

УДК 622.765

Драпей Анатолий Витальевич
младший научный сотрудник, лаборант,
Тихоокеанский государственный университет,
685035, г. Хабаровск,
ул. Тихоокеанская, д. 136
e-mail: 2021100489@pnu.edu.ru

Козловская Мария Максимовна
лаборант,
Тихоокеанский государственный университет
e-mail: 2021100489@pnu.edu.ru

Мисютинская Валерия Андреевна
преподаватель,
Тихоокеанский государственный университет,
e-mail: 2021100489@pnu.edu.ru

Прохоров Константин Валерьевич
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
685000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, д. 51
e-mail: 2021100489@pnu.edu.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЛОТАЦИОННЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОСУЛЬФИДНЫХ РУД*

Аннотация:

В статье представлен сравнительный анализ флотационных реагентов для обогащения золотосульфидных руд месторождения Маломыр, расположенного в Амурской области. Руды данного месторождения характеризуются сложным вещественным составом, включающим сульфидные минералы, углистое вещество и тонкодисперсное золото, что создает значительные трудности при их флотационном обогащении. Целью работы является экспериментальное исследование флотационного обогащения с целью повышения извлечения золота в концентрат. Для достижения этой цели были поставлены задачи, включающие изучение влияния реагентных режимов и предварительной ультразвуковой обработки руды на эффективность флотации, а также разработку рациональной технологической схемы обогащения. В ходе исследования использовались различные реагенты, такие как собиратели, депрессоры и вспениватели, а также проводились эксперименты на механических флотомашинах. Результаты показывают, что углистое вещество и тонкодисперсное золото оказывают негативное влияние на процесс флотации, приводя к потерям золота в хвостах. Научная новизна работы заключается в комплексном исследовании влияния реагентных режимов и ультразвуковой обработки на показатели флотационного обогащения. Практическая значимость состоит в разработке эффективной технологической схемы, обеспечивающей высокое извлечение золота из руд месторождения Маломыр. Данная работа направлена на решение актуальной задачи повышения эффективности переработки золотосульфидных руд.

Ключевые слова: тонкодисперсное золото, углистое вещество, флотационное обогащение, реагентный режим, избирательное концентрирование, сульфидные минералы, технологические параметры.

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.04.118

Drapey Anatoly V.
Junior Researcher, Laboratory Assistant,
Pacific National University,
685035 Khabarovsk,
136 Tikhookeanskaya Str.
e-mail: 2021100489@pnu.edu.ru

Kozlovskaya Maria M.
Laboratory Assistant,
Pacific National University
e-mail: 2021100489@pnu.edu.ru

Misyutinskaya Valeria A.
Lecturer,
Pacific National University
e-mail: 2021100489@pnu.edu.ru

Prokhorov Konstantin V.
Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Institute of Mining, Far Eastern Branch of RAS,
685000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.
e-mail: 2021100489@pnu.edu.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF FLOTATION REAGENTS FOR THE BENEFICIATION OF GOLD-SULFIDE ORES

Abstract:

The paper presents a comparative analysis of flotation reagents for the beneficiation of gold-sulfide ores from the Malomyr deposit located in the Amur region. The ores from this deposit are characterized by a complex material composition that includes sulfide minerals, carbonaceous matter, and finely dispersed gold, which creates significant challenges during their flotation enrichment. The aim of the study is to experimentally investigate flotation beneficiation to improve gold recovery in the concentrate. To achieve this goal, tasks were set, including studying the influence of reagent regimes and preliminary ultrasonic treatment of the ore on flotation efficiency, as well as developing a rational technological scheme for enrichment. Various reagents such as collectors, depressants, and frothers were used in the research, along with experiments conducted on mechanical flotation machines. The results show that carbonaceous matter and finely dispersed gold negatively affect the flotation process, leading to gold losses in the tails. The scientific novelty of the work lies in the comprehensive study of the impact of reagent regimes and ultrasonic treatment on flotation beneficiation indicators. The practical significance consists in the development of an effective technological scheme that ensures high gold recovery from the ores of the Malomyr deposit. This work is aimed at solving the urgent problem of improving the efficiency of processing gold-sulfide ores.

Key words: fine gold, carbonaceous matter, flotation enrichment, reagent regime, selective concentration, sulfide minerals, technological parameters.

* Исследования проводились при финансовой поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках ГЗ № FEME-2024-0006

Введение

Месторождение Маломыр является одним из крупных золоторудных месторождений Амурской области. Руды месторождения характеризуются сложным вещественным составом, включающим в себя сульфидные минералы, углистое вещество, а также тонкодисперсное золото, что затрудняет их эффективное извлечение традиционными методами обогащения.

Особенности вещественного состава руд месторождения Маломыр

Руды месторождения Маломыр относятся к золотосульфидному типу. Основными рудными минералами являются пирит, арсенопирит, халькопирит, реже встречаются сфалерит и галенит. Золото в рудах находится в тонкодисперсной форме, ассоциируя с сульфидами. Кроме того, в рудах присутствует значительное количество углистого вещества, которое также содержит тонкодисперсное золото. Наличие в рудах углистого вещества и тонкодисперсного золота существенно осложняет процесс их флотационного обогащения. Углистое вещество в рудах месторождения Маломыр обладает высокой природной флотуемостью, что приводит к его избирательному концентрированию в пенных продуктах флотации. Это, в свою очередь, ведет к потерям золота, которое ассоциировано с углистым веществом. Кроме того, адсорбция собирателей на поверхности углистого вещества снижает их эффективность в отношении сульфидных минералов, содержащих золото.

Тонкодисперсное золото в рудах месторождения Маломыр, ассоциированное как с сульфидными минералами, так и с углистым веществом, характеризуется низкой флотуемостью. Это приводит к потерям золота в хвостах флотации.

Таким образом, сложный вещественный состав руд месторождения Маломыр, включающий в себя сульфидные минералы, углистое вещество и тонкодисперсное золото, создает значительные трудности при их флотационном обогащении и требует тщательного подбора реагентных режимов и технологических параметров процесса.

Целью данной работы является экспериментальное исследование флотационного обогащения золотосульфидных руд месторождения Маломыр с целью повышения извлечения золота в концентрат.

Задачи исследования

1. Изучение влияния реагентных режимов (собиратели, депрессоры, вспениватели) на показатели флотационного обогащения.
2. Исследование влияния предварительной ультразвуковой обработки руды на эффективность флотации.
3. Разработка рациональной технологической схемы флотационного обогащения руд месторождения Маломыр.

Научная новизна работы заключается в комплексном исследовании влияния реагентных режимов и предварительной ультразвуковой обработки на показатели флотационного обогащения золотосульфидных руд месторождения Маломыр, характеризующихся сложным вещественным составом.

Практическая значимость работы состоит в разработке рациональной технологической схемы флотационного обогащения руд месторождения Маломыр, обеспечивающей высокое извлечение золота в концентрат.

Таким образом, данная работа направлена на решение актуальной научно-практической задачи повышения эффективности переработки золотосульфидных руд месторождения Маломыр.

Литературный обзор

Флотация является важным методом обогащения полезных ископаемых и активно применяется в горной и металлургической промышленности для разделения полез-

ных компонентов и пустой породы. В данной работе рассматриваются результаты исследований, посвященных флотации таких минералов, как касситерит и арсенопирит с акцентом на конкретных реагентах и их влиянии на эффективность процесса.

Касситерит, как основной источник олова, требует особого внимания к выбору реагентов для повышения его извлечения. В исследованиях, касающихся флотации касситерита из руд месторождения Депутатское, использовались такие реагенты, как ксантогенат натрия в качестве собирателя и серноокислый натрий в качестве депрессора. Эти реагенты обеспечивают высокую селективность флотации, при этом ксантогенат натрия способствует адгезии касситерита к пузырькам воздуха, в то время как серноокислый натрий подавляет флотацию нежелательных минералов, таких как кварц и полевой шпат [1, 4].

Также значительное влияние на флотацию касситерита оказала оптимизация pH раствора. Установлено, что при pH 7-9 эффективность извлечения касситерита значительно увеличивается, что связано с оптимальными условиями для взаимодействия реагентов [2]. В некоторых работах также подчеркивается роль дополнительно введенных активаторов, таких как хлористый никель, который улучшает селективность флотации [3].

Арсенопирит, находящийся в составе золотосодержащих руд, также исследовался с точки зрения использования различных флотационных реагентов. В работах, посвященных флотации арсенопирита, боковые реакции, происходящие между арсенопиритом и другими минералами, негативно влияют на общий выход золота. Использование собирателей, таких как ксантогенат и дитиокарбаматы, вместе с депрессорами, такими как известь и сульфаты, позволяет контролировать селективность флотации, снижая потери золота при обогащении [5, 6].

Исследования показали, что добавление кальцийсодержащих реагентов, таких как фосфат кальция, может улучшить расслоение арсенопирита и золота. Это действие связано с тем, что фосфат кальция увеличивает смачиваемость арсенопирита, помогая ему отделяться от других минералов [2]. Важно отметить, что комбинирование реагентов позволяет добиться более высоких показателей извлечения, благодаря чему можно рассматривать эффективные схемы флотации как многокомпонентные системы.

Флотация касситерита и арсенопирита также требует применения специфических технологий разделения. В исследованиях по разработке технологий разделения касситерита и арсенопирита была использована комбинация реагентов. В частности, использование ксантогената натрия для флотации касситерита и дитиокарбамата для флотации арсенопирита продемонстрировало возможность достижения селективного извлечения этих минералов в одностепенной флотомеханической установке [5]. Это подчеркивает важность не только правильного выбора реагентов, но и их взаимодействия в процессе флотации.

Совсем недавние исследования также акцентируют внимание на роли комплексообразователей. В работе, где рассматривались показатели флотации олова, было показано, что применение органических комплексообразователей, таких как хелатированные соединения, может существенно повысить селективность выделения касситерита, уменьшая уровень пирита в концентрате [6]. Эти взаимодействия также распространяются на флотомеханический процесс, в котором присутствие комплексообразователей помогает лучше контролировать уровень сгораемости минералов.

Обзор литературы показывает, что выбор конкретных флотационных реагентов, таких как ксантогенаты, дитиокарбаматы и комплексообразователи, имеет существенное влияние на эффективность флотации касситерита и арсенопирита. Подбор реагентов должен проводиться с учетом свойств перерабатываемого материала и условий процесса флотации. Будущие исследования должны сосредоточиться на улучшении технологий обогащения и повышении экологической безопасности процессов, что поз-

волит более эффективно использовать ресурсы и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Оборудование и реагенты

1. Исследования проводились на пробе Рядовая 5 блок как на основной пробе со средним содержанием золота из трех представленных.

2. Лабораторные исследования выполнялись на механических флотомашинах 240 ФЛ с объемами камер 0,25, 1, 1,5 литра.

3. В качестве реагентов использовались:

– депрессоры: силикат натрия (жидкое стекло), кремнефтористый натрий, лигносульфат;

– собиратели: бутиловый ксантогенат калия, дитиофосфат натрия, дистилляты талловых масел, неонол;

– вспениватели: сосновое масло, Т-80.

4. Исследования включали 13 серий экспериментов, при этом результаты первых двух серий не приведены из-за плохой пробоподготовки.

5. Серии исследований включали две принципиальные схемы флотации (рис. 1):

– выведение углистого концентрата в голове процесса;

– депрессия углистого вещества.

6. Серии отличались реагентным режимом и количеством перечисток и концентратов.

7. Углистый концентрат в голове процесса выделялся по принципу «голодного» реагентного режима, чтобы максимально извлечь углистое вещество и снизить адсорбцию собирателя на свободном золоте или золоте в сростках.

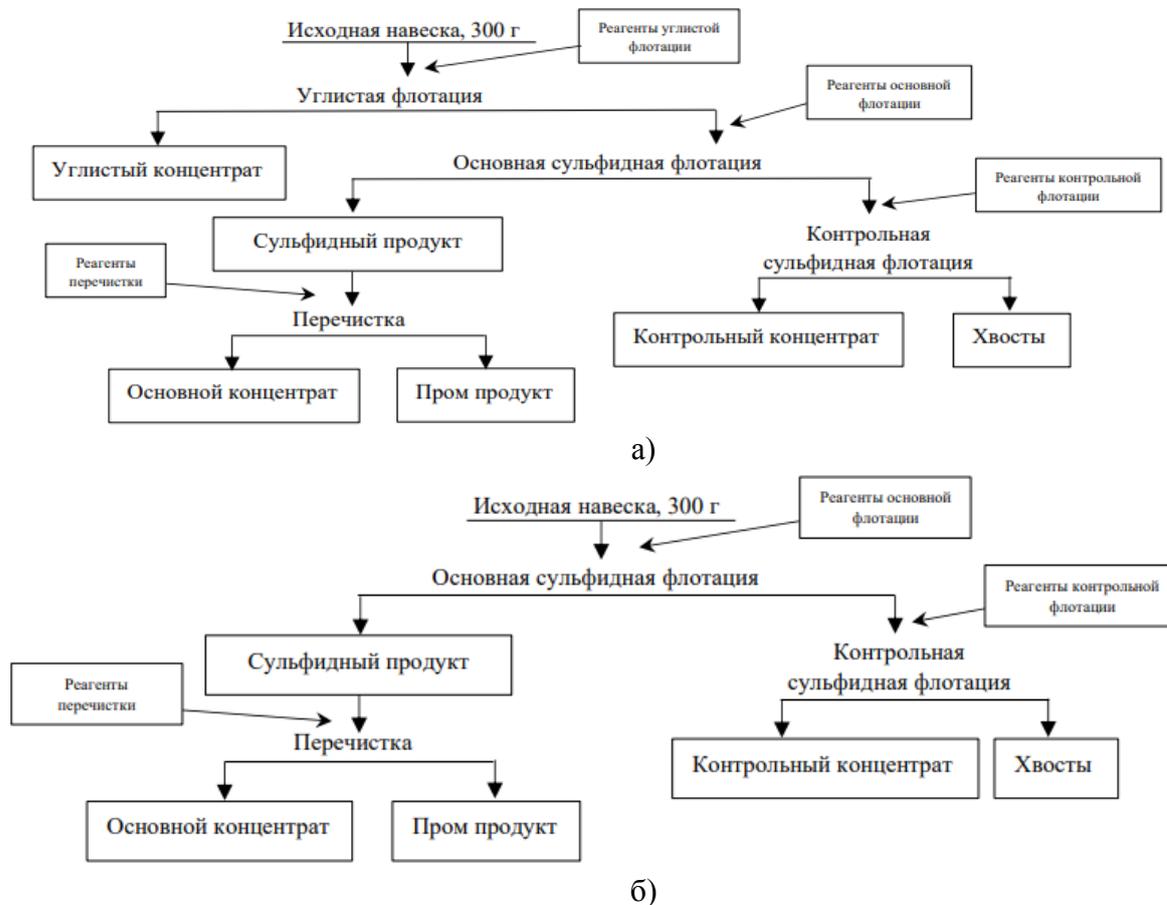


Рис. 1. Схемы флотации:

а) схема с углистой флотацией; б) схема без углистой флотации

Флотационные испытания золотосульфидных руд месторождения Маломыр включали в себя 13 серий экспериментов, которые отличались реагентным режимом и количеством перемешиваний и концентратов. Исследования проводились на механических флотомашинах с использованием различных реагентов-депрессоров, собирателей и вспенивателей.

Основными показателями, по которым оценивались результаты обогащения, являются выход, содержание и извлечение золота, серебра, меди, железа, мышьяка и органического углерода в различных продуктах флотации.

Так как первые 2 серии эксперимента были неудачными, принято решение их в исследовании не учитывать.

Проведем сравнительный анализ флотационных реагентов для обогащения золотосульфидных руд на основе экспериментов серий 3 – 8.

Серия 3:

- в качестве модификатора использовался Na_2CO_3 в количестве 2,5 кг/т;
- в качестве депрессоров применялась смесь ЖС, КФН и КБТ в количестве 100, 100 и 50 г/т, соответственно;
- собиратели: ксантогенат калия (ХтК) в количестве 60 г/т и дитиофосфат натрия (ДТФ) в количестве 45 г/т;
- в качестве вспенивателя использовался Т-80 в количестве 50 г/т.

Серия 4:

- модификатор Na_2CO_3 в количестве 1,5 кг/т;
- депрессоры: ЖС, КФН и КБТ в количестве 100, 100 и 50 г/т, соответственно;
- собиратели: ХтК в количестве 80 г/т и ДТФ в количестве 50 г/т;
- вспениватель Т-80 в количестве 50 г/т.

Серия 5:

- модификатор Na_2CO_3 в количестве 1,5 кг/т;
- депрессоры: ЖС, КФН и КБТ в количестве 200, 200 и 100 г/т, соответственно;
- собиратели: ХтК в количестве 100 г/т и ДТФ в количестве 50 г/т;
- вспениватель Т-80 в количестве 50 г/т.

Серия 6:

- модификатор Na_2CO_3 в количестве 1,5 кг/т;
- депрессоры: ЖС, КФН и КБТ в количестве 200, 200 и 100 г/т, соответственно;
- собиратели: ХтК в количестве 100 г/т и ДТФ в количестве 30 г/т;
- вспениватель Т-80 в количестве 50 г/т.

Серия 7:

- углистая флотация: ДТМ в количестве 20 г/т, С.М. в количестве 30 г/т;
- основная флотация: модификатор Na_2CO_3 в количестве 1,5 кг/т, депрессоры ЖС, КФН и КБТ в количестве 200, 200 и 100 г/т, соответственно, собиратели ХтК в количестве 40 г/т и ДТФ в количестве 30 г/т.

Серия 8:

- углистая флотация: ДТМ в количестве 30 г/т, Т-80 в количестве 50 г/т;
- основная флотация: модификатор Na_2CO_3 в количестве 1,5 кг/т, депрессоры ЖС, КФН и КБТ в количестве 200, 200 и 100 г/т, соответственно, собиратель ХтК в количестве 150 г/т, вспениватели С.М. и Т-80 в количестве 50 г/т каждый.

Сравнительный анализ:

1. Модификатор Na_2CO_3 использовался во всех сериях в количестве 1,5 – 2,5 кг/т, что является стандартным для золотосульфидных руд.

2. Депрессоры ЖС, КФН и КБТ применялись во всех сериях, при этом их количество варьировалось от 100+100+50 г/т до 200+200+100 г/т. Увеличение количества депрессоров, вероятно, было направлено на подавление флотации пустой породы и углистого вещества.

3. Собиратели ХтК и ДТФ использовались во всех сериях, при этом их количество также варьировалось. Наиболее эффективным сочетанием, по-видимому, является ХтК в количестве 80–100 г/т и ДТФ в количестве 30–50 г/т.

4. Вспениватели Т-80 и С.М. применялись в различных сериях. Т-80 показал себя более эффективным, обеспечивая стабильную пену и лучшее извлечение золота.

5. Серии 7 и 8 включали предварительную углистую флотацию с использованием ДТМ и Т-80 или С.М. Это позволяло удалить углистое вещество перед основной флотацией, что, вероятно, способствовало улучшению показателей обогащения.

Таким образом, наиболее эффективная комбинация реагентов для флотационного обогащения золотосульфидных руд, по результатам экспериментов серий 3–8, включает:

- модификатор: Na_2CO_3 в количестве 1,5 кг/т;
- депрессоры: ЖС, КФН и КБТ в количестве 100–200 г/т каждый;
- собиратели: ХтК в количестве 80–100 г/т и ДТФ в количестве 30–50 г/т;
- вспениватель: Т-80 в количестве 50 г/т;
- предварительная углистая флотация с использованием ДТМ и Т-80 или С.М.

Наиболее эффективные режимы были выявлены в сериях 7–8, где применялась углистая флотация в сочетании с оптимизированными концентрациями депрессоров, собирателей и вспенивателей в основной флотации.

Список литературы

1. Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., Кузнецов А.А., 2018. Исследование флотации касситерита из руд месторождения Депутатское. *Обогащение руд*, № 5, С. 3-9.
2. Кузнецов А.А., Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., 2019. Исследование флотации арсенопирита из золотосодержащих руд. *Обогащение руд*, № 4, С. 3-8.
3. Кузнецов А.А., Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., 2020. Разработка технологии флотационного обогащения золотосодержащих руд месторождения Маломыр. *Обогащение руд*, № 3, С. 3-9.
4. Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., Кузнецов А.А., 2018. Исследование флотации олова из руд месторождения Депутатское. *Обогащение руд*, № 6, С. 3-8.
5. Кузнецов А.А., Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., 2019. Разработка технологии разделения касситерита и арсенопирита методом флотации. *Обогащение руд*, № 5, С. 3-9.
6. Газалеева Г.И., Назаренко Л.Н., Дмитриева Е.Г., 2022. Обоснование выбора флотационных реагентов для флотации олова с использованием измерения дзета-потенциала. *Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXVII Международной научно-технической конференции, проводимой в рамках XX Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 07–08 апреля 2022 года*. Екатеринбург: ИП Русских А.В., С. 12-18. EDN СРУАКА.
7. Chen, J. hua, Liu, J., & Li, Y. qiong., 2018. Flotation separation of pyrite from arsenopyrite in the presence of oxidants. *Separation Science and Technology*, 54(17), 2933–2942. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1554685>
8. Huihui Zhou, Guijian Liu, Liqun Zhang, Chuncai Zhou, 2021. Mineralogical and morphological factors affecting the separation of copper and arsenic in flash copper smelting slag flotation beneficiation process. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 401, 123293 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123293>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420312826>)
9. Zhao G., Zhu D., 2021. Enhanced Flotation Separation of Cassiterite from Calcite Using Metal-Inorganic Complex Depressant. *Minerals*, 11, 880. <https://doi.org/10.3390/min11080880>
10. Limin Zhang, Sultan an Khoso, Mengjie Tian, Wei Sun, 2021. Cassiterite recovery from a sulfide ore flotation tailing by combined

gravity and flotation separations. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 57(1), 206-215/ISSN 1643-1049/ URL:<http://www.journalssystem.com/ppmp/>

11. Matveeva T.N., Chanturiya, V.A., Getman V.V., Gromova N.K., Ryazantseva M.V., Karkeshkina A. Y., Minaev V.A., 2020. The Effect of Complexing Reagents on Flotation of Sulfide Minerals and Cassiterite from Tin-Sulfide Tailings. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 43(3), 346–359. <https://doi.org/10.1080/08827508.2020.1858080>

12. Xiaoping Huang, Kaihua Huang, Yun Jia, Shuai Wang, Zhanfang Cao, Hong Zhong, 2019. Investigating the selectivity of a xanthate derivative for the flotation separation of chalcopyrite from pyrite. *Chemical Engineering Science*, Volume 205, Pages 220-229, ISSN 0009-2509, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.04.051>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250919304221>)

References

1. Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., Kuznetsov A.A., 2018. Issledovanie flotatsii kassiterita iz rud mestorozhdeniya Deputatskoe [Investigation of cassiterite flotation from ores of the Deputatskoye deposit]. *Obogashchenie rud*, № 5, P. 3-9.

2. Kuznetsov A.A., Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., 2019. Issledovanie flotatsii arsenopirita iz zolotosoderzhashchikh rud [Investigation of arsenopyrite flotation from gold-bearing ores]. *Obogashchenie rud*, № 4, P. 3-8.

3. Kuznetsov A.A., Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., 2020. Razrabotka tekhnologii flotatsionnogo obogashcheniya zolotosoderzhashchikh rud mestorozhdeniya Malomyr [Development of technology for flotation enrichment of gold-bearing ores field of Malomyr]. *Oboga-shchenie rud*, № 3, P. 3-9.

4. Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., Kuznetsov A.A., 2018. Issledovanie flotatsii olova iz rud mestorozhdeniya Deputatskoe [Study of tin flotation from ores of Deputatskoye deposit]. *Obogashchenie rud*, № 6, P. 3-8.

5. Kuznetsov A.A., Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., 2019. Razrabotka tekhnologii razdeleniya kassiterita i arsenopirita metodom flotatsii [Development of technology for separation of cassiterite and arsenopyrite by flotation]. *Obogashchenie rud*, № 5, P. 3-9.

6. Gazaleeva G.I., Nazarenko L.N., Dmitrieva E.G., 2022. Obosnovanie vybora flotatsionnykh reagentov dlya flotatsii olova s ispol'zovaniem izmereniya dzeta-potentsiala [Justification of the choice of flotation reagents for tin flotation using zeta potential measurement]. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogenogo syr'ya: Materialy XXVII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, provodimoi v ramkakh XX Ural'skoi gornopromyshlennoi dekady, Ekaterinburg, 07–08 aprelya 2022 goda. Ekaterinburg: IP Russkikh A.V.*, P. 12-18. EDN CPYAKA.

13. Chen, J. hua, Liu, J., & Li, Y. qiong., 2018. Flotation separation of pyrite from arsenopyrite in the presence of oxidants. *Separation Science and Technology*, 54(17), 2933–2942. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1554685>

14. Huihui Zhou, Guijian Liu, Liqun Zhang, Chuncai Zhou, 2021. Mineralogical and morphological factors affecting the separation of copper and arsenic in flash copper smelting slag flotation beneficiation process. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 401, 123293 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123293>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420312826>)

15. Zhao G., Zhu D., 2021. Enhanced Flotation Separation of Cassiterite from Calcite Using Metal-Inorganic Complex Depressant. *Minerals*, 11, 880. <https://doi.org/10.3390/min11080880>

16. Limin Zhang, Sultan an Khoso, Mengjie Tian, Wei Sun, 2021. Cassiterite recovery from a sulfide ore flotation tailing by combined gravity and flotation separations. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 57(1), 206-215/ISSN 1643-1049/ URL:<http://www.journalssystem.com/ppmp/>

17. Matveeva T.N., Chanturiya, V.A., Getman V.V., Gromova N.K., Ryazantseva M.V., Karkeshkina A. Y., Minaev V.A., 2020. The Effect of Complexing Reagents on Flotation of Sulfide Minerals and Cassiterite from Tin-Sulfide Tailings. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 43(3), P. 346–359. <https://doi.org/10.1080/08827508.2020.1858080>

18. Xiaoping Huang, Kaihua Huang, Yun Jia, Shuai Wang, Zhanfang Cao, Hong Zhong, 2019. Investigating the selectivity of a xanthate derivative for the flotation separation of chalcopyrite from pyrite. *Chemical Engineering Science*, Volume 205, Pages 220-229, ISSN 0009-2509, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.04.051>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250919304221>)