

# ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.765.06:553.441

Комплексное использование  
минерального сырья. № 3. 2014

*Н. К. ТУСУПБАЕВ, Д. К. ТУРЫСБЕКОВ, Л. В. СЕМУШКИНА,  
А. А. МУХАНОВА\*, С. Б. САТЫЛГАНОВА*

*АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения»,  
Алматы, \*ainura-muhanova@mail.ru*

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЭРОФЛОТА И ТЕПЛОвого РЕЖИМА ПРИ ФЛОТАЦИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАЛКИЯ

Проведены исследования по схеме коллективно-селективной флотации свинцово-цинковой руды Шалкиинского месторождения с применением теплового режима и модифицированного композиционно-го аэрофлота в сравнении с базовым аэрофлотом. При нагреве пульпы до 40 °С улучшается извлечение свинца и цинка в коллективный свинцово-цинковый концентрат без потери качества концентрата. Получен коллективный свинцово-цинковый концентрат, содержащий 9,0 % свинца при извлечении 79,6 % и 23,0 % цинка при извлечении 76,7 %. Извлечение свинца, по сравнению с режимом без нагрева пульпы, возрастает на 3,7 %, цинка – на 2,5 %. Расход модифицированного аэрофлота по сравнению с бутиловым аэрофлотом уменьшается на 20 %. Нагрев пульпы до 35 °С при селективном разделении коллективного свинцово-цинкового концентрата руды показал, что при использовании модифицированного аэрофлота извлечение свинца и цинка повышается в равноименные концентраты на 5-7 % с одновременным улучшением качества концентратов.

**Ключевые слова:** свинцово-цинковая руда, модифицированный аэрофлот, нагрев пульпы, коллективно-селективная флотация.

**Введение.** По количеству и разнообразию минерально-сырьевых ресурсов Казахстан занимает одно из ведущих мест в мире. Одним из крупнейших полиметаллических трудно-обогащаемых месторождений руд является Шалкиинское месторождение, где общие запасы свинцово-цинковой руды превышают 200 млн. т. При этом содержание ценных металлов составляет 5 %, из них 70-80 % цинк и 20-30 % свинец. Труднообогащаемость руд месторождения Шалкия связана с очень тонкой дисперсностью минералов галенита, сфалерита и пирита, их тесным взаимопроращением между собой и породообразующими минералами, наличием ультратонких углистых веществ, а также присутствием минералов кальцита и доломита. Вследствие этого увеличивается объем добываемого и перерабатываемого минерального сырья, возникает необходимость более тонкого измельчения руды перед процессами обогащения, что, в ко-

нечном счете, приводит к перерасходу токсичных реагентов.

Существующая технология обогащения труднообогащаемой руды месторождения Шалкия требует дальнейшего совершенствования, в частности, изменения реагентного режима флотации, применения новых селективных реагентов-собирателей с целью повышения технологических показателей флотационного обогащения.

Ранее известными учеными (А.Ф.Таггарт, К.Л.Сазерленд, И.В.Уорк, А.М.Годен, М.А.Эйгелес, В.А.Глембоцкий, Р.Д.Хуки и др.) было установлено положительное влияние подогрева флотационной пульпы и раскрыто его многостороннее воздействие на столь сложную систему. С повышением температуры пульпы увеличивается скорость большинства процессов, происходящих на поверхностях раздела фаз. Повышение температуры пульпы интенсифицирует флотацию, т. к. при этом повышается раствори-

мость кислот и снижается их расход, но это почти всегда ухудшает селективность процесса [1-3]. При флотации сульфидных минералов с изменением температуры пульпы можно регулировать окислительные процессы и пенообразование. Повышение температуры может оказывать влияние на многие явления и процессы, сопровождающие взаимодействие рудных пульп с реагентами: на реакционную способность твердого тела, растворимость реагентов, степень ионизации, гидролиза, скорость химических и сорбционных реакций между реагентами и компонентами рудных пульп, формы сорбции реагентов на поверхности минералов, на количество закрепившихся реагентов, на процессы пенообразования, устойчивость пены и др.

Несмотря на большие потенциальные возможности, связанные с действием подогрева флотационной среды, исследований в этой области проводится недостаточно [4]. Поэтому данное направление исследований, применительно к рудам цветных металлов и, особенно к полиметаллическим рудам, в сочетании с модифицированными собирателями необходимо развивать [5-7].

**Целью** данной работы является разработка эффективной технологии обогащения сульфидных руд цветных металлов путем регулирования теплового режима обработки пульпы коллективного свинцово-цинкового концентрата с использованием модифицированного собирателя.

**Методы исследований:** В работе изучен минералогический, гранулометрический, химический состав руды месторождения Шалкия, проведен дисперсионный анализ. Флотация руды проводилась на механических флотомашинах ФЛ-290, ФМ-1, ФМ-2 (Россия).

**Экспериментальная часть и обсуждение результатов.** Проведено изучение технологических параметров флотации свинцово-цинковой руды Шалкиинского месторождения с применением модифицированного собирателя и регулирования теплового режима с последующим выделением высококачественных разноименных концентратов.

Основными полезными минералами в руде являются сфалерит, галенит и пирит, которые имеют очень тонкую вкрапленность – от пылевидной до 0,1 мм и характеризуются тесным взаимопрорастанием между собой, а также с вмещающими минералами пустой породы, в частности кварцем и карбонатами. Результаты

химического анализа исследуемой руды и формы нахождения свинца и цинка приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Химический состав свинцово-цинковой руды месторождения Шалкия

Элемент, соединение	Содержание, масс. %
Свинец	1,3
Цинк	3,7
Медь	0,05
Железо	3,42
Сера общая	5,52
Углерод органический	1,02
Кальций	5,35
Магний	3,58
Алюминий	0,80
Калий	0,56
Натрий	0,033
Кварц	45,00
Сульфат бария	<0,1
Мышьяк	0,0055
Сурьма	<0,002
Кадмий	0,012
Фтор	0,18
Марганец	0,054
Индий	0,00011
Висмут	<0,0006
Германий	0,00097
Золото, г/т	<0,1
Серебро, г/т	5,4
Фосфор	0,017

Таблица 2 – Формы нахождения свинца и цинка в руде месторождения Шалкия

Компонент	Минералы	Содержание, %	
		абсолютное	относительное
Свинец	• англезит, церуссит	0,085	6,5
	• галенит	1,157	89,0
	• остаточные формы	0,058	4,5
	<b>Всего свинца:</b>	<b>1,3</b>	<b>100,0</b>
Цинк	• кислородсодержащие соединения	0,433	11,7
	• сфалерит	3,267	88,3
	<b>Всего цинка:</b>	<b>3,7</b>	<b>100,0</b>

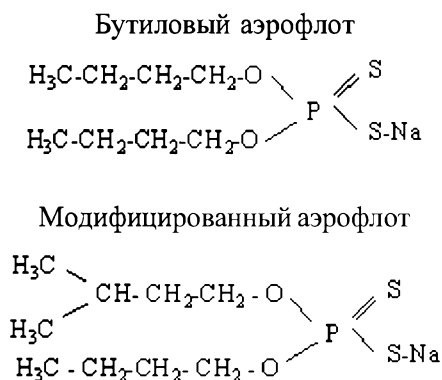
По результатам химического анализа в исследуемой пробе содержится, %: 1,3 свинца и 3,7 цинка. Из-за очень тонкой дисперсности минералов галенита, сфалерита и пирита, их тесного взаимопрорастания между собой и порообразующими минералами, наличия ультра-

тонких углистых веществ, а также присутствия легкоизмельчающихся минералов калцита наряду с трудноизмельчающимися окремненными доломитами, данные руды характеризуются как труднообогатимые, из которых получение высококачественных свинцовых и цинковых концентратов весьма затруднено.

Кроме того порода равномерно насыщена соединениями углерода, имеющими высокую флотоактивность даже при 1 % абсолютном содержании и, тем самым, усложнено выделение из руды качественных цинковых концентратов с высоким извлечением.

Приведены результаты флотационного обогащения свинцово-цинковых руд Шалкинского месторождения с применением базового бутилового аэрофлота и модифицированного смесового аэрофлота в зависимости от температуры пульпы.

В исследованиях были использованы два образца собирателей – базовый реагент – бутиловый аэрофлот (бутиловый дитиофосфат) и новый модифицированный композиционный аэрофлот (изоамиловый и бутиловый фосфат), исходным сырьем, для синтеза которого был взят бутиловый спирт и очищенное сивушное масло при мольном соотношении 1:3:



Обогащение руд проводили по схеме коллективно-селективной флотации. Схема коллективной флотации включала в себя до 70-75 % фракции класса-0,074 мм, основную коллективную свинцово-цинковую флотацию с двумя стадиями, две перечистки и контрольную флотацию.

В процессе флотационных исследований был определен оптимальный расход модифицированного бутилового аэрофлота в сравнении с бутиловым

аэрофлотом. При расходе модифицированного аэрофлота 200 г/т был получен коллективный свинцово-цинковый концентрат с содержанием свинца – 9,1 %, цинка – 23,1 %. Извлечение свинца в коллективный концентрат составило 76,1 %, цинка – 75,7 %. При оптимальном расходе бутилового аэрофлота 250 г/т был получен коллективный концентрат с содержанием свинца – 8,1 %, цинка – 22,5 %. Извлечение свинца при этом составило 75,9 % и цинка – 74,2 %.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что использование модифицированного композиционного аэрофлота позволяет уменьшить расход реагента на 10 г/т по сравнению с бутиловым аэрофлотом и повысить содержание свинца на 1 %, а извлечение цинка на 1,5 %.

Далее проводилось исследование по влиянию теплового нагрева пульпы при коллективной свинцово-цинковой флотации руды месторождения Шалкия при выбранных оптимальных расходах бутилового аэрофлота (250 г/т) и медного купороса (1000 г/т). Температура нагрева варьировалась от 20 до 60 °С. Результаты исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты коллективной свинцово-цинковой флотации руды месторождения Шалкия при нагреве пульпы

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Zn	Pb	Zn	Pb	
Zn-Pb концентрат	12,3	<b>22,5</b>	<b>8,1</b>	<b>74,2</b>	<b>75,9</b>	t = 20 C
Пром. прод. 2	2,5	8,6	2,4	5,8	4,6	
Пром. прод. 1	4,3	5,3	1,6	6,1	5,2	
Пен.контр.фл.	2	2,4	1,5	1,3	2,3	
Хвосты	78,9	0,6	0,2	12,7	12,0	
Исх. руда	100	3,7	1,3	100	100	t = 40 C
Zn-Pb концентрат	12,4	<b>23,0</b>	<b>9,0</b>	<b>76,7</b>	<b>79,6</b>	
Пром. прод. 2	2,3	7,4	2,1	4,6	3,4	
Пром. прод. 1	4,2	4,1	1,3	4,6	3,9	
Пен.контр.фл.	2,1	2,3	1,2	1,3	1,8	
Хвосты	79	0,6	0,2	12,8	11,3	
Исх. руда	100	3,7	1,4	100	100	t = 50 C
Zn-Pb концентрат	12,5	<b>23,9</b>	<b>6,5</b>	<b>78,5</b>	<b>59,4</b>	
Пром. прод. 2	2,6	6,5	3,1	4,4	5,9	
Пром. прод. 1	4,6	3,2	2,6	3,9	8,7	
Пен.контр.фл.	1,4	2,1	2,9	0,8	3,0	
Хвосты	78,9	0,6	0,4	12,4	23,1	
Исх. руда	100	3,8	1,4	100	100	t = 60 C
Zn-Pb концентрат	10,4	<b>29,6</b>	<b>3,2</b>	<b>82,5</b>	<b>24,1</b>	
Пром. прод. 2	2,6	4,2	2,1	2,9	4,0	
Пром. прод. 1	4,6	2,1	1,8	2,6	6,0	
Пен.контр.фл.	1,4	3,1	1,5	1,2	1,5	
Хвосты	81	0,5	1,1	10,9	64,5	
Исх. руда	100	3,7	1,4	100	100	

Исследования показали, что подогрев пульпы до 40 °С улучшает извлечение свинца и цинка в коллективный свинцово-цинковый концентрат без ухудшения качества концентрата. Получен коллективный свинцово-цинковый концентрат, содержащий 9,0 % свинца при извлечении 79,6 % и 23,0 % цинка при извлечении 76,7 %. Извлечение свинца, по сравнению с режимом без нагрева пульпы, возрастает на 3,7 %, цинка – на 2,5 %.

Результаты флотации показали, что с применением модифицированного аэрофлота и нагрева пульпы расход медного купороса, также как и в случае бутилового аэрофлота, снижается на 20 %. Получен коллективный свинцово-цинковый концентрат, содержащий 9,6 % свинца при извлечении 78,9 % и 23,5 % цинка при извлечении 78,4 %. Извлечение свинца и цинка при использовании модифицированного аэрофлота и нагрева пульпы, по сравнению с режимом без нагрева, возрастает на 2,7 %. Сравнительные данные по флотации приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительные результаты коллективной свинцово-цинковой флотации руды месторождения Шалкия с применением бутилового аэрофлота и модифицированного аэрофлота с нагревом и без нагрева пульпы

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Zn	Pb	Zn	Pb	
Zn-Pb концентрат	12,3	<b>22,5</b>	<b>8,1</b>	<b>74,2</b>	<b>75,9</b>	Бутиловый аэрофлот 250 г/т t = 20 °С
Пром. прод. 2	2,5	8,6	2,4	5,8	4,6	
Пром. прод. 1	4,3	5,3	1,6	6,1	5,2	
Пен.контр.фл.	2,0	2,4	1,5	1,3	2,3	
Хвосты	78,9	0,6	0,2	12,7	12,0	
Исх. руда	100	3,7	1,3	100	100	
Zn-Pb концентрат	12,2	<b>23,2</b>	<b>9,9</b>	<b>76,7</b>	<b>79,3</b>	Бутиловый аэрофлот 250 г/т t = 40 °С
Пром. прод. 2	1,8	7,9	2,8	3,9	3,3	
Пром. прод. 1	3,9	5,1	1,6	5,4	4,1	
Пен.контр.фл.	2,4	1,6	1,8	1,0	2,8	
Хвосты	79,7	0,6	0,2	13,0	10,5	
Исх. руда	100	3,7	1,5	100	100	
Zn-Pb концентрат	12,1	<b>23,1</b>	<b>9,1</b>	<b>75,7</b>	<b>76,1</b>	Модиф. аэрофлот 200 г/т t = 20 °С
Пром. прод. 2	1,8	9,5	3,2	4,6	4,0	
Пром. прод. 1	4,0	4,9	2,0	5,3	5,5	
Пен.контр.фл.	2,6	5,1	1,9	3,6	3,4	
Хвосты	79,5	0,5	0,2	10,8	11,0	
Исх. руда	100	3,7	1,4	100	100	
Zn-Pb концентрат	12,5	<b>23,5</b>	<b>9,6</b>	<b>78,4</b>	<b>78,9</b>	Модиф. аэрофлот 200 г/т t = 40 °С
Пром. прод. 2	1,6	8,5	3,1	3,6	3,3	
Пром. прод. 1	3,1	5,0	1,9	4,1	3,9	
Пен.контр.фл.	2,5	4,6	2,1	3,1	3,5	
Хвосты	80,3	0,5	0,2	10,7	10,6	
Исх. руда	100	3,7	1,5	100	100	

Таким образом, исследования по флотации коллективного свинцово-цинкового концентрата из руды месторождения Шалкия показали, что применение нагрева пульпы до 40 °С позволяет повысить извлечение свинца и цинка в коллективный концентрат на 2-3 %. Расход композиционного аэрофлота по сравнению с бутиловым аэрофлотом уменьшается на 20 %.

Далее полученный коллективный свинцово-цинковый концентрат подвергался разделению по прямой селективной схеме. Доизмельчение коллективного концентрата осуществлялось до крупности 95 % класса – 0,074 мм, pH пульпы в процессе селективной флотации поддерживали в пределах 8,5-9,0. Схема селективной флотации включала в себя основную свинцовую флотацию, контрольную свинцовую флотацию и две перераспределения свинцового концентрата. Полная флотационная схема получения коллективных концентратов и используемый реагентный режим представлены на рисунке 1.

Проведены исследования по выбору оптимальных условий селективной флотации свинцового концентрата с использованием базового бутилового аэрофлота в сравнении с модифицированным аэрофлотом. При оптимальном расходе бутилового аэрофлота 250 г/т был получен свинцовый концентрат, содержащий 35,3 % свинца при извлечении 78,7 %, а цинковый концентрат содержал 39,4 % цинка при извлечении 75,6 %. При расходе модифицированного аэрофлота 200 г/т был получен свинцовый концентрат с содержанием свинца 38,9 %, при извлечении 78,6 % и цинковый концентрат с содержанием цинка 40,2 % при извлечении 76,2 %. Модифицированный аэрофлот при флотации без нагрева пульпы позволяет повысить качество свинцового концентрата. Содержание свинца в свинцовом концентрате повышается на 3 % – с 35,3 до 38,9 %. Расход модифицированного аэрофлота по сравнению с базовым бутиловым аэрофлотом уменьшается на 20 %.

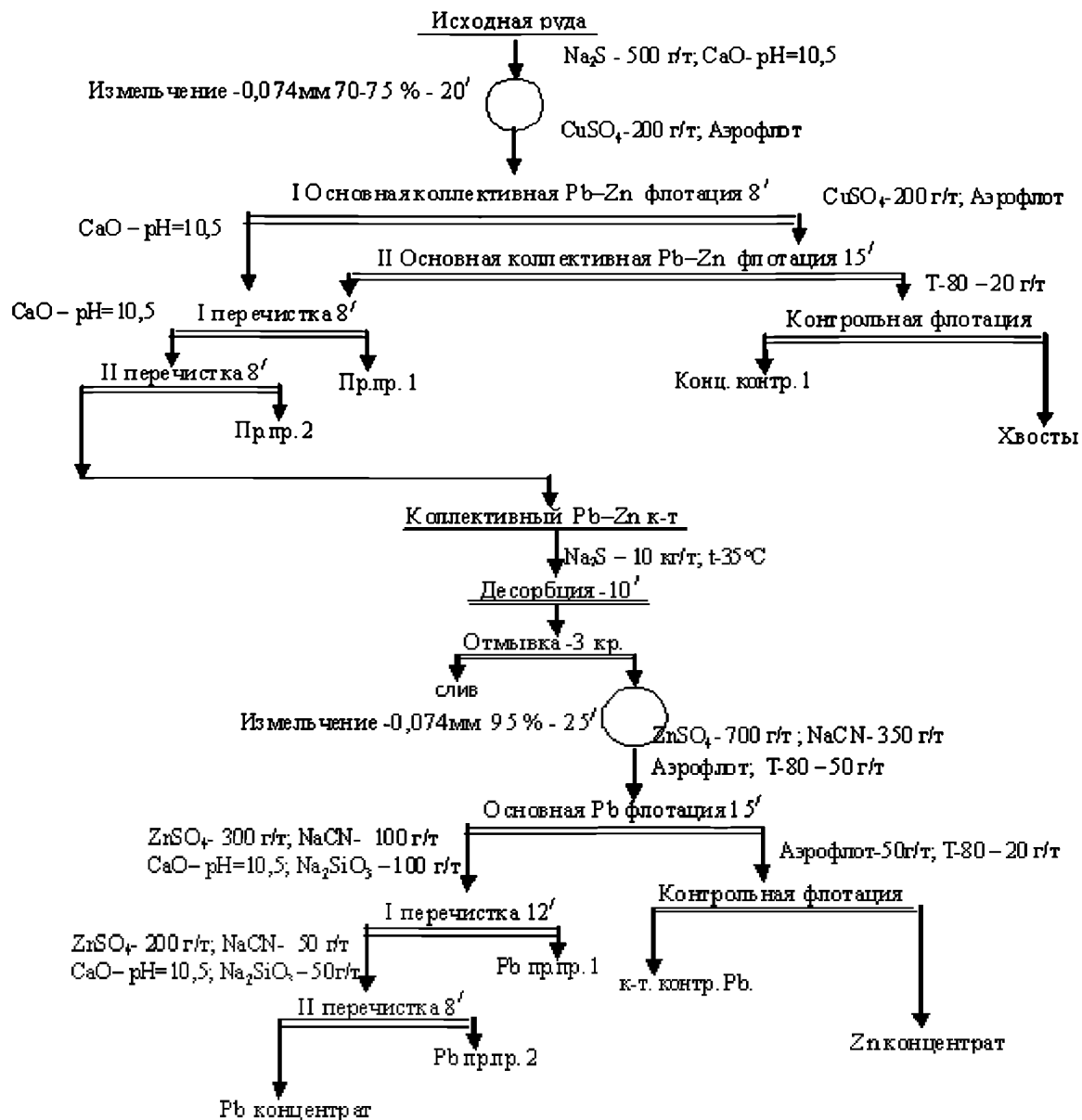


Рисунок 1 – Схема и реагентный режим коллективно-селективной флотации свинцово-цинковой руды Шалкинского месторождения

Далее проведены исследования по влиянию нагрева пульпы на степень извлечения свинца и цинка в разноименные концентраты в интервале температур от 25 до 40 °С с использованием базового бутилового аэрофлота. Результаты флотации приведены в таблице 5.

Анализ полученных данных показывают, что при температуре пульпы 35 °С и оптимальном расходе бутилового аэрофлота 200 г/т получены свинцовый концентрат, содержащий 42,6 % свинца при извлечении 83,2 % и цинковый концентрат, содержащий 41,6 % цинка, при извлечении 80,8 %. При этом повышается из-

влечение свинца и цинка в разноименные концентраты на 3-5 %.

Далее проведены исследования по влиянию нагрева пульпы на степень извлечения свинца и цинка в разноименные концентраты в пределах температур 25-40 °С с использованием модифицированного аэрофлота. Расход модифицированного аэрофлота составлял 200 г/т. Результаты флотации по селективному разделению коллективного свинцово-цинкового концентрата с применением модифицированного аэрофлота при разной температуре пульпы приведены в таблице 6.

Таблица 5 – Результаты флотации по селективному разделению коллективного свинцово-цинкового концентрата с применением базового бутилового аэрофлота при разной температуре пульпы

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Zn	Pb	Zn	Pb	
Pb концентрат	24,5	9,6	<b>35,3</b>	10,2	<b>78,7</b>	Бутиловый аэрофлот 250 г/т t = 25 °C
Zn концентрат	44,2	<b>39,4</b>	2	<b>75,6</b>	8,0	
Пром. прод. 2	7,5	12,1	4,1	3,9	2,8	
Пром. прод. 1	15,4	10,9	5,2	7,3	7,3	
Пен. контр. флот.	8,4	8,1	4,1	3,0	3,1	
Pb-Zn концентрат	100	23,0	11,0	100	100	
Pb концентрат	24,8	9,5	<b>40,0</b>	10,1	<b>77,8</b>	Бутиловый аэрофлот 200 г/т t = 30 °C
Zn концентрат	44,9	<b>40,6</b>	3,1	<b>77,9</b>	10,9	
Пром. прод. 2	8,3	9,7	4,5	3,4	2,9	
Пром. прод. 1	13,8	10,1	5,0	6,0	5,4	
Пен. контр. флот.	8,2	7,6	4,6	2,7	3,0	
Pb-Zn концентрат	100	23,4	12,8	100	100	
Pb концентрат	25,1	7,9	<b>42,6</b>	8,6	<b>83,2</b>	Бутиловый аэрофлот 200 г/т t = 35 C
Zn концентрат	45,0	<b>41,6</b>	2,1	<b>80,8</b>	7,4	
Пром. прод. 2	7,1	8,1	3,7	2,5	2,0	
Пром. прод. 1	15,0	9,3	4,2	6,0	4,9	
Пен. контр. флот.	7,8	6,2	4,1	2,1	2,5	
Pb-Zn концентрат	100	23,2	12,9	100	100	
Pb концентрат	25,2	7,5	<b>41,9</b>	8,1	<b>80,8</b>	Бутиловый аэрофлот 200 г/т t = 40 C
Zn концентрат	44,9	<b>41,8</b>	2,4	<b>80,6</b>	8,2	
Пром. прод. 2	7,2	9,2	4,1	2,8	2,3	
Пром. прод. 1	14,7	10,4	5,2	6,6	5,9	
Пен. контр. флот.	8,0	5,3	4,6	1,8	2,8	
Pb-Zn концентрат	100	23,3	13,1	100	100	

Таблица 6 – Результаты флотации по селективному разделению коллективного свинцово-цинкового концентрата с применением модифицированного аэрофлота при разной температуре пульпы

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Zn	Pb	Zn	Pb	
1	2	3	4	5	6	7
Pb концентрат	24,6	9,8	<b>38,9</b>	10,3	<b>78,6</b>	t = 25 °C
Zn концентрат	44,3	40,2	<b>2,8</b>	76,2	<b>10,2</b>	
Пром. прод. 2	7,7	13	5,3	4,3	3,4	
Пром. прод. 1	15,3	10,2	4,1	6,7	5,2	
Пен. контр. фл.	8,1	7,1	4,0	2,5	2,7	
Zn-Pb концентрат	100	23,4	12,2	100	100	
Pb концентрат	25,2	8,4	<b>42,1</b>	8,9	<b>82,4</b>	t = 30 °C
Zn концентрат	45,1	<b>41,5</b>	2,3	<b>78,7</b>	8,1	
Пром. прод. 2	8,0	8,9	5,2	3,0	3,2	
Пром. прод. 1	13,8	12,6	4,1	7,3	4,4	
Пен. контр. фл.	7,9	6,3	3,2	2,1	2,0	
Zn-Pb концентрат	100	23,8	12,9	100	100	

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
Pb концентрат	25,3	7,1	<b>45,1</b>	7,5	<b>85,0</b>	t = 35 °C 6,8
Zn концентрат		<b>45,4</b>	<b>43,6</b>	2,0	<b>83,1</b>	
Пром. прод. 2	9,2	7,4	3,5	2,9	2,4	
Пром. прод. 1	14,8	8,6	4,0	5,3	4,4	
Пен. контр. фл.	5,3	5,3	3,6	1,2	1,4	
Zn-Pb концентрат	100	23,8	13,4	100	100	
Pb концентрат	25,2	6,9	<b>45,2</b>	7,3	<b>83,1</b>	t = 40 °C
Zn концентрат	<b>45,3</b>	<b>43,7</b>	2,5	82,6	8,3	
Пром. прод. 2	8,6	8,6	4,2	3,1	2,6	
Пром. прод. 1	16,0	9,1	3,9	6,1	4,6	
Пен. контр. фл.	4,9	4,6	4,1	0,9	1,5	
Zn-Pb концентрат	100	24,0	13,7	100	100	

Таким образом, при температуре пульпы 35 °C и оптимальном расходе модифицированного аэрофлота 200 г/т получены свинцовый концентрат, содержащий 45,1 % свинца при извлечении 85,0 % и цинковый концентрат, содержащий 43,6 % цинка, при извлечении 83,1 %. Нагрев пульпы до 35 °C при селективном разделении коллективного свинцово-цинкового концентрата позволяет повысить извлечение свинца и цинка в разноименные концентраты на 5-7 % с одновременным улучшением качества концентратов, а также снизить расход цианида и модифицированного аэрофлота на 20 %.

**Выводы.** Проведены исследования по обработке теплового режима коллективной флотации свинцово-цинковой руды Шалкиинского месторождения с применением модифицированного собирателя в сравнении с базовым собирателем. Обогащение руд проводили по схеме коллективно-селективной флотации.

Установлено, что оптимальным расходом бутилового аэрофлота в цикле коллективной свинцово-цинковой флотации является 250 г/т. При этом получен коллективный свинцово-цинковый концентрат, содержащий 8,1 % свинца при извлечении 75,9 % и 22,5 % цинка при извлечении 74,2 %. Оптимальный расход модифицированного аэрофлота – 200 г/т, что на 20 % меньше, чем расход базового бутилового аэрофлота.

Применение нагрева пульпы до 40 °C улучшает извлечение свинца и цинка в коллективный свинцово-цинковый концентрат без потери качества концентрата. Получен коллективный свинцово-цинковый концентрат, содержащий 9,0 % свинца при извлечении 79,6 % и 23,0 % цинка при извлечении 76,7 %. Извлечение свинца, по сравнению с режимом без

нагрева пульпы, возрастает на 3,7 %, цинка – на 2,5 %.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в сравнении с базовым бутиловым аэрофлотом нагрев пульпы до 35 °C при селективном разделении коллективного свинцово-цинкового концентрата руды месторождения Шалкия с применением модифицированного аэрофлота позволяет повысить извлечение свинца и цинка в разноименные концентраты на 5-7 % с одновременным улучшением качества концентратов.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пасьшин А.М., Евдокимов С.И. Усовершенствование процесса цинковой флотации с использованием теплового кондиционирования пульпы // Обогащение руд, 2009. - № 1. - С. 29-34.
- 2 Бергер Г.С., Евдокимов С.И., Найфонов Т.Е. Физико-химические основы влияния температуры воздуха на флотацию // Известия вузов. Цветная металлургия, 1981. - № 5. - С. 18-22.
- 3 Евдокимов С.И., Пасьшин А.М. Нагрев граничных слоев пузырьков как метод активации флотации // Цветные металлы, 2009. - № 12. - С. 23-26.
- 4 Тусупбаев Н.К., Баймаханов М.Т. Применение подогрева пульпы при флотации руд цветных металлов. Первая часть // Комплексное использование минерального сырья, 2011. - № 5.
- 5 Ignatkina V.A., Bocharov V.A. and Tubdenova B.T. (Puntsukova). Combinations of different-class collectors in selective sulphide-ore flotation // Journal of Mining Science, Springer New York. - 2010. - Vol. 46. - No. 1. - P. 82-88.
- 6 Ignatkina V.A., Bocharov V.A., Puntsukova B.T. and Alekseychuk D.A. Analysis of selectivity of thionocarbamate combinations with butyl xanthate and dithiophosphate // Journal of Mining Science, Springer New York. - 2010. - Vol. 46. - No. 3. - P. 324-332.
- 7 Турысбеков Д.К., Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Калугин С.Н., Калдыбаева Ж.А., Баймаха-

нов М.Т. Влияние подогрева пульпы на селекцию коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата // 9 Конгресс обогатителей стран СНГ: Матер., Москва, 26-28 февраля 2013. - С. 594-596.

8 Bekturganov N.S., Tussupbayev N.K., Baimakhanov M.T., Turysbekov D.K., Semushkina L.V., Mukhanova A.A., Sadakbayeva Zh.K. Influence of temperature on selection of copper-lead-zinc concentrate // XV Anniversary Balkan Mineral Processing Congress & Exhibition: Созополь, Болгария, 12-16 июня 2013. - Р. 439-444.

9 Тусупбаев Н.К., Бектурганов Н.С., Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Муханова А.А., Сатылганова С.Б. Влияние теплового режима и смесового аэрофлота на селекцию коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата // Вестник КазНАЕН. - 2012. - № 3. - С. 30-34.

### REFERENCES

1 Pan'shin A.M., Evdokimov S.I. *Obogashchenie rud*, 2009, 1, 29-34 (in Russ.).

2 Berger G.S., Evdokimov S.I., Najfonov T.E. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*, 1981, 5, 18-22 (in Russ.).

3 Evdokimov S.I., Pan'shin A.M. *Tsvetnye metally*, 2009, 12, 23-26 (in Russ.).

4 Tussupbayev N.K., Baimakhanov M.T. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineralnogo syr'ya*, 2011, 5, 22-29 (in Russ.).

5 Ignatkina V.A., Bocharov V.A., Tubdenova B.T. (Puntsukova). *Journal of Mining Science*, 2010, 46, 1, 82-88 (in Eng.).

6 Ignatkina V.A., Bocharov V.A., Puntsukova B.T., Alekseychuk D.A. *Journal of Mining Science*, 2010, 46, 3, 324-332 (in Eng.).

7 Turysbekov D.K., Tussupbayev N.K., Semushkina L.V., Kalugin S.N., Kaldybaeva Zh.A., Baimakhanov M.T. *Mater. 9 Congressa obogatitelej stran SNG, Moscow*, 26-28 February 2013, 594-596 (in Russ.).

8 Bekturganov N.S., Tussupbayev N.K., Baimakhanov M.T., Turysbekov D.K., Semushkina L.V., Mukhanova A.A., Sadakbayeva Zh.K. *Mater. XV Anniversary Balkan Mineral Processing Congress & Exhibition, Sozopol', Bulgaria*, 12-16 June 2013, 439-444 (in Eng.).

9 Tussupbayev N.K., Bekturganov N.S., Semushkina L.V., Turysbekov D.K., Mukhanova A.A., Satylganova S.B. *Vestnik KazNAEN*, 2012, 3, 30-34 (in Russ.).

### Түйіндеме

Шалқия кенорнындағы қорғасын-мырыш кенінің флотациясы бірікті-таңдамалы сұлба арқылы жүргізілді. Базалық аэрофлотпен салыстыра отырып, жылыту уақыты және түрлендірілген композициялық аэрофлотты қолданғандағы зерттеу жұмыстары келтірілді. Пульпаны 40 °C-қа дейін қыздырғанда, бірікті қорғасын-мырыш концентратындағы қорғасын мен мырыштың сапасы сақталып қане қоймай, оның бөліп алу дәрежесін жақсартады. Бірікті қорғасын-мырыш концентраты алынды, онда қорғасынның үлесі 9,0 % болғанда, бөліп алу дәрежесі 79,6 % және мырыштың үлесі 23,0 % болғанда, бөліп алу дәрежесі 76,7 % құрады. Базалық режиммен пульпаны қыздырмағанда, қорғасынның бөліп алу дәрежесін 3,7 %-ға, ал мырыштыкі 2,5 %-ға жоғарылатады. Бутилді аэрофлотпен салыстырғанда, түрлендірілген аэрофлоттың шығыны 20 % төмендейді. Шалқия кенорнындағы кеннен бірікті қорғасын-мырыш концентратын таңдамалы бөліп алуда, түрлендірілген аэрофлотты қолдана отырып, пульпаны дейін 35 °C қыздырғанда қорғасын және мырыш концентраттары 5-7 % жоғарылайды әрі ондағы концентраттың сапасын жақсартады.

**Түйін сөздер:** қорғасын-мырыш кені, түрлендірілген аэрофлот, пульпаны қыздыру, бірікті-таңдамалы флотация.

### Summary

Studies of collective and selective flotation of lead-zinc ore of the Shalkiya deposit with application of a thermal mode and modified composite aero-float were conducted in comparison with basic aero-float. Lead and zinc extraction in the form of collective lead-zinc concentrate with a stable concentrate quality is improved due to heating of pulp up to 40 °C. Collective lead-zinc concentrate contained lead – about 9.0 % at 79.6 % extraction, and zinc – about 23.0 % at 76.7 % extraction was obtained. Lead extraction increases by 3.7 %, and zinc extraction – by 2.5 % in comparison with extraction without pulp heating. Consumption of modified aero-float is decreased by 20 % in comparison with butyl aero-float. Pulp heating up to 35 °C at selective separation of collective lead-zinc concentrate of ore showed that application of modified aero-float improved this process. Lead and zinc extraction into unlike concentrates increased by 5-7 % with simultaneous improving concentrates quality.

**Key words:** lead-zinc ores, modified aero-float, pulp heating, collective and selective flotation.

Поступила 16.07.2014