

УДК 622.765.061  
 DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-5-36-43

## ЛИНИЯ ОБОГАЩЕНИЯ ОКСИДНЫХ ФОРМ СУРЬМЫ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЖИПХОША»

### ANTIMONY OXIDE FORM ENRICHMENT LINE ON THE EXAMPLE OF THE «ZHIPKHOSHA» FIELD



**Г. В. Михеев,**  
АО «Иргиредмет», г. Иркутск  
miheev@irgiredmet.ru

**G. Mikheev,**  
JSC "Irgiredmet", Irkutsk



**С. А. Богидаев,**  
АО «Иргиредмет», г. Иркутск  
fluorit2001@mail.ru

**S. Bogidaev,**  
JSC "Irgiredmet", Irkutsk

Сурьмяная промышленность в Российской Федерации переживает не лучшие времена. ООО «ГеоПромайнинг», основное предприятие, добывающее и обогащающее сурьму, владеет обогатительной фабрикой на Сыралахском месторождении (Якутия), там же перерабатывается руда Сентанчанского месторождения; добыча в меньших масштабах ведётся в Красноярском крае на месторождении «Удерейское» (Новоангарский ГОК), попутно её добывают на Олимпиадинском ГОКе из хвостов обогащения золото-сурьмяной руды. Многие разведанные крупные месторождения в Забайкальском крае, Пермской области, Красноярском крае вовсе не разрабатываются. Причина всему – нерентабельность разработки и переработки сурьмяных месторождений ввиду низкой цены на металл и сложности получения кондиционных концентратов из-за присутствия в сурьмосодержащих месторождениях оксидных форм металла, встречающихся в месторождениях в виде линз и плёнок, что осложняет обогащение (извлечение) такого металла вследствие отсутствия способов и методов или дороговизны переработки.

В работе излагается актуальность проблемы добычи и переработки сурьмяных руд. Представлен реагент-собиратель оксидных форм сурьмы  $KC_{Sb}$  и на основании его применения разработаны параметры флотационного обогащения руды месторождения «Жипхоша», что способствует существенному повышению извлечения металла. Отмечено, что использование  $KC_{Sb}$  является более эффективным в сравнении с другими известными реагентами, применяемыми для обогащения оксидов сурьмы. Получены результаты исследований реагента-собирателя при введении его в технологическую схему флотации оксидных форм сурьмы, которые свидетельствуют о целесообразности и эффективности его применения. Этот факт подтверждён технико-экономическим расчётом, по которому условная прибыль составляет 30...31 млн р. на 1 млн т перерабатываемой руды в год. Прирост получаемой продукции (концентрат) составляет порядка 700...800 т, качеством (содержание сурьмы) 32...36 %, соответствующей марке КСУФ-3. Способ рекомендуется применять для переработки руд сурьмяных месторождений, содержащих оксидные минералы сурьмы (от 10 % и более)

**Ключевые слова:** флотационное обогащение; реагент-собиратель; оксид сурьмы; извлечение; сурьма; месторождение «Жипхоша»; кондиционный концентрат; кинетика; схема флотации; разработка схемы

The antimony industry in the Russian Federation is currently experiencing difficult times. The main enterprise that produces and enriches antimony today is GeoProMining LLC, which owns a processing plant at the Syralakhskoye field (Yakutia), where the ore of the Sentanchansky field is processed, production on a smaller scale is carried out in the Krasnoyarsk Territory at the Udereyskoye field of the Novoangarsky GOK, and associated production is carried out at the Olympiadinsky GOK from the tailings of the gold-antimony ore enrichment. Many fields are not being developed at all. The reason for this is the profitability of the development and processing of antimony deposits, due to the low price of metal and the difficulty of obtaining conditioned concentrates due to the presence of metal oxide forms in antimony-containing deposits. Oxide forms of metal in deposits occur in the form of lenses and films, which complicates the enrichment (extraction) of such metal due to the lack of methods and methods or the high cost of processing.

The article presents the relevance of the problem of extraction and processing of antimony ores. The reagent-collector of antimony oxide forms  $KC_{Sb}$  is presented and, based on its application, the parameters of flotation ore dressing of the Zhipkhosha deposit are developed, which contributes to a significant increase in metal recovery. It is noted that the use of  $KC_{Sb}$  is more effective in comparison with other known reagents used for the enrichment of antimony oxides. The results of studies of this collector reagent, when it is introduced into the technological scheme of flotation of antimony oxide forms, are obtained, which indicate the feasibility and effectiveness of its use. This fact is confirmed by a technical and economic calculation, according to which the conditional profit is 30-31 million rubles per 1 million processed ore per year. The increase in the resulting products (concentrate) is about 700-800 tons, with a quality (antimony content) of 32-36 %, corresponding to the KSUF-3 brand.

This method is recommended for use in various antimony and antimony-containing deposits containing oxide minerals (from 10 % or more)

**Key words:** flotation enrichment; collecting reagent; antimony oxide; extraction; antimony; Zhipkhosha deposit; conditioned concentrate; kinetics; flotation scheme; development of the scheme

**Введение.** Сурьмяная промышленность в Российской Федерации переживает кризис, причиной которого является низкое качество концентратов сурьмы. Сложность получения кондиционных концентратов объясняется присутствием в сурьмосодержащих месторождениях оксидных форм металла, встречающихся в месторождениях в виде линз и плёнок, что осложняет извлечение таких минералов, которые при обогащении переходят в хвосты и обуславливают потери ценного компонента. В Забайкалье, где сконцентрировано большое количество сурьмяных руд, нет эффективных и рентабельных способов и методов извлечения окисленных минералов сурьмы. Поэтому разработка эффективных и дешёвых технологий переработки сурьмяных руд с целью уменьшения потерь ценного компонента, является актуальной научной задачей.

В АО «Иргиредмет» изучается вопрос о способе обогащения оксидных форм сурьмы из месторождений при использовании мало затратных способов обогащения и дешёвых (недорогих) реагентов [6; 10].

**Объект исследования** – отвальные (коночные) хвосты флотационного обогащения сульфидных минералов сурьмы (далее «исходное питание»), содержащие окисленные минералы сурьмы, полученные при переработке руд месторождения «Жипхосха» (Забайкальский край).

**Предмет исследования** – процесс флотации с использованием известных классических реагентов собирателей сурьмы и нового реагента-собирателя  $KC_{Sb}$ .

**Цель исследования** – разработка технологии извлечения окисленных форм сурьмы.

**Задачи исследования** – определение влияния крупности на показатели извлечения

оксидной формы сурьмы; выбор оптимального расхода собирателя; подбор оптимального соотношения компонентов реагента-собирателя; выбор оптимального pH; подбор оптимальной плотности питания; определение кинетики флотационного обогащения; разработка схемы оксидной флотации; проведение контрольных опытов в замкнутом цикле.

**Методология и методика исследований.** При проведении опытов использовано оборудование АО «Иргиредмет», установленное на участке полупромышленных испытаний (лабораторные мельницы, флотомашины и вспомогательное оборудование). Исследования выполнялись строго в соответствии с общепринятыми методиками рудоподготовки и флотации [2; 4; 14]. В ходе исследования использовался комплексный подход.

**Результаты исследований.** На рис. 1 приведена зависимость потерь сурьмы с хвостами флотационного обогащения от расхода реагента-собирателя. Полученные результаты показали эффективность  $KC_{Sb}$ , и в дальнейшем при его использовании разрабатывались режимные параметры флотационного обогащения оксидных минералов сурьмы [1; 2; 8; 9; 12].

Согласно общепринятым методикам, в первую очередь определялось влияние крупности на показатели извлечения оксидной формы сурьмы, затем велись следующие виды работ:

- выбор оптимального расхода собирателя;
- подбор оптимального соотношения компонентов реагента-собирателя;
- выбор оптимального pH;
- выбор оптимальной плотности питания;

- определение кинетики флотационного обогащения;
- разработка схемы оксидной флотации;
- проведение контрольных опытов в замкнутом цикле.

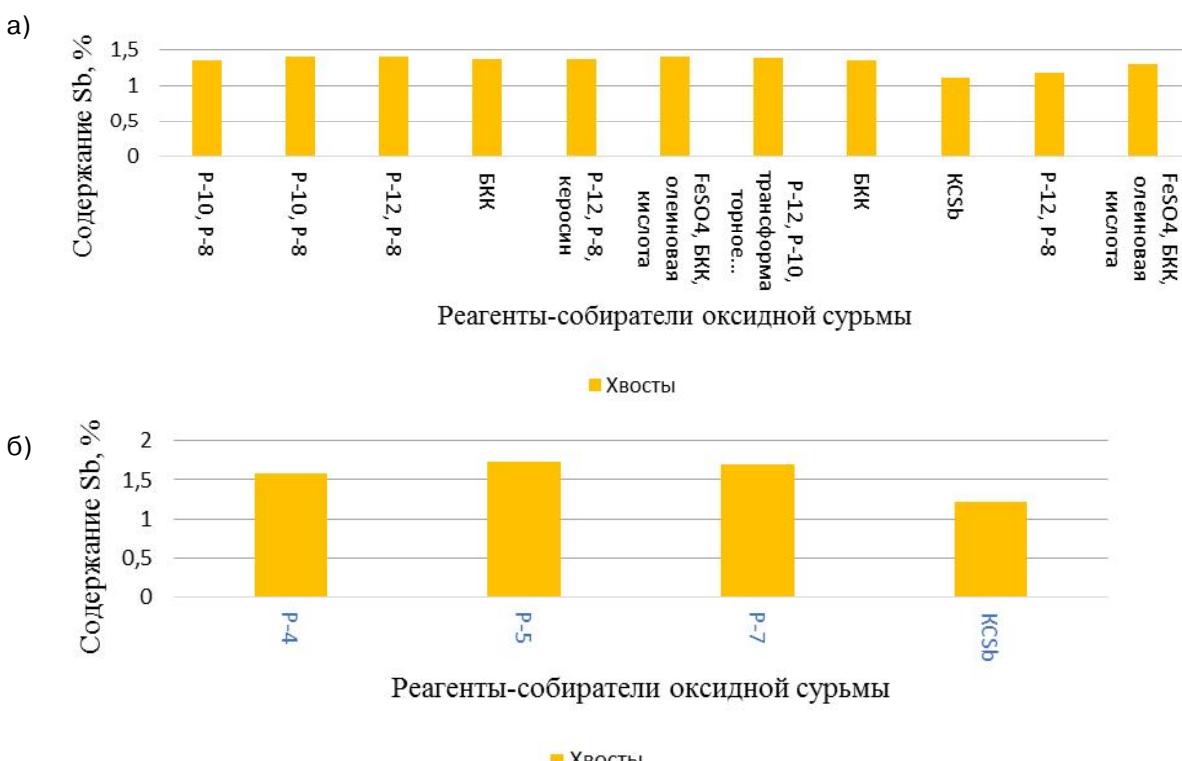
Зависимость извлечения оксидов сурьмы от крупности исходного питания показана на рис. 2.

По полученным данным (рис. 2), сделан вывод о том, что при понижении крупности исходного питания флотации оксидных форм сурьмы не происходит повышения извлече-

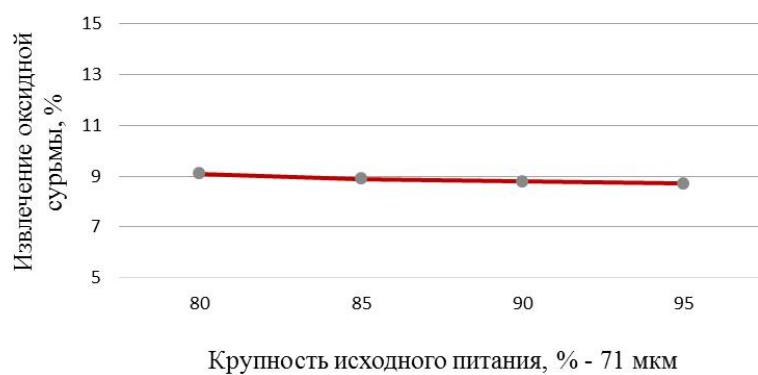
ния, поэтому за оптимальную принята крупность 75...80 % минус 71 мкм.

Определение оптимального расхода реагента-собирателя представлено в виде зависимости, изображённой на рис. 3.

По кривой зависимости извлечения оксидной сурьмы от расхода-собирателя (см. рис. 3) видно, что расход 600 г/т является оптимальным и дальнейшее повышение его не приводит к улучшению показателя извлечения.



*Рис. 1. Зависимость потерь Sb с хвостами флотации от применения известных реагентов-собирателей оксидной сурьмы и исследуемого KCSb / Fig. 1. Dependence of Sb losses with flotation tails on the use of known reagents-collectors of antimony oxide and the studied KCSb*



*Рис. 2. Зависимость извлечения оксидной сурьмы от крупности питания оксидной флотации / Fig. 2. Dependence of antimony oxide extraction on the size of the oxide flotation feed*

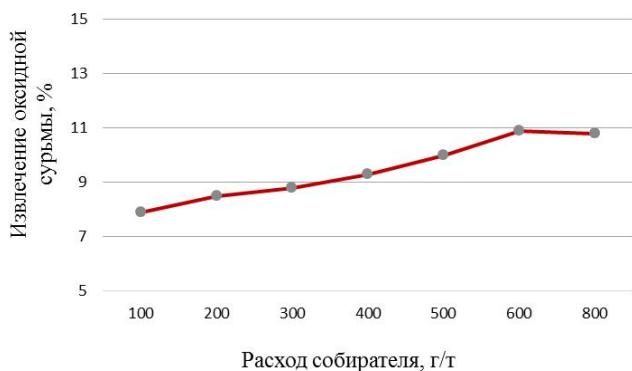


Рис. 3. Зависимость извлечения оксидной сурьмы от расхода реагента-собирателя KCSb /  
Fig. 3. Dependence of antimony oxide extraction on the consumption of the collecting reagent KCSb

На рис. 4 изображено оптимальное соотношение реагента-собирателя как 1 часть «Даллес» : 1 часть «БТ-1С» : 0,2 части «Аспарал «Ф».

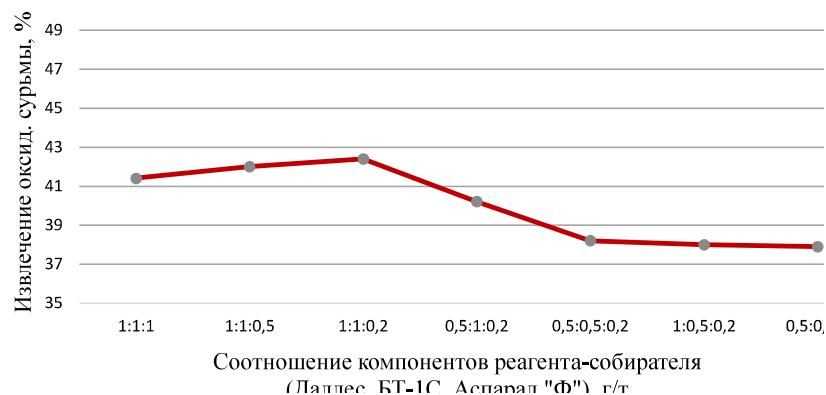


Рис. 4. Зависимость извлечения оксидной сурьмы от состава реагента-собирателя KCSb /  
Fig. 4. Dependence of antimony oxide extraction on the composition of the CSSb collector reagent

На рис. 5 приведена зависимость показателя потерь оксидной сурьмы с хвостами от pH среды.

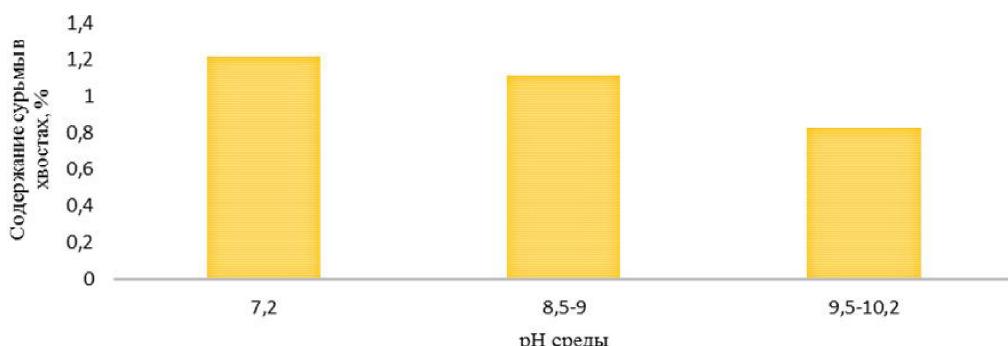


Рис. 5. Зависимость потерь металла с хвостами флотации от pH среды с использованием выбранного реагента-собирателя KCSb / Fig. 5. Dependence of metal losses with flotation tails on the pH of the medium using the selected collector reagent KC

Оптимальный показатель pH при флотационном обогащении оксидной сурьмы с учётом данных рис. 6 составляет  $\geq 9,5$ .

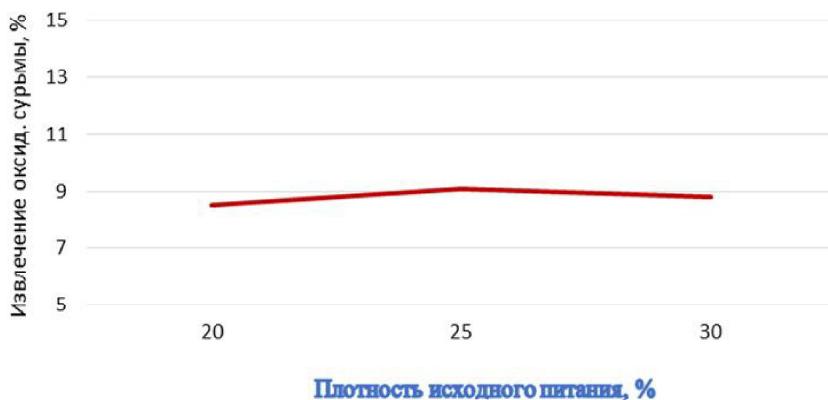


Рис. 6. Зависимость извлечения оксидной сурьмы от плотности питания оксидной флотации /  
Fig. 6. Dependence of antimony oxide extraction on the feed density of the oxide flotation

На рис. 7 показана зависимость извлечения оксидной сурьмы от времени флотации (кинетика) как свидетельствует кривая. Оптимальная плотность питания оксидной флотации составляет 25 %.

После определения основных режимных параметров флотационного обогащения оксидных форм сурьмы определяется продолжительность флотации.



Рис. 7. Кинетика флотационного обогащения оксидной сурьмы с использованием реагента-собирателя  $KC_{Sb}$  / Fig. 7. Kinetics of flotation enrichment of antimony oxide using the KSSb collector reagent

Из результатов экспериментальных исследований определена оптимальная продолжительность флотации – 20 мин (10 мин – основная оксидная флотация, 10 мин – контрольная оксидная флотация); качество концентратов перечистки определялось визуально и составило 3 мин.

На основании полученных данных разработана технологическая схема флотации

оксидных форм сурьмы (рис. 8) и определены режимные параметры ведения процесса (табл. 1). Проведены контрольные опыты в замкнутом цикле на навеске 10 кг в лабораторном масштабе, результаты которых заверены на 2...3 т на полупромышленной установке производительностью 100 кг/ч.



Рис. 8. Схема флотации оксидных форм сурьмы / Figure 8. Scheme of flotation of antimony oxide forms

Таблица 1 / Table 1

Режимные параметры флотации оксидных форм сурьмы /  
Regime parameters of flotation of antimony oxide forms

Параметры / Parameters	Показатель / Indicator
Крупность питания, мм / Feed size, mm	75...80 % минус 71 мкм / 75...80 % minus 71 micron
Расход собирателя KC <sub>Sb</sub> 10 %, г/т / KC <sub>Sb</sub> collector consumption 10 %, g / t Основная флотация/ Main flotation Контрольная флотация / Control flotation	480 120
Расход вспенивателя T-92, г/т / Foaming agent consumption T-92, g / t	60 г/т/60 g/t
pH пульпы/ Pulp pH	≥ 9,5
Плотность питания, % / Power density, %	25
Время, мин / Time, min Основной оксидной флотации/ Basic oxide flotation Контрольной оксидной флотации / Control oxide flotation Перечистка / Perechistka	10 10 3

Результаты испытаний замкнутого цикла (табл. 2) показали, что введение в схему операции флотации оксидных форм сурьмы, с использованием реагента-собирателя сурьмы KC<sub>Sb</sub>, позволило снизить потери сурьмы в хвостах до 1,07 % (против 1,82 %), что в свою очередь привело к повышению общего

извлечения на 9,1 %. В экономическом выражении условная прибыль при использовании операции флотации оксидных форм сурьмы с учётом всех затрат составит ориентировочно на 30 млн р. больше, чем без использования этой операции.

Таблица 2 / Table 2

Показатели извлечения сурьмы / Antimony recovery indicators

Наименование продукта / Product Name	Выход, % / Yield, %	Содержание, % / Content, %		Извлечение, % / Extraction, %
		Sb		
Концентрат существующей технологии / Concentrate of existing technology	15,04	47,53		79,60
Хвосты существующей технологии / Tails of existing technology	84,96	1,82		20,40
Концентрат флотации оксидных форм сурьмы / Antimony Oxide Flotation Concentrate	4,59	15,10		9,10
Хвосты технологии общие / Technology tails general	80,37	1,07		11,30
Исходная руда / Source ore	100,00	7,61		100,00

Прирост получаемой продукции (концентраты) составляет 700...800 т, содержание сурьмы 32...36 %, соответствует марке концентрата КСУФ-3.

**Заключение.** Впервые экспериментально установлены режимные параметры флотационного обогащения оксидной сурьмы с использованием нового реагента-собирателя KCS<sub>sb</sub>. Разработана схема флотации, позволяющая извлечь оксидные минералы, которые ранее попадали в хвосты и обусловливали потери сурьмы. Готовый концентрат оксидной флотации соответствует марке КСУФ-3. Выпуск концентрата сурьмы увеличится на 700...800 т.

Разработанная технология извлечения окисленных форм сурьмы с применением комплексного реагента-собирателя KCS<sub>sb</sub> рекомендуется к использованию при переработке смешанных и окисленных сурьмяных руд других месторождений.

Подтверждён экономический эффект при внедрении технологии, разработанной автором с применением нового реагента-собирателя KCS<sub>sb</sub> в операции флотации оксидных форм сурьмы. Условная прибыль составляет 30...31 млн р. на 1 млн т перерабатываемой руды в год [7]. Исследования, направленные на повышение показателей обогащения и удешевления процесса переработки сурьмяных руд, продолжаются.

### Список литературы

1. Абрамов А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. М.: Горная книга, 2019. Т. 2. С. 298.
2. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. М.: Горная книга, 2016. С. 600.
3. Авдохин В. М. Основы обогащения полезных ископаемых: в 2 т. М.: Горная книга, 2017. Т. 1. 416 с. Т. 2. 310 с.
4. Вознесенский А. С., Колодина И., Шкуратник В. Л. Методы и средства изучения быстропротекающих процессов. М.: Горная книга, 2017. С. 306.
5. Дьячкова А., Ильина В.А., Романов С. Экономические и инфраструктурные проблемы горнопромышленного комплекса России. М.: Горная книга, 2017. С. 36.
6. Львов В. В., Ромашев А. О. Проектирование обогатительных фабрик. СПб.: ЛЕМА, 2019. С. 34.
7. Малахов Р. Г. Экономическая теория. М.: Рид Групп, 2016. С. 448.
8. Матвеева Т. Н., Громова Н. К., Ланцова Л. Б. Исследование влияния танинина на адсорбцию комбинированного собирателя и флотацию стибнита и арсенопирита из комплексных руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 6. С. 155–162.
9. Никольская Н. И., Федотов К. В. Проектирование обогатительных фабрик. М.: Горная книга, 2017. С. 531.
10. Порцевский А. К. Выбор рациональной технологии добычи руд. Геомеханическая оценка состояния недр. Использование подземного пространства. Геоэкология. М.: Изд-во Моск. гос. горного университета, 2017. С. 768.
11. Соложенкин П. М. Проблемы обогащения и переработки золотосурьмяных руд Российской Федерации // Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в XXI веке. Плаксинские чтения 2019: материалы междунар. совещания. Иркутск: Репроцентр А1, 2019. С. 172–175.
12. Трусова В. В., Бурдунов А. Е. Технологии обогащения полезных ископаемых. ИРНИТУ. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2019. 164 с.
13. Цинью Мэн. Обзор по переработке полезных ископаемых и добывающей металлургии // Металлургия. 2017. Т. 38, № 5. С. 25–29.
14. Черников Ю. Системный анализ и исследование операций. М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2017. С. 365.

### References

1. Abramov A. A. *Pererabotka, obogashcheniye i kompleksnoye ispolzovaniye tverdyh poleznyh iskopayemyh* (Processing, enrichment and complex use of solid minerals). Moscow: Gornaya kniga, 2019, vol. 2, p. 298.
2. Abramov A. A. *Flotatsionnye metody obogashcheniya* (Flotation methods of enrichment). Moscow: Gornaya kniga, 2016, p. 600.
3. Avdokhin V. M. *Osnovy obogashcheniya poleznyh iskopayemyh: v 2 t.* (Fundamentals of mineral processing: in 2 volumes. Moscow: Gornaya kniga, 2017, t. 1, 416 p., t. 2. 310 p.

4. Voznesensky A. S., Kolodina I., Shkuratnik V. L. *Metody i sredstva izucheniya bystroprotekayushchih protsessov* (Methods and means of studying fast-flowing processes). Moscow: Gornaya kniga, 2017, p.. 306.
5. Dyachkova A., Ilina V.A., Romanov S. *Ekonomicheskiye i infrastrukturnye problemy gornopromyshlennogo kompleksa Rossii* (Economic and infrastructural problems of the mining complex of Russia). Moscow: Gornaya kniga, 2017, p. 36.
- Livov V. V., Romashev A. O. *Proyektirovaniye obogatitelnyh fabric* (Design of concentrating factories). SPb.: LEMA, 2019, p. 34.
- Malakhov R. G. *Ekonomicheskaya teoriya* (Economic theory). Moscow: Reed Group, 2016, p. 448.
- Matveyeva T. N., Gromova N. K., Lantsova L. B. *Fiziko-tehnicheskiye problemy razrabotki poleznyh iskopayemyh* (Physical and technical problems of the development of useful minerals), 2017, no. 6, p. 155–162.
- Nikolskaya N. I., Fedotov K. V. *Proyektirovaniye obogatitelnyh fabric* (Design of concentrating factories). Moscow: Gornaya kniga, 2017, p. 531.
- Portsevsky A. K. *Vybor ratsionalnoy tekhnologii dobuchi rud. Geomekhanicheskaya otsenka sostoyaniya nedr. Ispolzovaniye podzemnogo prostranstva. Geoekologiya* (Choice of rational technology of ore extraction. Geomechanical assessment of the state of the subsoil. Use of underground space. Geoecology). Moscow: Publishing house Mosk. state Mining University, 2017, p. 768.
- Solozhenkin P. M. *Problemy i perspektivy effektivnoy pererabotki mineralnogo syriya v XXI veke. Plaksinskiye chteniya 2019: materialy mezhdunar. soveshchaniya* (Problems and prospects of effective processing of mineral raw materials in the XXI century. Plaksin readings 2019: materials of the international. meetings). Irkutsk: Reprocenter A1, 2019, pp. 172–175.
- Trusova V. V., Burdunov A. Ye. *Tekhnologii obogashcheniya poleznyh iskopayemyh. IRNITU* (Technologies of mineral processing. IRNITU). Irkutsk: Publishing house IRNITU, 2019, 164 p.
- Tsinyu Men. *Metallurgiya* (Metallurgy). 2017, vol. 38, no. 5, p. 25–29.
- Chernikov YU. *Sistemny analiz i issledovaniye operatsiy* (System analysis and operations research). Moscow: Publishing house Moscow State Mining University, 2017, p. 365.

---

### Информация об авторе

---

Михеев Григорий Владимирович, старший научный сотрудник, АО «Иргиредмет», г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: исследования, обогащение, разработка технологий  
miheev@irgiredmet.ru

Богидаев Сергей Александрович, д-р техн. наук, профессор, научный сотрудник, АО «Иргиредмет», г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: исследования, обогащение, педагогика  
fluorit2001@mail.ru

---

### Information about the author

---

Grigory Mikheev, senior researcher, JSC "Irgiredmet", Irkutsk, Russia. Scientific interests: researches, enrichment, technology development

Sergey Bogidaev, doctor of technical sciences, professor, researcher, JSC "Irgiredmet", Irkutsk, Russia. Scientific interests: researches, enrichment, pedagogy

---

### Для цитирования

---

Михеев Г. В., Богидаев С. А. Линия обогащения оксидных форм сурьмы на примере месторождения «Жипхосха» // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 5. С. 36–43. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-5-36-43.

Mikheev G., Bogidaev S. Antimony oxide form enrichment line on the example of the «Zhipkhosha» field // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 5, pp. 36–43. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-5-36-43.

Статья поступила в редакцию: 15.06.2021 г.  
Статья принята к публикации: 21.06.2021 г.