

УДК 622.765.061

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

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

Мисютинская Валерия Андреевна
преподаватель,
ФГБОУ ВО 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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТНЫХ РЕЖИМОВ
НА ФЛОТАЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ
ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРОБЫ
РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЛОМЫР***

Аннотация:

В статье представлено исследование влияния различных реагентных режимов на флотационное извлечение полезных компонентов из золотосульфидных руд месторождения Маломыр. Актуальность работы обусловлена сложностью обогащения руд, содержащих тонковкрапленное золото и углистое вещество, что негативно сказывается на эффективности флотации. Целью работы является оптимизация реагентных режимов флотационного обогащения для повышения извлечения золота. Для достижения этой цели проведены лабораторные испытания с использованием различных реагентов, включая собиратели, депрессоры и вспениватели. Исследования включали 13 серий экспериментов с двумя принципиальными схемами флотации: выделением углистого концентрата в начале процесса и депрессией углистого вещества. Результаты показали, что применение оптимальных реагентных режимов и предварительное выделение углистого концентрата значительно повышают извлечение золота из руды. Работа представляет интерес как для научного сообщества, так и для практиков в области горнодобывающей промышленности, предлагая эффективные подходы к переработке сложных золотосодержащих руд.

Ключевые слова: золотосульфидные руды, оптимальный реагентный режим, извлечение золота, выход, содержание, депрессия углистого вещества, ультразвуковая обработка.

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.01.124

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 the RAS,
685000 Khabarovsk, 51 Turgeneva Str.
e-mail: 2021100489@pnu.edu.ru

**RESEARCH ON THE INFLUENCE
OF VARIOUS REAGENT REGIMES
ON THE FLOTATION EXTRACTION
OF VALUABLE COMPONENTS FROM
A SAMPLE OF ORE FROM THE MALOMYR
DEPOSIT**

Abstract:

This article presents a study on the influence of various reagent regimes on the flotation extraction of valuable components from gold-sulfide ores of the Malomyr deposit. The relevance of the work is due to the complexity of enriching ores containing finely disseminated gold and carbonaceous material, which negatively affects flotation efficiency. The aim of the study is to optimize reagent regimes for flotation enrichment to enhance gold extraction. To achieve this goal, laboratory tests were conducted using various reagents, including collectors, depressants, and frothers. The research included 13 series of experiments with two principal flotation schemes: the separation of carbonaceous concentrate at the beginning of the process and the depression of carbonaceous material. The results showed that the application of optimal reagent regimes and preliminary separation of carbonaceous concentrate significantly increase gold extraction from the ore. This work is of interest both to the scientific community and to practitioners in the mining industry, offering effective approaches to processing complex gold-bearing ores.

Key words: gold-sulfide ores, optimal reagent regime, gold extraction, yield, content, depression of carbonaceous material, ultrasonic treatment.

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

Введение

Золотосульфидные руды месторождения Маломир являются важным сырьевым источником для горнодобывающей промышленности. Эффективное извлечение золота из этих руд является актуальной задачей, требующей проведения детальных исследований.

Целью данной работы является экспериментальное исследование флотационного обогащения золотосульфидных руд месторождения Маломир для определения оптимальных технологических параметров и реагентных режимов, обеспечивающих максимальное извлечение золота в концентрат.

Для достижения поставленной цели были проведены лабораторные флотационные испытания с использованием различных реагентных режимов. Исследования включали в себя изучение влияния типа и дозировки собирателей, депрессоров и вспенивателей на показатели обогащения.

Литературный обзор

Флотация остается одним из наиболее важных методов обогащения полезных ископаемых, и ее эффективность во многом определяется выбором реагентов и условиями процесса. В данном литературном обзоре освещены ключевые аспекты флотации золота и касситерит-арсенопиритовых руд, основываясь на существующих исследованиях и их результатах.

Исследования процессов флотации золота из руд месторождения Маломир показали, что одним из наиболее эффективных собирателей является ксантогенат натрия. Этот реагент продемонстрировал высокую селективность при извлечении золота из сложных руд, позволяя избежать значительных потерь [1]. Более того, применение дитиокарбамата оптимизировало условия флотации и способствовало улучшению извлечения золота на уровне 90 %. Подбор оптимальных условий, таких как настройка pH (обычно в пределах 8–10), также способствовал повышению эффективности процесса [1, 5].

Разработка технологии флотационного обогащения касситерит-арсенопиритовых руд предполагает использование специализированных реагентов. В проведенных исследованиях применялись ксантогенаты для флотации касситерита, а также молибденовые и железосодержащие реагенты, служащие депрессорами для арсенопирита. Ключевым аспектом является необходимость достижения селективного извлечения, что позволило получить концентрат с высоким содержанием олова и минимальными потерями арсенопирита [2, 4].

Опыт использования различных режимов флотации, включая варианты с многократным добавлением реагентов на разных стадиях, помог достичь более высокой степени разделения [2, 3]. В этом контексте важно учитывать, что эффективность реагентов может варьироваться в зависимости от состава руды. Поэтому комбинация реагентов должна быть тщательно выбрана для каждого конкретного типа руды, чтобы обеспечить оптимальное разделение и максимальное извлечение золота и олова.

Новое экспериментальное направление в применении депрессоров в технологии флотации заключается в использовании натриймеркаптоацетата, который продемонстрировал свою эффективность в селективной флотации, разделяя халькопирит и пирит. Данный реагент позволяет значительно улучшить результирующую селективность флотации, минимизируя нежелательное взаимодействие между минералами [7]. Это подтверждает тот факт, что правильный выбор депрессора может оказать решающее влияние на результаты обогащения, увеличивая чистоту конечного продукта.

При разработке технологий разделения касситерита и арсенопирита селективная флотация является ключевым процессом. На основе проведенных исследований было установлено, что использование реагентов, таких как фосфаты и кислые соли, может существенно улучшить результаты разделения, обеспечивая значительное снижение

потерь [4]. Данный подход основан на физико-химических различиях между минералами, что способствует более эффективному извлечению полезных компонентов в концентрате. Применение этих технологий в сочетании с высокодисперсными реагентами оказало заметное влияние на общую производительность процесса флотации, обеспечивая извлечение касситерита и арсенопирита до 95 % [4, 5].

Обзор литературных источников показывает, что использование специфических флотационных реагентов, таких как ксантогенаты, дитиокарбаматы и современные депрессоры, играет важную роль в повышении эффективности флотации золота и касситерит-арсенопиритовых руд. Понимание взаимодействий между реагентами и их оптимизация для различных типов руд позволяют достигать высоких показателей извлечения и качества концентратов. В будущем необходимо сосредоточиться на дальнейшей оптимизации процессов флотации и внедрении инновационных технологий переработки, чтобы повысить общую эффективность методов обогащения и обеспечить экологическую устойчивость производства.

Обзор проблемы исследования

Золотосодержащие руды месторождения Маломыр являются сложными для обогащения объектами, что обусловлено наличием в них тонковкрапленного золота, а также присутствием углистого вещества, которое негативно влияет на процесс флотационного обогащения. Для эффективного извлечения золота из таких руд требуется подбор оптимальных реагентных режимов флотации.

Ранее проведенные исследования показали, что применение традиционных схем флотационного обогащения не позволяет достичь высокого извлечения золота. Одним из перспективных направлений повышения эффективности обогащения является предварительное выделение углистого концентрата, а затем флотация сульфидных минералов, содержащих золото.

Таким образом, актуальной задачей является исследование влияния реагентных режимов на показатели флотационного обогащения золотосодержащих руд месторождения Маломыр, в том числе с предварительным выделением углистого концентрата.

Целью данной работы является экспериментальное исследование флотационного обогащения золотосодержащих руд месторождения Маломыр с оптимизацией реагентных режимов для повышения извлечения золота.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Провести серию лабораторных флотационных испытаний с использованием различных реагентных режимов, в том числе с предварительным выделением углистого концентрата.

2. Проанализированы полученные результаты и выявлены оптимальные условия флотационного обогащения, обеспечивающие максимальное извлечение золота.

Предварительно проба была разделена на классы крупности, и каждый из них был проанализирован методом атомно-абсорбционной спектроскопии на золото, серебро и основные металлы сульфидов. Результаты сведены далее в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анализа элементного состава фракций крупности проб руд месторождения Маломыр методом атомно-абсорбционной спектроскопии

Название пробы с распределением по классам крупности	Выход, %	Au, г/т	Ag, г/т	Fe, %	Cu, г/т	As, г/т
рядовая 5 блок -0,2+0,1 мм	0,77	1,48	0,91	1,55	7,14	1447,18
рядовая 5-блок -0,1+0,071 мм	11,28	1,66	0,83	2,08	7,90	1941,02
рядовая 5-блок -0,071+0,05 мм	10,77	2,01	0,74	2,32	16,53	1826,04
рядовая 5-блок -0,05+0,04 мм	13,33	1,95	0,60	1,83	9,17	1941,02
рядовая 5-блок -0,04+0,02 мм	63,85	1,75	0,64	1,79	12,32	2770,13
рядовая 5-блок -0,02+0,0 мм		1,40	0,86	1,88	19,33	3042,68

Из анализа видно, что золото и серебро, как и породообразующие железо, медь и мышьяк, во всех пробах неравномерно распределены по классам крупности. В то же время, учитывая высокий (более 50 %) весовой выход шламообразующих (для дробленной руды) фракций с относительно близкими значениями содержаний золота и серебра, очевидно, что получить при грохочении продуктивные классы крупности дробленной руды, в которых оно концентрируется, не представляется возможным. Однако данные результаты могут быть использованы для планирования флотационной схемы обогащения с предварительным разделением материала на гидроциклоне на песковую и шламовую часть с последующей раздельной флотацией полученных продуктов.

На первом этапе была исследована проба Рядовая 5 блок в качестве основной для тестирования, вследствие среднего (из трех представленных) содержания в ней золота. Лабораторные исследования были проведены на механических флотомашинах 240 ФЛ с объемами камер 0,25, 1, 1,5 л. В качестве реагентов флотации были использованы:

– депрессоры: силикат натрия (жидкое стекло - ЖС), кремнефтористый натрий – КФН, лигносульфат – КБТ.

– собиратели: бутиловый ксантогенат калия – XtK, дитиофосфат натрия – ДТФ, дистилляты талловых масел – ДТМ, неонол.

– вспениватели: сосновое масло – С.М., Т-80.

Ранее были проведены исследования данной пробы с использованием того же оборудования и реагентов в других соотношениях. В ходе этих испытаний было выяснено, что оптимальный реагентный режим флотации следующий:

– модификатор: Na_2CO_3 в количестве 1,5 кг/т;

– депрессоры: ЖС, КФН и КБТ в количестве 100 – 200 г/т каждый;

– собиратели: XtK 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.

Далее приведены результаты новых флотационных испытаний.

Исследования включали в себя 5 серий экспериментов. Серии исследований включали в себя две принципиальные схемы флотации – выведение углистого концентрата в голову процесса и с депрессией углистого вещества. Серии отличаются реагентным режимом и количеством перемешивания и концентратов. Реагентные режимы флотации представлены далее. Подробнее о продуктах каждой схемы можно судить по результатам исследований. Углистый концентрат в голове процесса выделялся по принципу «голодного» реагентного режима с целью максимально обеспечить извлечение углистого и снизить адсорбцию собирателя на свободном золоте или золоте в сростках.

Исследования проводились на механических флотомашинах с использованием различных реагентных режимов, включающих депрессоры, собиратели и вспениватели. Основными показателями, по которым оценивались результаты обогащения, являются выход, содержание и извлечение золота, серебра, меди, железа, мышьяка и органического углерода в различных продуктах флотации.

Серия 1:

• Использование неонола 100 г/т и Т-80 50 г/т на стадии углистой флотации.

• На основной флотации использовались ЖС+КФН+КБТ 200+200+100 г/т, XtK 150 г/т, Т-80 50 г/т.

• Результаты: извлечение золота в основной концентрат составило 41,75 %, в контрольный концентрат – 12,3 – 15,53 %. Содержание золота в основном концентрате – 10,42 г/т.

Серия 2:

• Упрощенный реагентный режим на основной флотации: ЖС+КБТ 300+150 г/т, XtK 100 г/т, Т-80 100 г/т.

• Результаты: извлечение золота в основной концентрат составило 34,66 %, в контрольные концентраты – 9,84 – 18,77 %. Содержание золота в основном концентрате – 14,87 г/т.

Серия 3:

- Предварительная ультразвуковая обработка пульпы 7 мин.
- Реагентный режим на основной флотации: ЖС+КФН+КБТ 200+200+100 г/т, ХтК 170 г/т, Т-80 150 г/т.
- Результаты: извлечение золота в основной концентрат составило 32,77 %, в контрольные концентраты – 3,18 – 10,43 %. Содержание золота в основном концентрате – 14,2 г/т.

Серия 4:

- Предварительная ультразвуковая обработка пульпы 7 мин.
- Увеличение дозировок депрессоров на основной флотации: ЖС+КФН+КБТ 300+300+200 г/т, ХтК 150 г/т, Т-80 150 г/т.
- Результаты: извлечение золота в основной концентрат составило 38,08 %, в контрольные концентраты – 6,96 – 14,93 %. Содержание золота в основном концентрате – 9,94 г/т.

Серия 5:

- Схема с предварительной углистой флотацией.
- Реагентный режим на основной флотации: ЖС+КФН+КБТ 100+100+100 г/т, ХтК 150 г/т, Т-80 100 г/т.
- Результаты: извлечение золота в основной концентрат составило 50,24 %, в контрольные концентраты – 1,52–5,04 %. Содержание золота в основном концентрате – 6,53 г/т.

Основные выводы:

1. Предварительная ультразвуковая обработка пульпы перед основной флотацией (Оп 3, 4) позволяет повысить извлечение золота в основной концентрат по сравнению с вариантами без УЗО (Оп 2).
2. Увеличение дозировок депрессоров (ЖС+КФН+КБТ) на основной флотации свыше 500 г/т (Оп 12) приводит к снижению извлечения золота в основной концентрат по сравнению с меньшими дозировками (Оп 3).
3. Схема с предварительной углистой флотацией (Оп 5) обеспечивает максимальное извлечение золота в основной концентрат (50,24 %) при относительно невысоком содержании (6,53 г/т), но с низким извлечением в контрольные концентраты.

Данные, полученные методом атомно-абсорбционного анализа, представлены в приложении 1.

Таким образом, наиболее эффективный реагентный режим включает предварительную ультразвуковую обработку пульпы. Дозировки депрессоров ЖС+КФН+КБТ в пределах 500 г/т. Использование схемы с предварительной углистой флотацией по серии 5 (рис. 1).

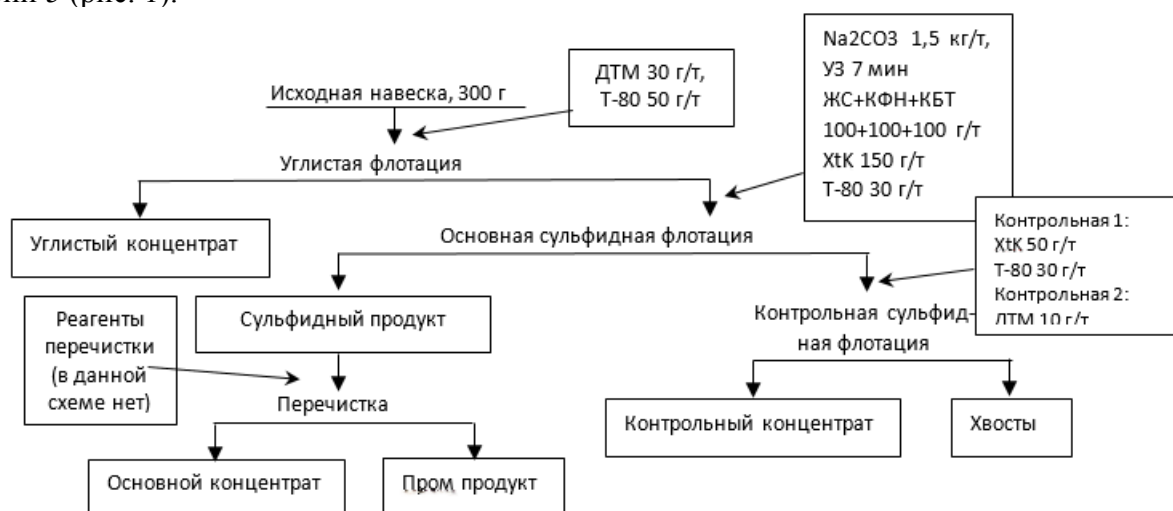


Рис. 1. Схема реагентного режима серии 5 с предварительной углистой флотацией

Приложение 1

Серия			Au		Ag		Cu		Fe		As		С орг	
	Продукт	Выход, %	Сод, г/т	Извл, %	Сод, г/т	Извл, %	Сод, %	Извл, %	Сод, %	Извл, %	Сод, %	Извл, %	Сод, %	Извл, %
1	УГ к-т	2,89	6,11	17,58	11,28	51,84	108,07	33,84	11,98	12,11	2,33	8,50	1,58	13,87
	S к-т 1	3,95	10,42	40,98	5,03	31,60	41,47	17,75	23,78	32,85	8,37	41,75	0,79	9,48
	S конт к-т 1	2,53	5,26	13,25	1,9	7,65	24,07	6,60	13,49	11,94	3,85	12,30	0,83	6,38
	S конт к-т 2	5,90	2,5	14,68	0,95	8,91	10,66	6,81	7,53	15,53	1,72	12,81	0,76	13,62
	Хвосты	84,74	0,16	13,51	0	0,00	3,81	35,00	0,93	27,58	0,23	24,63	0,22	56,66
	Итого	100,00	1,00	100,00	0,63	100,00	9,22	100,00	2,86	100,00	0,79	100,00	0,33	100,00
2	S к-т 1	2,47	14,87	34,66	15,42	49,77	131,97	40,97	35,99	38,01	6,95	24,88	0,67	5,81
	S пр/пр	2,40	6,12	13,87	3,67	11,52	31,93	9,64	5,47	5,62	4,03	14,03	0,86	7,25
	S конт к-т 1	2,01	9,88	18,77	3,31	8,71	33,6	8,50	8,56	7,37	6,27	18,29	1	7,07
	S конт к-т 2	1,83	5,71	9,84	2,77	6,61	23,12	5,31	7,32	5,72	4,16	11,02	0,96	6,16
	S конт к-т 3	4,87	2,31	10,62	1,19	7,58	9,66	5,92	5,87	12,23	1,84	12,99	0,76	13,00
	Хвосты	86,42	0,15	12,24	0,14	15,81	2,73	29,66	0,84	31,05	0,15	18,79	0,2	60,71
	Итого	100,00	1,06	100,00	0,77	100,00	7,95	100,00	2,34	100,00	0,69	100,00	0,28	100,00
3	S к-т 1	2,32	14,2	32,77	18,08	29,03	171,73	32,94	44,35	29,46	6,81	22,61	0,51	3,64
	S пр/пр 1	3,91	3,67	14,28	6,76	18,30	55,16	17,84	5,46	6,12	3,2	17,91	1,02	12,28
	S пр/пр 2	1,98	12,24	24,12	6,56	9,00	55,83	9,15	24,74	14,04	8,43	23,90	0,87	5,30
	S конт к-т 1	0,90	3,56	3,18	2,94	1,83	28,97	2,15	3,52	0,90	3,12	4,01	1,44	3,98
	S конт к-т 2	5,99	1,75	10,43	1,15	4,77	10,57	5,24	3,3	5,66	1,2	10,29	0,51	9,41
	Хвосты	84,91	0,18	15,22	0,63	37,07	4,65	32,68	1,8	43,82	0,175	21,29	0,25	65,39
	Итого	100,00	1,00	100,00	1,44	100,00	12,08	100,00	3,49	100,00	0,70	100,00	0,32	100,00

4	S к-т 1	3,26	9,94	38,08	11,98	37,26	115,77	38,35	7,23	25,59	8,05	34,43	0,59	4,78
	S пр/пр	3,31	3,78	14,70	2,78	8,78	25	8,41	1	3,59	2,54	11,03	0,82	6,74
	S конт к-т 1	1,95	6,53	14,93	3,75	6,96	31,02	6,13	11,77	24,87	6,19	15,81	0,86	4,16
	S конт к-т 2	3,68	3,18	13,74	2,19	7,68	14,01	5,23	2,21	8,82	3,02	14,57	0,65	5,93
	ХВОСТЫ	87,79	0,18	18,55	0,47	39,32	4,7	41,88	0,39	37,13	0,21	24,16	0,36	78,39
	Итого	100,00	0,85	100,00	1,05	100,00	9,85	100,00	0,92	100,00	0,76	100,00	0,40	100,00
5	УГ к-т	2,07	1,39	3,77	12,71	18,77	115,8	22,15	5,34	4,45	0,87	2,44	2,49	11,99
	S к-т 1	5,87	6,53	50,24	7,32	30,67	57,47	31,20	11,54	27,31	7,21	57,47	0,63	8,61
	S пр/пр 1	6,45	1,23	10,38	1,09	5,01	10,43	6,21	3,21	8,34	0,76	6,65	0,62	9,29
	S пр/пр 2	3,60	3,22	15,19	1,96	5,04	15,81	5,26	5,49	7,97	2,54	12,41	0,89	7,45
	S конт к-т 1	0,84	2,82	3,11	2,54	1,52	24,05	1,87	4,07	1,38	2,09	2,39	1,01	1,98
	S конт к-т 2	3,60	0,87	4,10	1,18	3,03	9,4	3,13	3,41	4,95	0,8	3,91	0,57	4,77
	ХВОСТЫ	77,56	0,13	13,21	0,65	35,96	4,21	30,17	1,46	45,61	0,14	14,73	0,31	55,91
	Итого	100,00	0,76	100,00	1,40	100,00	10,82	100,00	2,48	100,00	0,74	100,00	0,43	100,00

Вывод по результатам экспериментов:

1. Серия 1 показала, что использование неолола в качестве собирателя на стадии углистой флотации в сочетании с ксантогенатом калия и Т-80 на основной флотации позволяет получить высокое извлечение золота в концентрат (около 73 %) при приемлемом его содержании (10,42 г/т). Однако содержание золота в хвостах остается высоким (0,16 г/т).

2. В серии 2 применение только ксантогената калия и Т-80 в качестве собирателей и вспенивателя, соответственно, на основной флотации обеспечило максимальное содержание золота в концентрате (14,87 г/т) при удовлетворительном извлечении (около 70 %). Содержание золота в хвостах снизилось до 0,15 г/т.

3. Введение ультразвуковой обработки пульпы перед основной флотацией в сериях 3 – 5 способствовало повышению извлечения золота в концентрат до 75 – 80 % при его содержании 6,5 – 14,2 г/т. Это свидетельствует об эффективности предварительной дезинтеграции частиц руды ультразвуком для улучшения показателей флотационного обогащения.

4. Серия 5 с предварительной углистой флотацией и последующей основной флотацией с использованием ксантогената калия, Т-80 и умеренных концентраций депрессоров (100 – 200 г/т) показала хорошие результаты по извлечению золота (около 80 %) при его содержании в концентрате 6,53 г/т. Это указывает на целесообразность применения двухстадийной схемы флотации для данной руды.

Таким образом, наиболее эффективными реагентными режимами флотации, обеспечивающими высокие показатели извлечения и содержания золота в концентрате, являются:

- использование ксантогената калия в качестве основного собирателя в сочетании с Т-80 в качестве вспенивателя;
- предварительная ультразвуковая обработка пульпы перед основной флотацией;
- применение двухстадийной схемы флотации с предварительным выделением углистого концентрата.

Список литературы

1. Кузнецов А. А., Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., 2020. Исследование флотации золота из руд месторождения Маломыр. *Обогащение руд*, № 4, С. 3-8.
2. Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., Кузнецов А.А., 2018. Разработка технологии флотационного обогащения касситерит-арсенопиритовых руд. *Обогащение руд*, № 3, С. 3-9.
3. Кузнецов А.А., Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., 2019. Исследование флотации золота и олова из комплексных руд. *Обогащение руд*, № 6, С. 3-8.
4. Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., Кузнецов А.А., 2020. Разработка технологии разделения касситерита и арсенопирита методом селективной флотации. *Обогащение руд*, № 5, С. 3-9.
5. Кузнецов А.А., Кузнецов Ю.А., Ушаков Д.В., 2021. Исследование флотации золотосодержащих руд месторождения Маломыр. *Обогащение руд*, № 2, С. 3-8.
6. Газалеева Г.И., 2019. Технологические решения при переработке упорных оловянных руд и отходов обогащения. *Современные тенденции в области теории и практики добычи и переработки минерального и техногенного сырья: Материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 90-летию со дня основания института "Уралмеханобр"*, Екатеринбург, 06–08 ноября 2019 года. Екатеринбург: ОАО "Уралмеханобр", С. 308-312.
7. Xiaoyan Qin, Jian Liu, Yunlong Yu, Jiamei Hao, Hulin Gao, Da Li, Longfu Dai, 2023. Novel application of depressant sodium mercaptoacetate in flotation separation of

chalcopyrite and pyrite. *Advanced Powder Technology*, Volume 34, Issue 9, 104141, ISSN 0921-8831, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.104141>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921883123002066>)

8. Zhang X., Zhu Y., Mkhonto P.P., Meng Y., McFadzean B., Ngoepe P.E., & O'Connor C., 2024. The Flotation Separation of Chalcopyrite and Galena: Crystal, Surface, Floatability and Reagents. *Separation & Purification Reviews*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/15422119.2024.2383314>

9. Gupta A., Yan D.S., 2016. *Mineral Processing Design and Operations: An Introduction*. URL: https://books.google.ru/books?id=Ggri_yHO8HMC&source=ttb&redir_esc=y (дата обращения 13.01 2025)

10. Wills B.A., Finch J.A., 2016. *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier.

11. Fuerstenau M.C., Jameson G.J., Yoon R.H., 2007. *Froth Flotation: A Century of Innovation*. SME.

12. Bulatovic S.M., 2007. *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores*. Elsevier

References

1. Kuznetsov A. A., Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., 2020. Issledovanie flotatsii zolota iz rud mestorozhdeniya Malomyr [Investigation of gold flotation from ores of the Malomyr deposit]. *Obogashchenie rud*, № 4, P. 3-8.

2. Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., Kuznetsov A.A., 2018. Razrabotka tekhnologii flotatsionnogo obogashcheniya kassiterit-arsenopiritovykh rud [Development of technology for flotation enrichment of cassiterite-arsenopyrite ores]. *Obogashchenie rud*, № 3, P. 3-9.

3. Kuznetsov A.A., Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., 2019. Issledovanie flotatsii zolota i olova iz kompleksnykh rud [Investigation of flotation of gold and tin from complex ores]. *Obogashchenie rud*, № 6, P. 3-8.

4. Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., Kuznetsov A.A., 2020. Razrabotka tekhnologii razdeleniya kassiterita i arsenopirita metodom selektivnoi flotatsii [Development of technology for separation of cassiterite and arsenopyrite by selective flotation]. *Obogashchenie rud*, № 5, P. 3-9.

5. Kuznetsov A.A., Kuznetsov Yu.A., Ushakov D.V., 2021. Issledovanie flotatsii zolotosoderzhashchikh rud mestorozhdeniya Malomyr [Investigation of flotation of gold-bearing ores of the Malomyr deposit]. *Obogashchenie rud*, № 2, P. 3-8.

6. Gazaleeva G.I., 2019. Tekhnologicheskie resheniya pri pererabotke upornykh olovyannykh rud i otkhodov obogashcheniya [Technological solutions for the processing of stubborn tin ores and enrichment waste]. *Sovremennye tendentsii v oblasti teorii i praktiki dobychi i pererabotki mineral'nogo i tekhnogennogo syr'ya: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, priurochennoi k 90-letiyu so dnya osnovaniya instituta "Uralskoye nauchno-issledovatel'skoye tsentroye", Ekaterinburg, 06–08 noyabrya 2019 goda. Ekaterinburg: OAO "Uralskoye nauchno-issledovatel'skoye tsentroye"*, P. 308-312.

7. Xiaoyan Qin, Jian Liu, Yunlong Yu, Jiamei Hao, Hulin Gao, Da Li, Longfu Dai, 2023. Novel application of depressant sodium mercaptoacetate in flotation separation of chalcopyrite and pyrite. *Advanced Powder Technology*, Volume 34, Issue 9, 104141, ISSN 0921-8831, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.104141>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921883123002066>)

8. Zhang X., Zhu Y., Mkhonto P.P., Meng Y., McFadzean B., Ngoepe P.E., & O'Connor C., 2024. The Flotation Separation of Chalcopyrite and Galena: Crystal, Surface, Floatability and Reagents. *Separation & Purification Reviews*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/15422119.2024.2383314>

-
- 9 Gupta A., Yan D.S., 2016. *Mineral Processing Design and Operations: An Introduction*. URL: https://books.google.ru/books?id=Ggri_yHO8HMC&source=ttb&redir_esc=y (дата обращения 13.01 2025)
 - 10 Wills B.A., Finch J.A., 2016. *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier.
 - 11 Fuerstenau M.C., Jameson G.J., Yoon R.H., 2007. *Froth Flotation: A Century of Innovation*. SME.
 - 12 Bulatovic S.M., 2007. *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores*. Elsevier