

"GORNYY ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 78–83

<b>Title</b>	<b>Development of technology of concentration of complex pyrite polymetallic ore of Korbalikhinskoe deposit</b>
<b>Author 1</b>	Name & Surname: <b>Shumskaya E. N.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Principal Researcher</b>
	Scientific Degree: <b>Candidate of Engineering Sciences</b>
	Contacts: <b>e-mail: rivs@rivs.ru</b>
<b>Author 2</b>	Name & Surname: <b>Poperechnikova O. Yu.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Head of subdivision</b>
<b>Author 3</b>	Name & Surname: <b>Tikhonov N. O.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Head of subdivision</b>
<b>Abstract</b>	<p>Korbalikhinsky deposit is one of the richest zinc-bearing ore occurrences in Europe. The B+C<sub>1</sub> categories complex ore reserves total 24.8 Mt with the average content, %: Cu 1.44; Pb 2.1; Zn 9.57.</p> <p>Korbalikhinsky ore is planned to be treated by Rubtsovsk processing plant. After modernization, the plant output will grow from 750 thou t to 1.5 Mt. Development of the dressing technology for Korbalikhinsky complex sulphide ore was based on research findings in the following areas:</p> <p>Optimized size of the milling product before rougher copper–lead flotation circuits;</p> <p>Use of attrition to dissociate simple and complex aggregations in copper–lead concentrate scavenging, zinc–pyrite and zinc flotation and mineral surface cleaning in the copper–lead concentrate selection circuit;</p> <p>Selective collecting agent for each flotation circuit;</p> <p>Cyanide-free technology for selection of copper–lead concentrate at its minimized use in copper–lead flotation circuits.</p> <p>Developed after the technological and mineralogical research, the high effective dressing technology for Korbalikhinsky complex sulphide ore enables production of saleable lead, copper and zinc concentrates at the copper recovery of 74.36%, lead recovery of 80.33% and zinc recovery of 85.01%.</p> <p>The design procedures developed based on the laboratory research were accepted by the customer in June 2014. Currently RIVS-Proekt Ltd works out engineering documentation for modernization of Rubtsovsk processing plant.</p>
<b>Keywords</b>	Rebellious sulphide ore, flotation, attrition, copper–lead concentrate selection, flotation agents.

УДК 622.765

**А. А. БОБРАКОВА, А. В. КУПЦОВА** (ЗАО «НПО «РИВС»)  
**Т. Н. АЛЕКСАНДРОВА** (НМСУ «Горный»)

## ПОВЫШЕНИЕ КОМПЛЕКСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛИБДЕНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ



**А. А. БОБРАКОВА,**  
инженер-технолог



**А. В. КУПЦОВА,**  
минералог



**Т. Н. АЛЕКСАНДРОВА,**  
зав. кафедрой,  
д-р техн. наук

Как правило, к рудам комплексного типа относят медно-молибденовые и медно-вольфрамовые. Кроме этих металлов, наряду с молибденом встречаются и другие, представляющие промышленный интерес, в том числе бериллий, литий, олово, уран. Схемы обогащения редкометалльного сырья, как правило, комбинированные, включающие гравитационные<sup>1</sup> переделы. Последовательность операций определяется как содержанием извлекае-

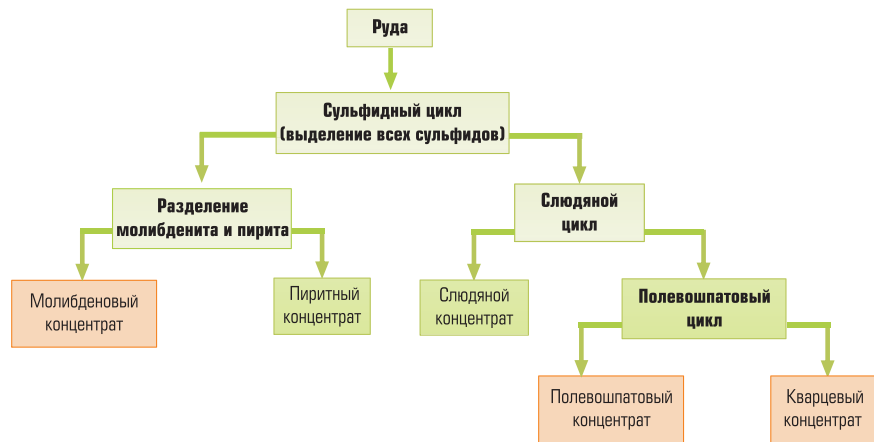
© Бобракова А. А., Купцова А. В., Александрова Т. Н., 2014

<sup>1</sup> Для касситерита и вольфрамита.

Основным источником получения молибдена являются медно-порфиновые руды. Комплексность использования руд этого типа хрестоматийна и позволяет поддерживать экономические показатели предприятий на высоком уровне. Однако для предприятий, перерабатывающих молибденосодержащие руды скарного и жильного типа, поддержание рентабельности весьма сложная задача. Причина — низкий выход собственно молибденового концентрата и, соответственно, ограниченная прибыль по этому виду товара. Поэтому расширение номенклатуры товарной продукции за счет выпуска дополнительных видов концентратов представляется весьма актуальным. Поскольку породообразующая масса представлена, как правило, силикатами и алюмосиликатами, целесообразным представляется развитие технологий получения концентратов нерудного сырья.

**Ключевые слова:** молибденовые руды, обезжелезнение, алюмосиликаты, жирнокислотные собиратели.

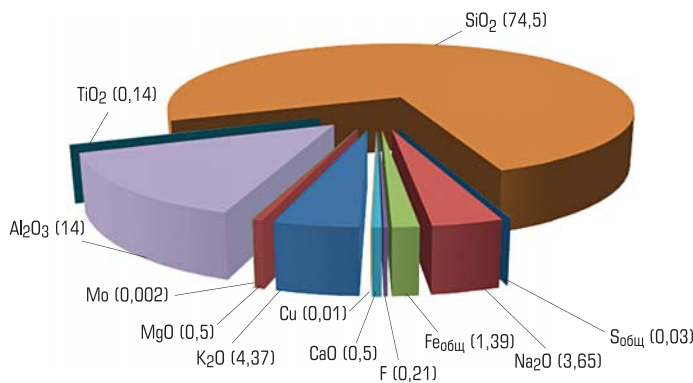
мых компонентов, так и их минеральной принадлежностью. В основном сначала извлекают слюды — либо в одноименный<sup>2</sup> концентрат, либо в хвосты, вторым этапом проводят молибденовую флотацию. Соответственно, слюды флотируют собирателями катионного типа, в сульфидной флотации используют сульфгидрильные собиратели. Если руды характеризуются относительно высоким<sup>3</sup> содержанием сульфидов железа, меди, свинца, то на первой стадии извлекают сульфидные минералы с автономными циклами селекции и перечисток, во второй стадии проводят слюдяную либо полевошпатовую флотацию. В метаморфизованных рудах содержание сопутствующих металлов недостаточно для выделения их в самостоятельный концентрат, поэтому рентабельность переработки



**Рис. 1. Блок-схема переработки руд Южно-Шамейского месторождения**

данных руд, даже с учетом относительно высокого содержания молибдена, крайне низка и полностью зависит от конъюнктуры цен на молибден. По существу, единственной возможностью расширения товарной продукции для таких предприятий является освоение выпуска концентратов силикатного и алюмосиликатного состава, например полевошпатового, слюдяного или кварцевого.

Примером освоения монометалльного молибденосодержащего сырья является разработка технологии обогащения руд Южно-Шамейского (Центральный Урал) месторождения. Ранее специалистами ЗАО «НПО «РИВС» была разработана технология переработки этих руд [1]. По данной технологии предусмотрено получение молибденового, а также слюдяного и полевошпатового концентратов. В месторождении выделяют рудные образования гранитного и гранитно-сланцевого типа. Перечисленные концентраты могут быть получены только из гранитной руды, одноименные концентраты, получаемые из гранитно-сланцевой ру-



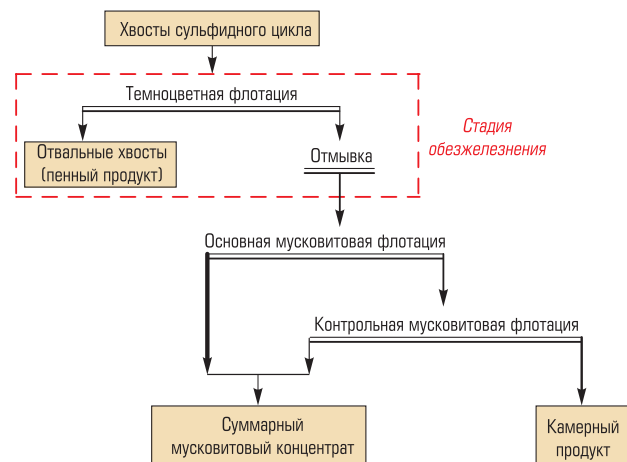
**Рис. 2. Химический состав хвостов сульфидного цикла (%)**

**Таблица 1. Минеральный состав исходной исследуемой пробы**

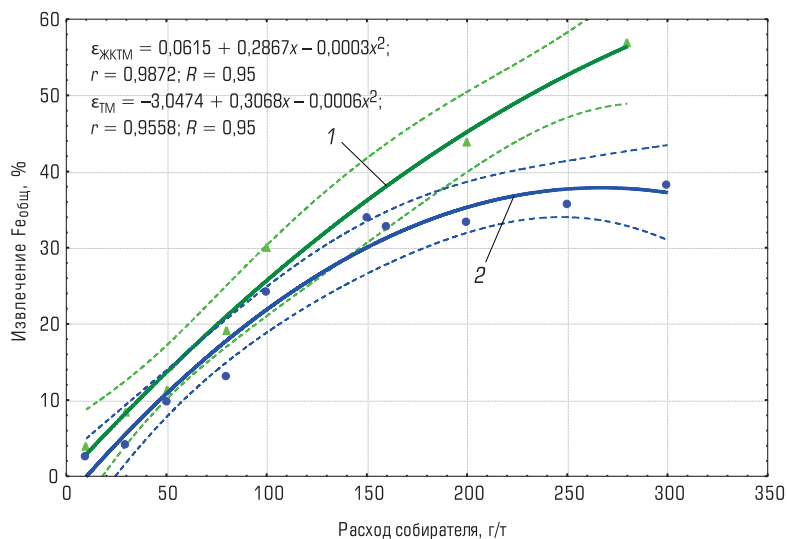
Минерал (группа минералов)	Массовая доля, %
Кварц	32
Альбит	33
Полевые шпаты (микроклин, ортоклаз)	22
Мусковит	7,4
Биотит /флогопит	3,2
Алюмосиликаты Mg и Fe (амфиболы, хлориты)	1
Кальцит	~0,6
Эпидот	~0,3
Флюорит	~0,2
Пирит	Единичные зерна
Халькопирит	То же
Другие (циркон, рутил, магнетит, гематит)	Менее 0,3

<sup>2</sup> Литийсодержащий.

<sup>3</sup> Но недостаточным для получения самостоятельного концентрата.



**Рис. 3. Цикл слюдяной флотации**

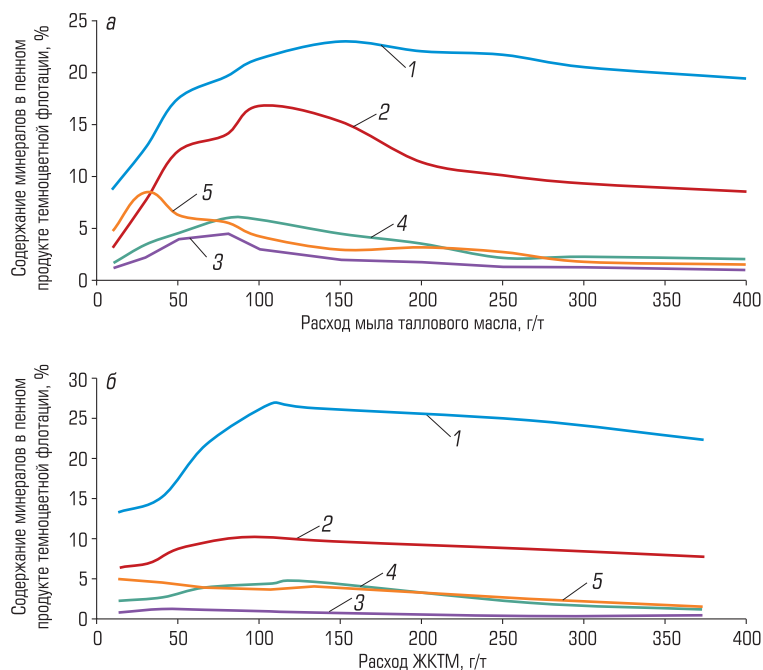


**Рис. 4. Зависимость извлечения Fe<sub>общ</sub> в темноцветный продукт от расхода ЖКТМ (1) и ТМ (2)**

ды, не соответствуют требованиям ГОСТов по содержанию железа. Таким образом, задача повышения рентабельности переработки руд Южно-Шамейского месторождения актуализирует необходимость разработки технологии доводки получаемых концентратов до кондиций, определяемых керамической отраслью промышленности.

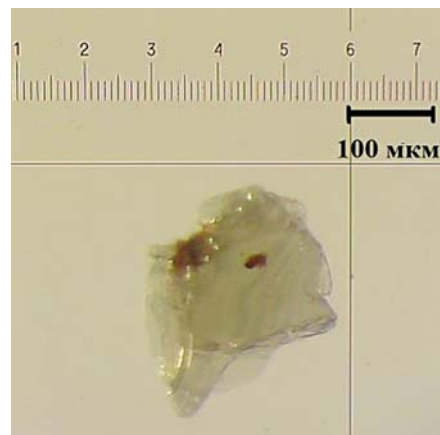
Принципиальная схема переработки руд Южно-Шамейского месторождения представлена на **рис. 1**.

Следует отметить определенный резерв повышения извлечения и качества слюдяного (мусковитового) концентрата путем оптимизации режимных параме-

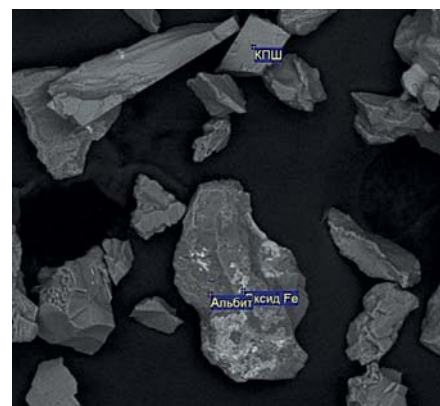


**Рис. 7. Зависимость содержания минералов в пенном продукте темноцветной флотации от расхода ТМ (а) и ЖКТМ (б):**

1 — мусковит; 2 — биотит; 3 — эпидот; 4 — амфиболы;  
5 — кальций + флюорит



**Рис. 5. Включения гидроксидов в мусковите (под бинокуляром)**



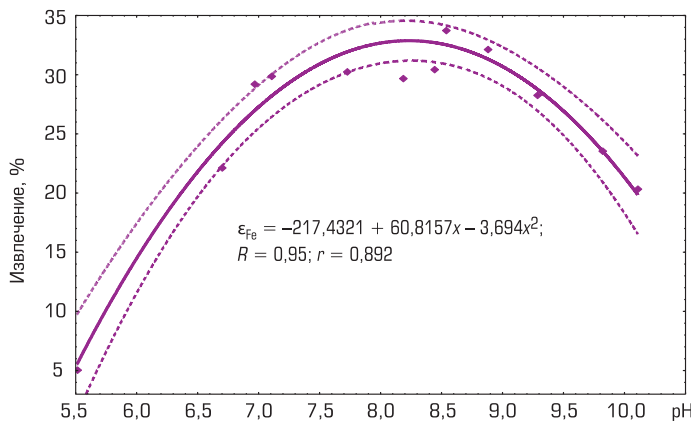
**Рис. 6. Развитие оксидов железа по поверхности альбита (изображение с электронного микроскопа)**

тров флотации темноцветных минералов (темноцветной флотации). В соответствии с базовыми показателями, выход товарного мусковитового концентрата составлял 2,5 % при содержании основного минерала не менее 80 %. Традиционно собственно слюдяной флотации предшествует флотационный цикл с выводом основной массы железосодержащих минералов в отвалы хвосты.

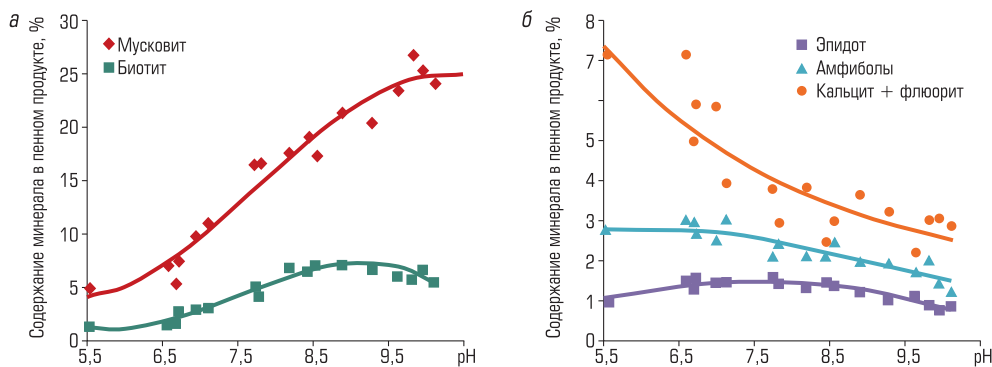
Исходным питанием слюдяного цикла являются хвосты сульфидной флотации, химический и минеральный состав которых приведен на **рис. 2** и в **табл. 1**.

Можно сформировать основные направления технологических исследований по повышению выхода и качества товарной продукции алюмосиликатного состава из молибденосодержащих руд:

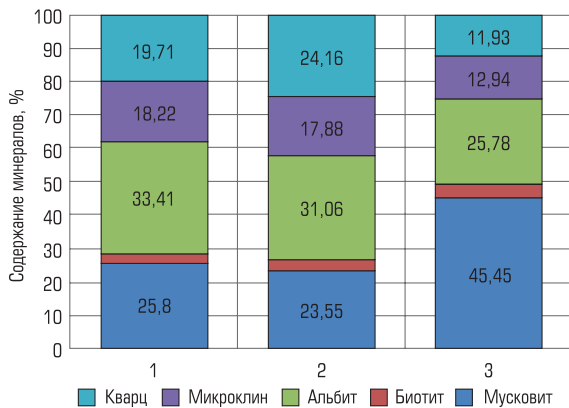
- повышение эффективности подготовительного флотационного передела;
- механоактивация сырья с удалением железосодержащих минеральных примазок.



**Рис. 8. Зависимость извлечения железа в пенный продукт от значения pH**



**Рис. 9. Зависимость содержания минералов в пенном продукте от значения pH:**  
 а — слоистые алюмосиликаты, б — темноцветные и кальцийсодержащие минералы



**Рис. 10. Содержание минералов в суммарном мусковитовом концентрате при различных реагентных режимах**

Слюдяной цикл включает (рис. 3) операции темноцветной флотации<sup>4</sup>, основной и контрольной слюдяной флотации. Камерный продукт мусковитовой флотации является кварц-полевошпатовым концентратом.

<sup>4</sup> Подготовительный передел.

<sup>5</sup> Дифрактометр D2 Phaser (CuKα) в диапазоне углов 2θ от 5 до 70 град.

Основной технологической проблемой при флотации является то обстоятельство, что извлекаемый мусковит и подавляемые железосодержащие минералы относятся к одной группе — слоистым алюмосиликатам и, соответственно, имеют близкие флотационные свойства. Естественно, многообразие задач, возникающих перед проведением одной операции, предопределяет необходимость развитого реагентного подхода к ее проведению. В то же время реагент-собираТЕЛЬ должен быть достаточно универсален и обеспечивать извлечение в пенный продукт минералов разных групп. Данным требованиям отвечают жирнокислотные реагенты. При оценке флотационного извлечения железосодержащих минералов в стандартных открытых

опытах выявлено определенное преимущество жирных кислот талового масла (ЖКТМ) перед таловым маслом (ТМ) (рис. 4).

В то же время минералогическим анализом выявлен определенный предел остаточного содержания железа в питании слюдяной флотации, обусловленный ассоциированным железом.

Установлено наличие железа в виде включений или изоморфных примесей непосредственно в мусковите (рис. 5) между пластинами. По данным микроанализа элементного состава мусковита выявлено до 5 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в структуре минерала. У полевых шпатов и кварца наблюдается развитие оксидов железа по поверхности (рис. 6). Подобные включения предопределяют необходимость введения в технологическую схему операций механоактивации с очисткой минеральной поверхности.

С целью оценки вклада каждого из минералов в формирование общего извлечения железа в пенный продукт темноцветной флотации определена зависимость содержания основных минералов в пенном продукте от расхода реагентов методом рентгенофазового анализа<sup>5</sup> [2, 3] (рис. 7).

Как видно, сопоставимое извлечение темноцветных минералов достигается при расходах ЖКТМ, практически вдвое меньших, чем ТМ.

Традиционен также подход к оптимизации величины pH при флотации сырья алюмосиликатного состава. Соответствующие данные приведены на рис. 8 и 9. И если, ориентируясь на извлечение в пенный продукт железа, представляется оптимальным

Таблица 2. Технологический режим темноцветной флотации

Номер реагентного режима	Расход собирателя, г/т	pH	Выход основного мусковитового концентрата, %	Примечание
1	300	9–9,2	10,2	В условиях максимального извлечения Fe в темноцветный продукт
2	100	9–9,2	15,6	Откорректированный расход собирателя без изменения pH
3	100	7–8	12	Оптимальные условия флотации

диапазон  $8 \pm 0,5$ , то с учетом возрастания потерь мусковита с пенным продуктом при  $pH > 7$  оптимальным для темноцветной флотации следует считать диапазон pH от 7 до 8.

Таким образом, оптимизация темноцветной флотации (как цикла обезжелезнения) дает возможность повысить качество получаемого мусковитового концентрата, а именно: регулирование значения pH (до 8) способствует флотации железосодержащих минералов (амфиболов, эпидота, биотита), а низкий расход ТМ (100 г/т) позволяет снизить потери мусковита с пенным продуктом темноцветной флотации.

На обогатительной фабрике Малышевского рудоуправления, на которой планируется переработка руд Южно-Шамейского месторождения, флотация мусковита осуществляется в кислой среде ( $pH = 2-3$ ) с использованием собирателя катионного типа Флон-2.

На рис. 10 представлено распределение материалов в пенном продукте основной мусковитовой флотации, которой предшествовала темноцветная операция, проведенная в различном реагентном режиме (табл. 2).

Тем самым, в соответствии с фабричной практикой, оптимизация режимных параметров мусковитовой флотации в замкнутом цикле с перечистными операциями позволяет повысить выход товарного слюдяного концентрата (содержание мусковита не менее 80 % [4]) практически вдвое.

Библиографический список

1. Назаров Ю. П., Хамьянов В. П., Козырин С. В. и др. Повышение комплексности переработки монометаллических молибденосодержащих руд // Горный журнал. 2012. № 11. С. 40–44.
2. Трушин В. Н., Андреев П. В., Фаддеев М. А. Рентгенофазовый анализ поликристаллических материалов. — Новгород, 2012.
3. Пушаровский Д. Ю. Рентгенография минералов. — М.: ЗАО «Геоинформмак», 2000.
4. ГОСТ 14327-82. Слюда мусковит молотая электродная. Технические условия. ГЖ

Бобракова Антонина Александровна,  
Купцова Адиля Владимировна:  
e-mail: rivs@rivs.ru  
Александрова Татьяна Николаевна,  
e-mail: aleksandrova\_tn@spmi.ru

"GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 83–87

Title	Searching of ways of increasing of complexity of molibdenum-containing raw materials use
Author 1	Name & Surname: <b>Bobrakova A. A.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Process Engineer</b>
	Contacts: <b>e-mail: rivs@rivs.ru</b>
Author 2	Name & Surname: <b>Kuptsova A. V.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Mineralogist</b>
Author 3	Name & Surname: <b>Aleksandrova T. N.</b>
	Company: <b>National Mineral Resources University (University of Mines) (Saint-Petersburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Head of Chair</b>
	Scientific Degree: <b>Doctor of Engineering Sciences</b>
Abstract	The main source of molybdenum is porphyry copper. In case of mono-molybdenum systems, their processing profitability, even considering relatively high molybdenum content, is extremely low and totally depends on the market-determined prices of molybdenum. As a matter of fact, there is a single way out of this situation, namely, production of concentrates with silicate and aluminum silicate composition.
	The previously developed processing technology for Yuzhno-Shameisky molybdenum deposit is aimed at comprehensive utilization of natural mineral and production of additional commodities—feldspar, mica or quartz concentrates.
	One of the methods of improving the qualitative and quantitative performance of the dressing technology is enhancement of the reagent conditions in the mica circuit, by means of optimization of flotation parameters for dark-colored minerals (dark-colored flotation).
	Aided with the X-ray phase analysis, the contribution of each mineral to the total recovery of iron in the dark-colored flotation froth has been studied, involving different collecting agents, their varied consumption and pH values.
Keywords	This approach to flotation of nonsulphide mineral improves the quality of the resultant muscovite mica concentrate. Namely, adjustment of pH value (to 0.8) favors to flotation of iron-bearing minerals (amphiboles, achmatite, biotite) while the fitted consumption of tall oil soap allows reducing the loss of the valued mineral (muscovite mica) with the dark-colored flotation froth.
	As consistent with the plant practice, the optimization of the muscovite mica flotation parameters in the closed cycle with scavenging circuits doubles the output of the marketable mica concentrate with the muscovite mica content not less than 80%.
	Molybdenum ore, iron removal, aluminosilicates, fatty acid collectors.
References	1. Nazarov Yu. P., Khamyaynov V. P., Kozyrin S. V. et al. Povyshenie kompleksnosti pererabotki monometallicheskih molibdensoderzhashchikh rud (Increasing of complexity of monometallic molybdenum-containing ore processing). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2012. No. 11. pp. 40–44.
	2. Trushin V. N., Andreev P. V., Faddeev M. A. Rentgenofazovyy analiz polikristallicheskih materialov (X-ray phase analysis of polycrystalline materials). Novgorod, 2012.
	3. Pushcharovskiy D. Yu. Rentgenografiya mineralov (X-ray study of minerals). Moscow : JSC "Geoinformmark", 2000.
	4. GOST 14327-82. Slyuda muskovit molotaya elektrodnyaya. Tekhnicheskie usloviya (State Standard 14327-82. Crushed muscovite mica for electrodes. Technical requirements). (in Russian).