойств минералов и степени их контрастности. Минералогические исследования лежат в основе изучения вещественного состава, структуры, текстуры, выбора направлений и методов подготовки сырья к переработке, технологий обогащения и металлургии [1]. Настоящая статья посвящена характеристике минералого-технологических особенностей руд Правоурмийского оловорудного месторождения Дальнего Востока.

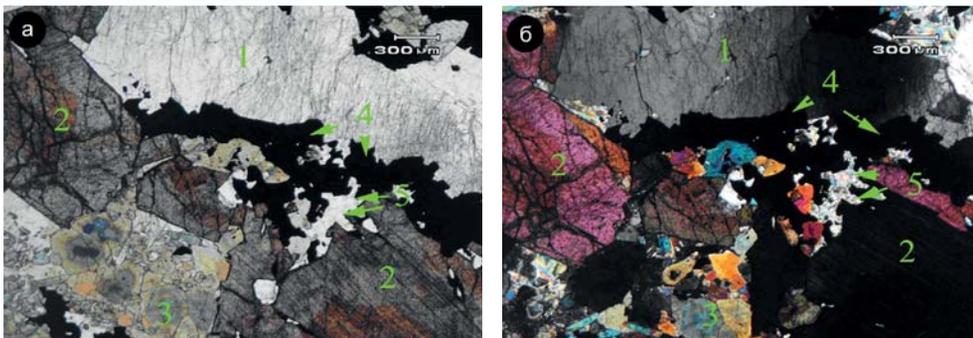


Рис. 1. Микрофотографии грейзена, состоящего из кристаллически-зернистого топаза (1) в тесном сростании с касситеритом (2), турмалином (3), рудным минералом (4) и серицитом (5). Прозрачный шлиф. а — николи ||, б — николи X

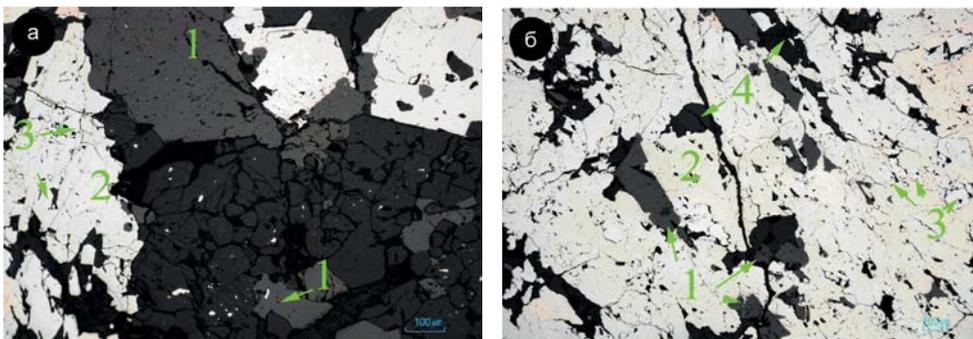


Рис. 2. Микрофотография касситерита (1) в сростании с арсенопиритом (2), леллингитом (3) и топазом (4). Полированный шлиф. Николи ||

Минералого-технологические особенности руды были изучены в отделе комплексного использования минерального сырья (ИЗК СО РАН) совместно с ООО ПК «Спирит». Данные минералогического анализа были использованы технологами для определения оптимального метода измельчения руды и разработки программы технологических испытаний: гравитационного обогащения на винтовых сепараторах и концентраторных столах, флотации и флотогравитации.

Правоурмийское оловорудное месторождение расположено в Верхнебуреинском районе Хабаровского края на правом берегу верховья р. Урми в 40 км южнее трассы БАМ. Балансовые запасы месторождения составляют 23,1 млн т руды и 106,4 тыс. т олова при среднем содержании металла в руде 0,46 %.

Основная масса пород представлена в разной степени метасоматически измененными в процессе грейзенизации вулканитами кислого состава. Для метасоматически измененных пород характерна неоднородная, прожилково-вкрапленная, участками массивная, сланцеватая, ориентированная микротекстура. Порода состоит из неоднородного разноминерального агрегата кварца, топаза, турмалина, а также полевых шпатов, флюорита, серицита, биотита, касситерита, рудных минералов, которые образуют мономинеральные скопления, либо находятся в тесном сростании между собой (рис. 1).

Рудная минерализация отмечается в виде прожилково-вкрапленных и гнездовидных выделений касситерита, арсенопирита и леллингита. Размер отдельных

зерен рудных минералов до 5 мм, видимая мощность скоплений до 60 мм.

*Касситерит* наблюдается в виде ксеноморфных зерен, их гнездовидных скоплений, реже отмечаются кристаллы призматического, пирамидально-призматического облика (рис. 2). Размер зерен от 0,01 до 2 мм с преобладанием 0,1–0,5 мм, мощность выделений до 10 мм. Трещинки в касситерите заполнены кристаллически-зернистым кварцем, турмалином, топазом и серицитом.

Оптико-минералогический анализ дробленого материала проводился на материале пробы исходной руды, измельченной до крупности менее 2 мм по методикам НСОММИ [3, 4]. Последовательность операций по определению минерального состава проб руды состояла в разделении исходного материала проб на классы крупности с последующим гравитационным фракционированием в тяжелых жидкостях (удельный вес 2,89 и 4,0 г/см<sup>3</sup>) и изучением распределения минералов по фракциям для

исходного материала проб на классы крупности с последующим гравитационным фракционированием в тяжелых жидкостях (удельный вес 2,89 и 4,0 г/см<sup>3</sup>) и изучением распределения минералов по фракциям для

Таблица 1  
Минеральный состав

Минерал	Содержание, %
Касситерит	1,37
Станнин	Единичные зерна
Вольфрамит	0,04
Самородный висмут	Единичные зерна
Арсенопирит	2,61
Леллингит	2,30
Сульфиды меди	1,26
Кварц	23,69
Полевые шпаты	0,73
Группа слюд	2,49
Топаз	14,92
Турмалин	3,74
Флюорит	0,98
Пироксен	0,04
Циркон	Единичные зерна
Титанит	Единичные зерна
Гидроксиды железа	0,65
Скородит	Единичные зерна
Обломки пород	45,17
Итого	99,99



Рис.3. Свободные зерна касситерита

каждого класса крупности. Минеральный состав исследуемой пробы дробленной руды представлен в табл. 1. Станнин и самородный висмут диагностированы микроскопически в аншлифах.

Проба руды, измельченная до крупности менее 2 мм, на 45,2 % состоит из обломков породы: кварца, топаза, турмалина, полевых шпатов и слюды, иногда с включениями рудных минералов — арсенопирита, леллингита и сульфидов меди. На долю кварца в свободном виде приходится 23,69 % пробы, 14,92 % составляет топаз, 3,74 % — турмалин. В количестве 0,73 и 2,49 % установлены полевые шпаты и слюды, 0,98 и 0,04 % — флюорит и пироксен соответственно. Содержание минералов мышьяка, являющихся вредной примесью для данной руды, суммарно составило 4,82 %, сульфидов меди, представленных борнитом, халькопиритом и ковеллином, — 1,26 %. Гипергенные минералы представлены гидроксидами железа в количестве 0,65 % и скородитом в единичных зернах. Акцессорные минералы — титанит и циркон, отмечены в единичных зернах.

По данным табл. 1 на долю касситерита приходится 1,37 % пробы руды. Содержание вольфрамита составило 0,04 %.

В результате изучения минерального состава гравитационных фракций руды установлено, что материал пробы плотностью менее 2,89 г/см<sup>3</sup> слагают кварц, обломки породы кварц-слюдистого, кварц-полевошпатового и кварц-топазового состава, иногда с включениями минералов мышьяка и сульфидов меди, а также полевые шпаты и слюды. Материал пробы диапазона плотности 2,89 — 4,0 г/см<sup>3</sup> представлен в основной массе топазом, турмалином, флюоритом и обломками породы с преобладанием топазовой составляющей, иногда в сростании с рудными минералами — сульфидами меди, минерала-

ми мышьяка, с вольфрамитом и касситеритом в бедных и нерудных сростках в единичных зернах. Материал плотностью более 4 г/см<sup>3</sup> представлен рудными минералами. Основную массу тяжелой фракции составляют минералы мышьяка в виде свободных зерен, реже отмечаются сростки минералов мышьяка с породообразующими минералами и сульфиды меди. Касситерит в тяжелой фракции встречается в свободных зернах, в богатых и рядовых сростках с породообразующими минералами, реже в различных сростках с минералами мышьяка. Вольфрамит в основной массе отмечен в виде свободных зерен, визуализируются редкие зерна в богатых и рядовых сростках с породообразующими минералами.

Для касситерита характерна неравномерная, пятнистая, участками зональная окраска, от светло-желтой до темно-бурой (рис. 3). В естественной вкрапленности по результатам петрографических исследований размер зерен касситерита колеблется от 0,01 до 10 мм с преобладанием 0,1 — 0,5 мм, что позволяет отнести данную руду к типу средневкрапленных руд [5].

Касситерит находится в тесном сростании с кварцем, топазом, турмалином, арсенопиритом и касситерита (рис. 4а) с топазом и реже с кварцем и минералами мышьяка. В классах крупности — 2+1 мм и —1+0,5 мм отмечаются полиминеральные сростания касситерита с топазом и минералами мышьяка (рис. 4б).

Технологические свойства сростков определяются их качеством, т.е. содержанием в них минералов, обладающих высокой плотностью. В первичный гравикоцентрат винтовой сепарации при обогащении данной руды вместе со свободными зернами касситерита будут извлекаться его богатые и рядовые сростки с породообразующими минералами. Бедные сростки касситерита с минералами мышьяка или же его включения в них также будут извлекаться в концентрат. Промпродуктовую часть составят бедные сростки и включения касситерита в породообразующих минералах. В хвостовой части возможны потери олова с касситеритом в бедных сростках с кварцем и его включения в нем. Касситерит из сростков может быть извлечен путем доизмельчения продуктов обогащения, содержащих его сростки, если это будет экономически и технологически целесообразно.



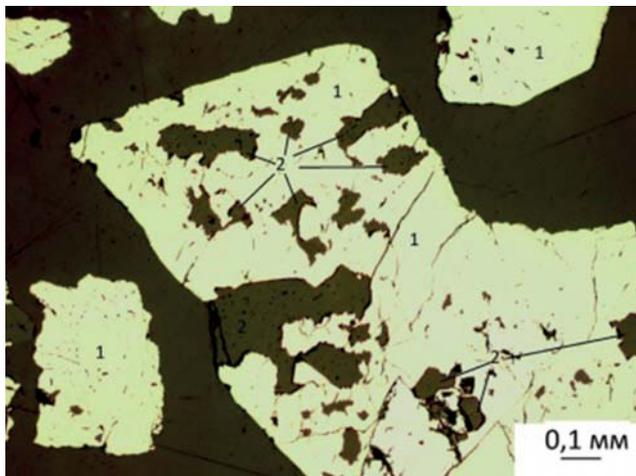
Рис. 4. Сростки касситерита: а — бинарные, б — полиминеральные

**Таблица 2**

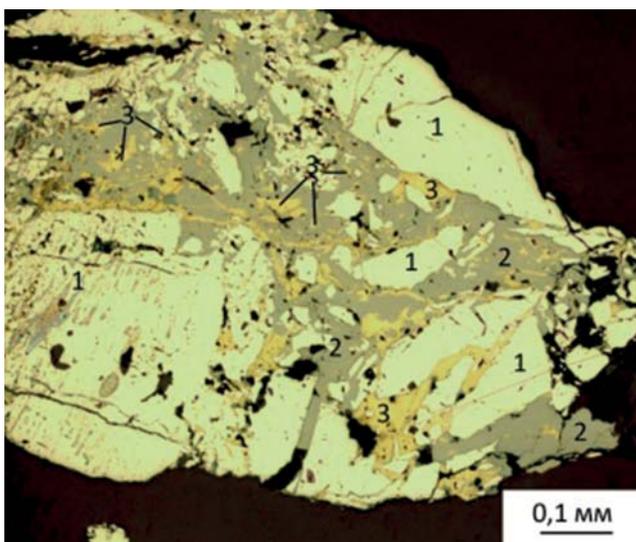
**Раскрытие касситерита в пробе руды, измельченной до крупности менее 2 мм**

Класс крупности, мм	Касситерит, %					Всего
	Свободные зерна	Богатые сростки	Рядовые сростки	Бедные сростки	Включения	
-2+1	88,69	8,27	2,65	0,23	0,16	100
-1+0,5	94,81	4,08	1,00	0,03	0,09	100
-0,5+0,315	96,88	1,33	1,64	0,14	0,0	100
-0,315+0,25	98,58	1,27	0,16	0,0	0,0	100
-0,25+0,125	99,95	0,0	0,05	0,0	0,0	100
-0,125+0,071	99,87	0,0	0,0	0,13	0,0	100
-0,071+0,04	100	0,0	0,0	0,0	0,0	100
-0,04+0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0	100

По данным, приведенным в табл. 2, можно сделать вывод, что зерна касситерита в пробе руды, измельченной до крупности менее 2 мм, в целом раскрыты. Полное отсутствие сростков касситерита открытого



**Рис. 5. Зерно арсенопирита (1) в сростании с касситеритом (2).** Тип сростаний закрытый, размерность вкраплений касситерита 0,05–0,25 мм. Брикетный шлиф.



**Рис. 6. Зерно арсенопирита (1) в сростании со станнином (2) и халькопиритом (3).** Брикетный шлиф

типа наблюдается в классах крупности менее 0,071 мм.

Наряду со сростками открытого типа отмечаются сростания касситерита закрытого типа с породообразующими минералами и минералами мышьяка (рис. 5).

Касситерит такого типа будет потерян в процессе сульфидной флотации. Потери олова с хвостами сульфидной флотации также могут быть связаны с сульфидными формами олова.

Станнин в исследуемой руде ассоциирует с сульфидами меди, которые удаляются с помощью флотации вместе с арсенопиритом (рис. 6).

По данным табл. 3 можно сделать вывод, что касситерит в исследуемой пробе руды по классам крупности распределяется практически равномерно. Наблюдается ошламование зерен касситерита, что неизбежно при измельчении данной руды, так как касситерит является хрупким минералом.

Для технологической оценки руды было проведено изучение контрастности свойств минералов, которое проводилось путем установления крупности минеральных зерен, определения минерального состава дробленной руды и выявления по справочным данным [2] их основных технологических свойств — плотности и удельной магнитной восприимчивости. Физические свойства основных минералов, определяющие технологию переработки исследуемой руды, приведены в табл. 4.

По плотности минералы, слагающие руду, условно можно разделить на три группы:

самые легкие, обладающие плотностью менее 2,8 г/см<sup>3</sup> — полевой шпат, кварц, мусковит;

промежуточные — топаз, флюорит, биотит, турмалин с плотностью 2,9–3,2 г/см<sup>3</sup>;

тяжелые — касситерит, вольфрамит, минералы мышьяка, сульфиды меди с плотностью 4,1–7,1 г/см<sup>3</sup>.

Особое место занимают минералы с промежуточной плотностью. Эта группа минералов осложняет процесс

**Таблица 3**

**Распределение касситерита по классам крупности**

Класс крупности, мм	Распределение касситерита, %
-2+1	16,9
-1+0,5	14,9
-0,5+0,315	9,1
-0,315+0,25	4,7
-0,25+0,125	15,6
-0,125+0,071	10,5
-0,071+0,040	13,2
-0,04+0,0	15,1
Всего	100

**Таблица 4**  
**Физические свойства основных минералов исследуемой пробы**

Минерал	Химическая формула	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по шкале Мооса	Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^{-6}$ см <sup>3</sup> /г
Касситерит	SnO <sub>2</sub>	6,8–7,1	6–7	–0,3 до 2,3
Вольфрамит	(Fe,Mn)WO <sub>4</sub>	6,7–7,51	4,5–5,5	34,4–100
Арсенопирит	FeAsS	5,9–6,3	5,9–6,3	–1,6–10
Леллингит	FeAs <sub>2</sub>	7,0–7,4	7,0–7,4	0,6
Кварц	SiO <sub>2</sub>	2,5–2,8	7	–0,5
Топаз	Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] [F,OH]	3,4–3,57	8	0,4
Флюорит	CaF <sub>2</sub>	3,1–3,6	4	–0,4
Турмалин	NaMg <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ](BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>4</sub>	2,9–3,27	7–8	0,2–3
Халькозин	Cu <sub>2</sub> S	5,5–5,8	2,5–3	0,3–0,4
Борнит	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	4,9–5,3	3	7,4
Халькопирит	CuFeS <sub>2</sub>	4,1–4,3	3–4	0,8–4,5

гравитационного их отделения от касситерита и требует дополнительных операций по очистки касситеритового концентрата.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что более контрастным показателем физических свойств минералов, слагающих изучаемый материал проб руды, является показатель плотности. Касситерит и вольфрамит, которые являются ценными компонентами, имеют значительно более высокую степень контрастности гравитационных свойств, что может быть использовано при их первичной концентрации. Наряду с касситеритом и вольфрамитом в черновой гравикоцентрат будут извлекаться арсенопирит с леллингитом и сульфиды меди.

Для получения оловянного концентрата, соответствующего требованиям к сырью, минералы мышьяка и меди могут быть извлечены из черного концентрата при помощи флотогравитации и флотации. Вольфрамит, который является попутным ценным компонентом руды, может быть извлечен с применением методов магнитной сепарации.

В результате проведения минералогических исследований можно сделать следующие выводы:

1. Исследованная проба руды является прожилково-вкрапленной оловянной вольфрам- и медьсодержащей и имеет достаточно сложный состав.

2. Изучаемая руда относится к касситерит-топазовому (грейзеновому) типу касситерит-кварцевой формации и характеризуется наличием сульфидов и силикатов.

3. Данная руда относится к типу средневкрапленных богатых руд.

4. При крупности измельчения менее 2 мм достигается практически полное раскрытие касситерита.

5. По классам крупности зерна касситерита распределяются практически равномерно.

6. В промпродуктах и хвостах гравитации потери олова могут быть связаны бедными сростками касситерита с породообразующими минералами и его включениями в кварце и топазе.

7. В сульфидных хвостах флотации потери олова могут быть связаны со сростками касситерита закрытого типа

с сульфидными минералами, а также с сульфидной формой олова — станнином.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Башлыкова, Т.В. Технологические аспекты рационального недропользования: роль технологической оценки в развитии и управлении минерально-сырьевой базой страны / Т.В. Башлыкова, Г.А. Пахомова, Б.С. Лагов, и др. / Науч.ред. Ю.С. Карabasов. — М.: МИСиС, 2005. — 576 с.
2. Дорошенко, И.В. Технологические свойства минералов: Справочник для технологов / И.В. Дорошенко, Т.В. Башлыкова. — М.: Изд. Теплоэнергетик, 2007. — 296 с.
3. Количественный минералогический анализ дробленых руд: Методические рекомендации № 19-М / НСОММИ. — М.: ВИМС, 1990. — 24с.
4. Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленых проб: Методические рекомендации № 162 / НСОММИ. — М.: ВИМС, 2012. — 23 с.
5. Оловянные руды: методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. — М.: ФГУ ГКЗ, 2007.

© Коллектив авторов, 2018

Чижишева Татьяна Александровна // chikishevatyana@mail.ru  
Прокопьев Сергей Амперович // s.a.prok@gmail.com  
Прокопьев Евгений Сергеевич // prokopyeves@mail.ru  
Карпова Анастасия Георгиевна // stayse4ka16@mail.ru

УДК 624.144.8, 661.179, 549

**Глушко А.Н., Голосова Н.А., Ретивов В.М.**  
**(ФГУП «Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»)**

#### РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ БАЗЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИННОВАЦИОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ

*Рассмотрены общие вопросы применения и контроля качества комбинированных противогололедных реагентов, содержащих фрикционную часть, указана необходимость совершенствования и разработки новых комбинированных противогололедных материалов на основе минералов различных типов. **Ключевые слова:** противогололедные материалы, мраморная крошка, фрикционные материалы.*

Glushko A.N., Golosova N.A., Retivov V.M. (Institute of Chemical Reagents and Highly Pure Chemical Substances of the National Research Center «Kurchatov Institute»)

#### DEVELOPMENT OF THE MODERN BASE OF COMPOSITE MATERIALS INNOVATIVE CONTENT OF ROADS

*The General issues of application and quality control of combined anti-icing reagents containing the friction part are considered, the need to improve and develop new combined anti-*