



Оригинальная статья / Original article

УДК 622.765.061

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-59-65>

## Флотационные испытания нового комплексного реагента-собираателя оксидных форм сурьмы на пробе сурьмяной руды месторождения Жипхоша

© Г.В. Михеев<sup>a</sup>, С.А. Богйдаев<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов, г. Иркутск, Россия

**Резюме:** Цель данных исследований – применение и изучение нового реагента-собираателя оксидных форм сурьмы для сокращения потерь металла с хвостами. Ведущими способами переработки сурьмяных руд являются гравитационные и флотационные методы обогащения. Основная доля извлекаемой сурьмы при обогащении различных типов сурьмяных руд получена за счет наличия в рудах сульфидной формы металла (антимонита). Потери сурьмы в свою очередь связаны с оксидными минералами (стибнит, валентинит, кермзит), форма нахождения которых представлена в виде пленок, линз или чешуек. Единственным известным способом для извлечения оксидов сурьмы из руд различных месторождений является флотационное обогащение. До сих пор для предприятий, перерабатывающих сурьмяные типы руды, нет разработанных схем и режимов флотационного обогащения, позволяющих получить кондиционные или близкие к кондиционным концентраты из оксидных форм сурьмы. Для извлечения оксидных минералов сурьмы применяются жирнокислотные собиратели катионного типа, углеводороды, нефтяные масла и сланцевая смола. В результате проведения исследований в качестве эффективного собирателя сурьмы выбран новый комплексный реагент-собираитель  $KC_{Sb}$ , состоящий из продуктов лесохимического производства и производной аспарагиновой кислоты. Разработан способ флотации окисленных сурьмяных руд с использованием нового реагента-собираителя  $KC_{Sb}$ , повышающий технологические и экономические показатели процесса флотации.

**Ключевые слова:** флотация, обогащение, сурьма, извлечение

**Информация о статье:** Дата поступления 14 января 2020 г.; дата принятия к печати 12 февраля 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 марта 2020 г.

**Для цитирования:** Михеев Г.В., Богйдаев С.А. Флотационные испытания нового комплексного реагента-собираателя оксидных форм сурьмы на пробе сурьмяной руды месторождения Жипхоша. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 1. С. 59–65. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-59-65>

## Flotation tests of the new complex collecting agent for antimony oxide forms: a case study of the antimony ore sample from the Zhipkhosha deposit

© Gregory V. Miheev<sup>a</sup>, Sergey A. Bogidayev<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds, Irkutsk, Russia

**Abstract:** The purpose of the work is to study a new collecting agent for antimony oxide forms in order to reduce metal loss with the tails. The main methods for processing antimony ores are gravity and flotation beneficiation. The major amount of antimony extracted through the enrichment of various types of antimony ores is due to the presence of the metal sulfide form (antimonite). Antimony loss, in turn, is associated with oxide minerals (stibnite, valentinite, kermzite) that are present in the form of films, lenses or flakes. The only known method for extracting antimony oxides from the ores of various deposits is flotation concentration. So far, for the enterprises processing antimony ores, there are no developed schemes or regimes of flotation concentration that would allow obtaining conditioned (or close to conditioned) concentrates from oxide antimony forms. To extract antimony oxide minerals, fatty-acid collectors of the cationic type, carbon hydrogen, petroleum oils and shale resin are used. As a result of the research, a new complex collecting agent  $KC_{Sb}$ , consisting of wood-chemical products and a derivative of aspartic acid, has been selected as an effective antimony collector. A method of oxidized antimony ore flotation using a new collector reagent  $KC_{Sb}$  has been developed. The method increases the technological and economic indexes of the flotation process.

**Keywords:** flotation, enrichment, antimony, extraction

**Information about the article:** Received January 14, 2020; accepted for publication February 12, 2020; available online March 30, 2020.

**For citation:** Miheev GV, Bogidayev SA. Flotation tests of the new complex collecting agent for antimony oxide forms: a case study of the antimony ore sample from the Zhipkhoa deposit. *Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(1):59–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-59-65>

## Введение

В результате поисковых работ авторами был выбран и изучен новый комплексный реагент-собирающий КС<sub>Sb</sub>. Физико-химическими методами спектроскопии ядерного магнитного резонанса, хромато-масс- и инфракрасной спектроскопии определен состав КС<sub>Sb</sub>, который представлен на 31 % насыщенными жирными кислотами (пальмитиновая – 28 %, стеариновая – 3 %) и на 58 % ненасыщенными и полиненасыщенными жирными кислотами (линолевая – 35 %, олеиновая – 23 %). В незначительной мере присутствуют парафины – 7 % (оказывают влияние на поверхностное натяжение) и аспарагиновая кислота – 2 % (создает необходимый баланс при сорбции во флотационном обогащении).

Объектом исследований для испытаний нового комплексного реагента-собирающего КС<sub>Sb</sub> выбрано месторождение Жипхоша. Руда месторождения представляет собой жильное и жильно-прожилково-вкрапленное кварц-антимонитовое оруденение, основным ценным компонентом которого является сурьма, представленная в свою очередь на 80 % антимонитом и на 20 % стибиконитом, валентинитом. Для обогащения руды разработана гравитационно-флотационная технология [1, 2], извлечение сурьмы по которой составляет 78,5 % при качестве концентрата марки КСУФ-2 44 % (содержание сурьмы – 40–50 %).

## Методы исследований

В работе использованы результаты исследований по обогащению сурьмяной руды месторождения Жипхоша. Прове-

дены испытания по флотационному обогащению оксидной формы сурьмы с использованием нового реагента-собирающего КС<sub>Sb</sub>.

## Результаты исследований

При проведении флотационных исследований руды месторождения Жипхоша [3–8] в качестве собирателя оксидных форм металла выбран новый синтезированный реагент-собирающий КС<sub>Sb</sub>. Реагент состоит из продуктов отходов лесохимической промышленности, которые образуются при сухой обработке леса. Из этого следует, что реагент можно получать на месте производства, а затраты на его изготовление будут минимальны, что в конечном итоге приведет к удешевлению процесса флотационного обогащения.

С помощью физико-химических методов спектроскопии ядерного магнитного резонанса, хромато-масс- и инфракрасной спектроскопии<sup>1,2</sup> [9–11] определен состав КС<sub>Sb</sub>, в который вошли три компонента: хлопковый soapсток «Даллес»; водная паста натриевых солей карбоновых кислот «БТ-1С»; натриевые соли производных аспарагиновой кислоты «Аспарал Ф». Основными действующими веществами реагента-собирающего по определенному составу являются насыщенные (31 %), а также ненасыщенные и полиненасыщенные (58 %) жирные кислоты.

При проведении исследований по флотации оксидных форм сурьмы с применением реагента-собирающего КС<sub>Sb</sub> выбран оптимальный состав составляющих компонентов как 1 : 1 : 0,2 (табл. 1).

<sup>1</sup> Воронов В.К., Сагдеев Р.З. Основы магнитного резонанса: учеб. пособие. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1995. 352 с.

<sup>2</sup> Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс-спектроскопии в органической химии: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1979. 238 с.



Таблица 1

Определение оптимального соотношения компонентов,  
составляющих комплексный реагент-собиратель  $KC_{Sb}$

Table 1

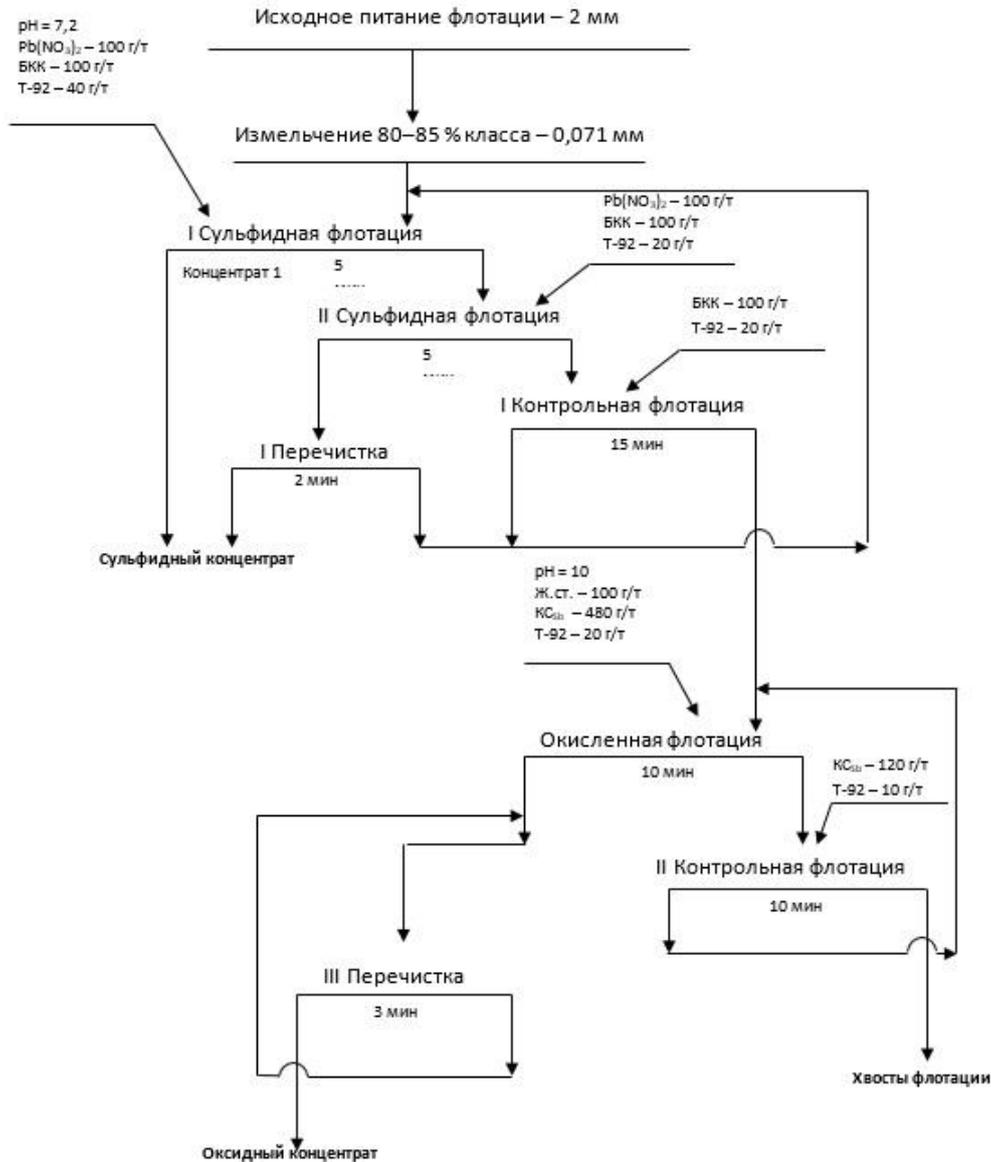
Determination of the optimal ratio of the components  
that make up the complex collecting agent  $KC_{Sb}$

Наименование	Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %
Опыт 1 (1 часть «Даллес» : 1 часть «БТ-1С» : 1 часть «Аспарал Ф») 600 г/т			
Концентрат	4,21	17,7	41,4
Хвосты	95,79	1,1	58,6
Сульфидные хвосты	100	1,8	100
Опыт 2 (1 часть «Даллес» : 1 часть «БТ-1С» : 0,5 части «Аспарал Ф») 600 г/т			
Концентрат	4,27	18	42
Хвосты	95,73	1,11	58
Сульфидные хвосты	100	1,83	100
Опыт 3 (1 часть «Даллес» : 1 часть «БТ-1С» : 0,2 части «Аспарал Ф») 600 г/т			
Концентрат	4,15	18,2	42,4
Хвосты	95,85	1,07	57,6
Сульфидные хвосты	100	1,78	100
Опыт 4 (0,5 части «Даллес» : 1 часть «БТ-1С» : 0,2 части «Аспарал Ф») 600 г/т			
Концентрат	4	19	40,2
Хвосты	96	1,18	59,8
Сульфидные хвосты	100	1,89	100
Опыт 5 (0,5 части «Даллес» : 0,5 части «БТ-1С» : 0,2 части «Аспарал Ф») 600 г/т			
Концентрат	3,96	17	38,2
Хвосты	96,04	1,13	61,8
Сульфидные хвосты	100	1,76	100
Опыт 6 (1 часть «Даллес» : 0,5 части «БТ-1С» : 0,2 части «Аспарал Ф») 600 г/т			
Концентрат	3,73	18,8	38
Хвосты	96,27	1,19	62
Сульфидные хвосты	100	1,85	100
Опыт 7 (0,5 части «Даллес» : 0,5 части «БТ-1С» : 1 часть «Аспарал Ф») 600 г/т			
Концентрат	3,63	18,8	37,9
Хвосты	96,37	1,16	62,1
Сульфидные хвосты	100	1,8	100

Из табл. 1 видно, что оптимальное соотношение компонентов комплексного реагента-собирателя принято в опыте 3: 1 часть «Даллес»: 1 часть «БТ-1С»: 0,2 части «Аспарал Ф».

В дальнейшем были проведены контрольные опыты по флотации оксидных форм сурьмы на хвостах сульфидной флотации в оптимальном разработанном

режиме: крупность помола – 80–85 % класса -0,074 мм; pH = 9,5; плотность пульпы – 25 %; расход  $KC_{Sb}$  – 600 г/т; расход жидкого стекла – 20 г/т. Время флотации: основной – 10 мин, контрольной – 10 мин, перечистки – 3 мин; время агитации с  $KC_{Sb}$  – 3 мин. Схема испытаний приведена на рисунке, результаты отражены в табл. 2.



**Технологическая схема испытаний реагента-собирателя  $KC_{Sb}$  в оптимальных условиях**  
**Flowchart for testing the  $KC_{Sb}$  collecting agent under optimal conditions**

### Баланс металла по конечным продуктам флотации

### The balance of metal in the final products of flotation

Таблица 2

Table 2

Наименование продукта	Выход, %	Содержание сурьмы, %	Извлечение сурьмы, %
Сульфидный концентрат, в том числе:	12,4	54,55	79,5
концентрат 1	7,34	53	45,7
концентрат 2	5,06	56,8	33,8
Хвосты сульфидной флотации	87,6	1,99	20,5
Оксидный концентрат	5,7	15,1	10,1
Объединенный концентрат	18,1	42,1	89,6
Хвосты окисленной флотации	81,9	1,08	10,4
Итого: исходное питание флотации (хвосты гравитации)	100	8,51	100



Из табл. 2 видно, что извлечение сурьмы в объединенный флотоконцентрат за счет введения в технологическую схему операции флотации оксидных форм сурьмы составляет 89,6 % при качестве концентрата 42,1 % (марка КСУФ-2). Хвосты по содержанию сурьмы при этом снизились до 1,08 %.

При использовании полученных в результате исследований данных были рассчитаны технико-экономические показатели<sup>3–6</sup> [12–14], которые представлены в табл. 3.

На основании показателей, приведенных в табл. 3, можно сделать вывод о том, что условный экономический эффект

**Таблица 3**  
**Технико-экономические показатели флотационного обогащения**

**Table 3**

**Technical and economic indexes of flotation enrichment**

Наименование показателя	Варианты	
	С применением реагента КС <sub>Sb</sub>	Без применения реагента КС <sub>Sb</sub>
Годовая производительность, тыс. т	500	
Содержание сурьмы, %	2	
Масса сурьмы в исходной руде, кг	10000	
Поступило		
Хвосты гравитации, тыс. т	122,3	
Содержание сурьмы в хвостах гравитации, %	5,72	
Масса сурьмы в хвостах гравитации, кг	6996	
Извлечение сурьмы, %	70	
Расход КС <sub>Sb</sub> , т/г	3,4	0
Цена КС <sub>Sb</sub> , тыс. руб./т	25	0
Стоимость КС <sub>Sb</sub> , тыс. руб.	85	0
Получено		
Извлечение в сульфидный флотоконцентрат от питания флотации, %	79,5	
Извлечение в окисленный флотоконцентрат от питания флотации, %	10,1	–
Концентрат сульфидной флотации, т	5561,471	
Концентрат окисленной флотации, т	706,552	–
Содержание сурьмы в сульфидном концентрате, %	54,55	
Содержание сурьмы в окисленном концентрате, %	15,1	–
Цена сурьмы, руб./т концентрата	500000	550000
Стоимость сурьмы, полученной из флотоконцентрата, тыс. руб.	3134011,5	3058809,05
Итого доходы, тыс. руб.	3134011,5	3058809,05
Итого расходы, тыс. руб.	2180027	2135204
Условная прибыль, тыс. руб.	953984,5	923605,05

<sup>3</sup> Ковалев В.В., Волкова О.Н. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учебник. М.: Проспект, 2007. 424 с.

<sup>4</sup> Гомола А.И., Кириллов В.Е., Жаннин П.А. Экономика для профессий и специальностей социально-экономического профиля: учеб. пособие. М.: Академия, 2017. 351 с.

<sup>5</sup> Об утверждении методических рекомендаций по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых: распоряж. Министерства природных ресурсов РФ от 05.06.2007 г. № 37-р // Техэксперт. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902305753> (11.01.2020).

<sup>6</sup> Титов В.И. Экономика предприятия: учебник. М.: Эксмо, 2008. 411 с.



от введения в технологическую схему флотации оксидных форм сурьмы с применением нового реагента-собирателя  $КС_{Sb}$  составит порядка 30 млн руб. в год.

### Заключение

Полученные в ходе проведенных исследований по флотационному обогащению оксидных форм сурьмы месторождения Жипхоша с использованием нового реагента-собирателя  $КС_{Sb}$  данные показали эффективность включения

этого конкретного узла в общую технологическую схему обогащения. В результате увеличен выход сурьмы в товарный флотоконцентрат и сокращены потери с хвостами до 10,4 %.

На основании вышеизложенного реагент-собиратель  $КС_{Sb}$  рекомендуется использовать в технологических схемах месторождений, содержащих трудноизвлекаемые оксидные формы сурьмы.

### Библиографический список

1. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Ланцова Л.Б. Разработка метода селективной флотации сульфидов сурьмы и мышьяка при обогащении комплексных золотосодержащих руд // Цветные металлы. 2019. № 4. С. 6–12.
2. Новые процессы в комбинированных схемах обогащения полезных ископаемых: сб. науч. тр. / отв. ред. А.М. Гольман, В.А. Чантурия. М.: Наука, 1989. 210 с.
3. Solozhenkin P.M., Alekseev A.N. Innovative processing and hydrometallurgical treatment methods for complex antimony ores and concentrates. Part I // Journal of Mining Science. 2010. Vol. 46. No. 2. P. 203–209.
4. Соложенкин П.М. Развитие принципов выбора реагентов для флотации минералов сурьмы и висмута // Доклады Академии наук. 2016. Т. 466. № 5. С. 559–562. <https://doi.org/10.7868/S0869565216050145>
5. Соложенкин П.М., Зинченко З.И. Обогащение сурьмяных руд. М.: Наука, 1985. 179 с.
6. Мязин В.П. Флотационное обогащение и металлургия сурьмяных руд: монография. Чита: Изд-во ЧТГУ, 2015. 156 с.
7. Агарова Н.Е., Козмина А.А., Яковлева Л.М., Краюхин С.А. Оптимизация режимов получения сурьмянисто-оловянного концентрата // Цветные металлы. 2019. № 2. С. 33–38.
8. Соложенкин П.М. Проблемы обогащения и переработки золото-сурьмяных руд Российской Федерации // Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в XXI веке (Плаксинские чтения 2019): материалы Междунар. совещ. Иркутск, 2019. С. 172–175.
9. Калабин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнарев Д.Ф. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки. М.: Химия, 2000. 408 с.
10. Ионин Б.И., Ершов Б.А., Кольцов А.И. ЯМР-спектроскопия в органической химии. Л.: Химия, 1983. 269 с.
11. Алексеева К.В. Пиролитическая газовая хроматография. М.: Химия, 1985. 256 с.
12. Малахов Р.Г. Экономическая теория. М.: Рид Групп, 2016. 448 с.
13. Поляков О.А., Минин В.В., Лизункин М.В. Состояние, проблемы и перспективы развития горнопромышленного комплекса Забайкальского края // Горный журнал. 2011. № 3. С. 4–7.
14. Соложенкин П.М. Перспектива возобновления производства сурьмы и ее соединений в России: сурьмяные, золотосурьмяные месторождения РФ и технологии их инновационной переработки // Проблемы и перспективы комплексного освоения сохранения земных недр: материалы 2-й Междунар. науч. шк. акад. К.Н. Трубочко. М., 2016. С. 377–381.

### References

1. Matveeva TN, Gromova NK, Lantsova LB. Developing a method for selective flotation of antimony and arsenic sulfides in enriching complex gold-bearing ores. *Tsvetnye metally*. 2019;4:6–12. (In Russ.)
2. Gol'man AM, Chanturiya VA. *New processes in combined mineral treatment schemes*. Moscow: Nauka; 1989. 210 p. (In Russ.)
3. Solozhenkin PM, Alekseev AN. Innovative processing and hydrometallurgical treatment methods for complex antimony ores and concentrates. Part I. *Journal of Mining Science*. 2010;46(2):203–209.
4. Solozhenkin PM. Developing the principles of the reagent selection in the flotation of antimony and bismuth minerals. *Doklady Akademii nauk*. 2016;466(5):559–562. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0869565216050145>
5. Solozhenkin PM, Zinchenko ZI. *Enrichment of antimony ores*. Moscow: Nauka; 1985. 179 p. (In Russ.)
6. Myazin VP. *Flotation enrichment and metallurgy of antimony ores*. Chita: Chita State Technical University; 2015. 156 p. (In Russ.)
7. Agarova NE, Kozmina AA, Yakovleva LM, Krayukhin SA. Optimizing antimony-tin concentrate



production modes. *Tsvetnye metally*. 2019;2:33–38. (In Russ.)

8. Solozhenkin PM. Beneficiation and processing of antimony ores in the Russian Federation. In: *Problemy i perspektivy effektivnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya v XXI veke (Plaksinskie chteniya-2019): materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya* = Issues and prospects for effective treatment of mineral raw materials in the 21<sup>st</sup> century (Plaksinsky readings, 2019). Irkutsk; 2019. p.172–175. (In Russ.)

9. Kalabin GA, Kanitskaya LV, Kushnarev DF. *Quantitative NMR spectroscopy of natural organic raw materials and products of their processing*. Moscow: Khimiya; 2000. 408 p. (In Russ.)

10. Ionin BI, Ershov BA, Koltsov AI. *NMR spectroscopy in organic chemistry*. Leningrad: Khimiya; 1983. 269 p. (In Russ.)

11. Alekseeva KV. *Pyrolytic gas chromatog-*

*raphy*. Moscow: Khimiya; 1985. 256 p. (In Russ.)

12. Malakhov R.G. *Theory of economics*. Moscow: Rid Grupp; 2016. 448 p. (In Russ.)

13. Polyakov OA, Minin VV, Lizunkin MV. The current state, problems and development prospects of the mining complex of Transbaikalia Territory. *Gornyi zhurnal*. 2011;3:4–7. (In Russ.)

14. Solozhenkin PM. The prospect for resuming the production of antimony and its compounds in Russia: antimony and gold antimony deposits of the Russian Federation and innovative processing technologies. In: *Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoeniya sokhraneniya zemnykh nedr: materialy 2-i Mezhdunarodnoi nauchnoi shkoly akademika K.N. Trubetskogo* = Issues and prospects of the integrated development and conservation of the Earth interior: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Scientific school of K.N. Trubetskoy. Moscow; 2016. p.377–381. (In Russ.)

### Критерии авторства / Authorship criteria

Михеев Г.В., Богйдаев С.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Gregory V. Miheev, Sergey A. Bogidayev are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal responsibility for plagiarism.

### Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*All authors have read and approved the final version of this manuscript.*

### Сведения об авторах / Information about the authors



**Михеев Григорий Владимирович**,  
старший научный сотрудник,  
Иркутский научно-исследовательский институт  
благородных и редких металлов и алмазов,  
664025, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 38, Россия,  
✉ e-mail: miheev@irgiredmet.ru

**Gregory V. Miheev**,  
Senior Researcher,  
Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds,  
38 Gagarin Boulevard, Irkutsk 664025, Russia,  
✉ e-mail: miheev@irgiredmet.ru



**Богйдаев Сергей Александрович**,  
доктор технических наук,  
научный сотрудник,  
Иркутский научно-исследовательский институт  
благородных и редких металлов и алмазов,  
664025, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 38, Россия,  
e-mail: fluorit2001@mail.ru

**Sergey A. Bogidayev**,  
Dr. Sci. (Eng.),  
Researcher,  
Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds,  
38 Gagarin Boulevard, Irkutsk 664025, Russia,  
e-mail: fluorit2001@mail.ru