

УДК: 622.765

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.26

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД ХАНДИЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Ражабов Шахбоз Холмаматович

Термезский государственный университет инженерии и
агротехнологий, ассистент, Термез, Узбекистан
E-mail: shaxbozrajabov515@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-7891-9734



Хакимов Камол Жураевич

Термезский государственный инженерный и
агротехнологический университет, PhD, доцент,
Термез, Узбекистан
E-mail: xakimovkamol718@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-2169-2283

Аннотация. В статье представлены результаты лабораторных и производственных исследований по флотационному обогащению полиметаллических руд Хандизского месторождения. Основное внимание уделено влиянию реагентного режима на качество и степень извлечения цинка из хвостов медно-свинцовой флотации. Для анализа минерального состава и структурных особенностей цинковых концентратов использовались методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионного анализа (ЭДС). Установлено, что применение усовершенствованной технологической схемы с увеличением расхода собирателя БКК и активатора (медного купороса) позволило повысить содержание цинка в концентрате до 55 % при совокупном извлечении 73,16 %.

Ключевые слова: флотационное обогащение, полиметаллические руды, Хандизское месторождение, цинковый концентрат, реагентный режим, СЭМ, ЭДС, сфалерит, галенит, пирит.

XONDIZA KONI POLIMETALL RUDALARINI FLOTATSION BOYITISHNI TADQIQ QILISH

Rajabov Shaxboz Xolmamatovich

Termiz davlat muhandislik va agrotehnologiyalar universiteti
assistenti, Termiz, O'zbekiston

Xakimov Kamol Jurayevich

Termiz davlat muhandislik va agrotehnologiyalar universiteti,
PhD, dotsent, Termiz, O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada Xondiza konining polimetall rudalarini flotatsion boyitish bo'yicha laboratoriya va ishlab chiqarish tadqiqotlari natijalari keltirilgan. Asosiy e'tibor reagent rejimining mis-qo'rg'oshin flotatsiyasi chiqindilaridan ruxni ajratib olish sifati va darajasiga ta'siriga qaratilgan. Rux boyitmalarining mineral tarkibi va strukturaviy xususiyatlarini tahlil qilish uchun skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) va energiya dispersiya tahlili (EDT) usullaridan foydalanildi. Aniqlandiki, BKK yig'ichi va aktivator (mis kuporosi) sarfini oshirish bilan takomillashtirilgan texnologik sxemani qo'llash konsentratdagi rux miqdorini 55% gacha, umumiy ajratib olish 73,16% gacha oshirish imkonini berdi.

Kalit so'zlar: flotatsion boyitish, polimetall rudalar, Xondiza koni, rux konsentrati, reagent rejimi, SEM, EDS, sfalerit, galenit, pirit.

RESEARCH ON FLOTATION BENEFICIATION OF POLYMETALLIC ORES OF THE KHONDIZA DEPOSIT

Rajabov Shahboz Kholmamatovich

Termez State University of Engineering and Agrotechnologies,
assistant, Termez, Uzbekistan

Khakimov Kamol Juraevich

Termez State Engineering and Agrotechnology University, PhD,
Associate Professor, Termez, Uzbekistan

Abstract. This article presents the results of laboratory and industrial studies on the flotation beneficiation of polymetallic ores from the Khandiza deposit. The main focus is on the influence of reagent regimes on the quality and recovery rate of zinc from copper-lead flotation tailings. Scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) methods were used to analyze the mineral composition and structural features of zinc concentrates. It was determined that the application of an improved technological scheme, which involved increasing the consumption of the BKK collector and activator (copper sulfate), allowed for an increase in zinc content in the concentrate to 55% with a total recovery of 73.16%.

Keywords: flotation enrichment, polymetallic ores, Khandiza deposit, zinc concentrate, reagent regime, SEM, EDS, sphalerite, galena, pyrite.

Введение. Полиметаллические руды Хандизского месторождения характеризуются сложным минеральным составом и тонким взаимным сростанием минералов, что затрудняет их эффективное флотационное обогащение. На действующих обогатительных фабриках АО «АГМК» значительная часть цинка теряется в хвостах медно-свинцовой флотации, что требует оптимизации технологических схем и реагентных режимов.

Целью настоящей работы является исследование влияния состава флотореагентов и параметров технологической схемы на показатели флотации хвостов Cu-Pb флотации и получение цинкового концентрата с повышенным качеством и извлечением.

Материалы и методы. В качестве исходного материала использовались хвосты медно-свинцовой флотации руд Хандизского месторождения. Испытания проводились по усовершенствованной технологической схеме, включающей две основные и две контрольные стадии флотации с последующей перечисткой концентратов.

Для активирования минералов использовался медный купорос, а в качестве собирателя — БКК; пенообразователь — Т-92. Расход реагентов варьировался в пределах:

БКК — 30–60 г/т,

Т-92 — 20–40 г/т,

CuSO₄ — 100–120 г/т.

Минералогический и элементный состав полученных концентратов изучался с помощью

сканирующего электронного микроскопа Thermo Fisher Scientific Apreo 2 S LoVac и энергодисперсионного анализа (ЭДС).

Минералогический анализ. Флотационное обогащение хвостов Cu-Pb флотации проведено по технологической схеме, целью являлся перевод цветных и благородных металлов на состав концентрата, оставшихся после медной флотации схемы.

На изученном параграфе исследовано состав и структурные характеристики получаемого флотационных концентратов цинка, с целью оценки качества концентрата. При этом идёт проверка применяемых мер по реагентному режиму, также увеличение извлечения цинка как задействовало на концентрирование цинка на фазе концентрата, не ухудшалось ли качества флотационного концентрата которое дальнейшим направляющихся на цинкового завода АО «АГМК».

Результаты и обсуждение На последних опытах исследования был изменен реагентный режим флотации, т.е. было увеличено количество собирателя и пенообразователя, вследствие чего степень извлечения цинка после II основной флотации увеличилась значительно и составила в среднем 4,8 % от сквозного извлечения цинка, после II контрольной флотации увеличение извлечения составило 12,84%, в объединённом концентрате суммарное увеличение извлечения составило 17,6%, результаты которого приведено в

таблице 2.

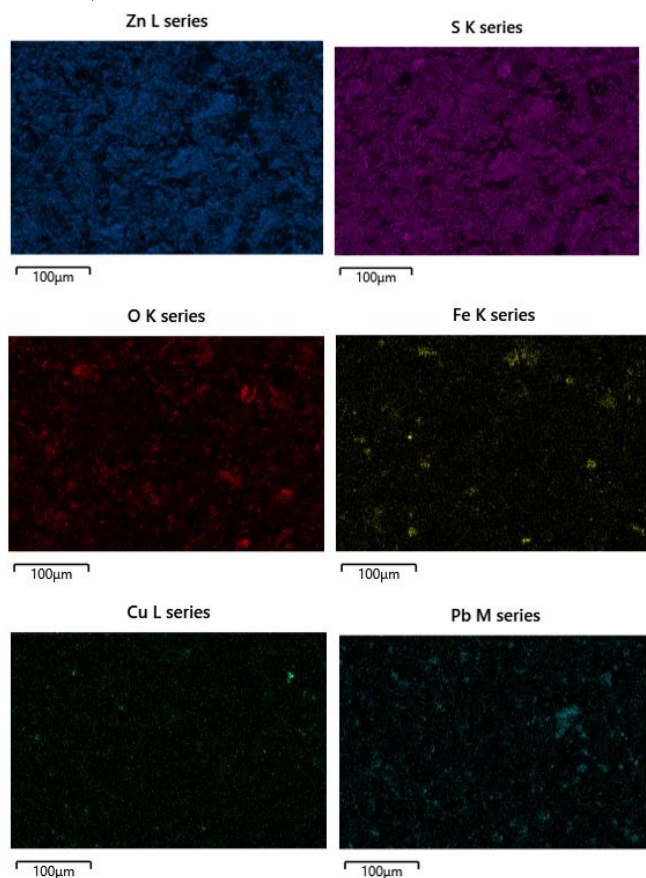


Рис.1. Снимок СЭМ поверхности концентрат №1*.

Образовавшихся флотоконцентратов изучалось на сканирующем электронном микроскопе Thermo Fisher Scientific Apreo 2 S LoVac.

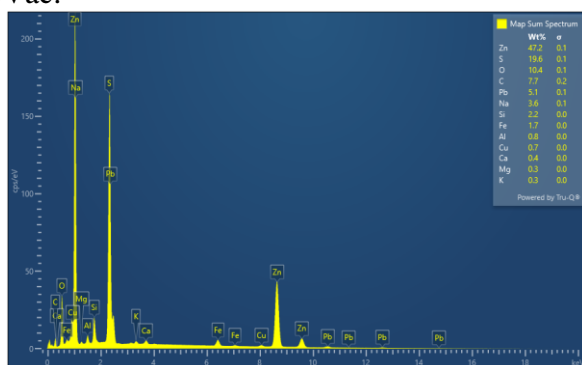


Рис.2. Поверхность образца флотоконцентратов полученных из полиметаллических руд Хандиза при 500-кратном увеличении, (концентрат №1*).

Результаты анализов показывает, что цинк хорошо концентрировался на фазе концентрата

с содержанием 47,2%, зеленое окраска снимков сканирующего электронного микроскопии явное выделение сульфидных сростках сфалерита, которое дополнительно подтверждается с высокими пиками серы равняющихся пиками цинка приведённое на рисунке 3.

Изучение поверхности концентратов показывает, что, чем ярче выглядят частицы, тем тяжелее элементы в этом минерале, по окраске можно судить какой металл больше всего находится в данном продукте, также, в снимках чем темнее цвет частиц, тем легче элементы в этой частице, таким образом частицы черного цвета являются углеродом. Изучаемая поверхность описывается в основном цинку смотрите рис.2., в качестве примеси минералов железа, находящихся на пике, которые встречаются с серой, что в свою очередь образуют минералы сульфидов железа, и заметное количество встречается на высоком пике интенсивностью у свинца с содержанием 5,1%, которое указывается на переход свинца из полиметаллических руд на фазе концентрата цинка. Кроме этого, содержание меди 0,7% хорошо отражается на фоне концентрата цинка. Цинковый концентрат старой схемы исследовано для сравнение концентратом получаемое по предложенному технологическому схему и с изменением реагентного режима.

Минералогический состав флотационного концентрата полученное по предлагаемое схемы цинкового передела, концентрат после II контрольной флотации с новым реагентным режимом для определения минерализации цинка и охарактеризование качества концентрата.

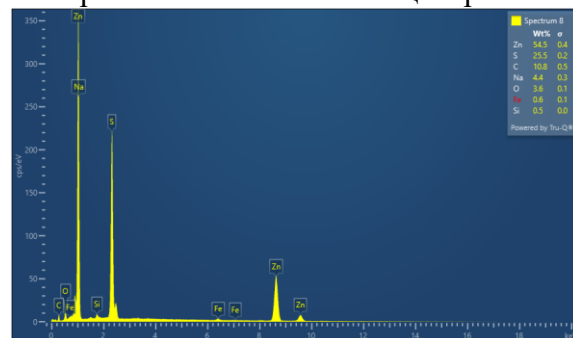


Рис.3. Диаграмма флотоконцентрата, полученных из II контрольной флотации с новым реагентным режимом, (концентрат №2*) 500-кратном увеличении.

Концентрат №2 представляет собой как выше сказано получен при флотационном способе обогащения цинкового передела после II стадийного основной флотации хвосты поступались на I контрольной флотации с расходом флотореагентом БКК – 60 г/т, Т-92-40 г/т, медный купорос - 120 г/т, образовавшихся хвосты поступает на II стадии контрольной флотации с реагентным расходом БКК – 30 г/т, Т-92-20 г/т, медный купорос -100 г/т. Предложенное изменение дополнительного II стадии контрольной флотации с новым реагентным режимом привело к повышению качества флотоконцентрата с увеличением содержания цинка в концентрат и снижением общие количества свинца на цинковом концентрате. Этот новизна работы доказано с снимками СЭМ в рисунке 4. которое явное выражение высокое пике интенсивности цинка совпадает с пиками серы, при этом в качестве основного примеся определена минералы железа и карбонатов натрия.

Таблица 1.

Элементный состав общей площади концентрата №2

Element	Line	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Name	Factory Standard
C	K series	0.63	0.00632	10.77	0.50	C Vit	Yes
O	K series	1.66	0.00559	3.61	0.14	SiO ₂	Yes
Na	K series	1.70	0.00717	4.37	0.33	Albite	Yes
Si	K series	0.23	0.00182	0.53	0.05	SiO ₂	Yes
S	K series	14.53	0.12514	25.53	0.23	FeS ₂	Yes
Fe	K series	0.44	0.00443	0.65	0.07	Fe	Yes
Zn	K series	33.64	0.33638	54.54	0.42	Zn	Yes
Total				100.00			



Рис.4. Элементный состав общей площади концентрата №2.

Результаты изучения ЭДС, приведённого в таблице 1 элементный состав общей площади концентрата №2, показывается высокое концентрирование цинка в виде минералов сфалерита с содержанием цинка 54,54%, в

качестве примесив, встречается в виде пирита, албита и кварца. Этот факт также, подтверждено с результатом химического анализа определением состава флотационного концентрата - результаты общей флотации цинкового передела, приведённое в таблице 2 которое содержание цинка составляло 55,89% отличается с результатом СЭМ тот же флотоконцентрата на 1,35%. Это утверждение приводит к выводу правильного сочетания выбрано исследователям реагентного режима увеличение расхода БКК и медного купароса.

После лабораторных исследований диссертантом разработано предлагаемое технологическое scheme и режимные параметры флотационного обогащения цинкового передела. В условиях обогатительной фабрики Хандизы вместе со специалистами обогатительной фабрики было проведено опытно-промышленное испытание на 87 т. руды. Исходный материал измерен на сухой вес, он является хвостом Cu-Pb флотации. Реагенты подготовлены по требованиям технологической инструкции на производство цинкового концентрата на обогатительной фабрике «Хандиза».

Таблица 2.

Результаты флотационного обогащения полиметаллических цинковых руд

Наим.	Вес, т	Выход, д. %	Содержание, %			Извлечение, %		
			Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
Результаты I Основная Zn-флотация								
Концентрат	3,13	3,6	0,92	3,00	54,27	10,58	11,64	70,46
Хвосты	83,96	96,4	0,23	0,81	9,00	21,93	25,92	96,18
Руда	87,09	100	0,31	1,05	13,99	32,51	37,56	166,64
Результаты II Основная Zn-флотация								
Концентрат	2,94	4,25	1,01	3,71	56,79	6,60	8,21	42,08
Хвосты	69,20	95,75	0,17	0,60	56,79	15,33	17,71	54,11
Руда	72,28	100	0,23	0,81	9,00	21,93	25,92	96,19
Результаты I Контрольная Zn-флотация								
Концентрат	0,65	0,9	0,86	3,33	56,88	1,98	2,60	14,88
Хвосты	71,63	99,1	0,16	0,52	4,05	13,35	15,10	39,22
Руда	72,28	100	0,17	0,60	5,44	15,33	17,70	54,10
Результаты II Контрольная Zn-флотация								
Концентрат	0,78	1,1	0,92	3,43	55,89	1,86	2,35	12,84
Хвосты	69,60	98,9	0,14	0,45	2,79	11,49	12,75	26,38
Руда	70,38	100	0,16	0,52	4,05	13,35	15,10	39,22
Результаты Zn I Перечистке								
Концентрат	0,23	3,1	1,58	3,05	61,20	0,73	0,48	3,22
Хвосты	7,10	96,9	0,94	3,33	53,53	7,92	9,51	53,61
Руда	7,33	100	0,97	3,32	53,93	8,65	9,99	56,83
Результаты Zn II Перечистке								
Концентрат	0,19	49,5	0,95	3,05	25,0	0,66	0,40	2,70
Хвосты	0,19	50,5	0,96	3,05	58,95	0,07	0,08	0,52
Руда	0,38	100	1,58	3,05	61,20	0,73	0,48	3,22
Концентрат I Основная Zn-флотация	9,44		0,92	3,00	54,27	10,58	11,64	70,46
Концентрат Zn II Перечистка	0,32		0,95	3,05	25,0	0,66	0,40	2,70
Объединённый Zn к-т			0,95	3,23	55,0	11,24	12,04	73,16

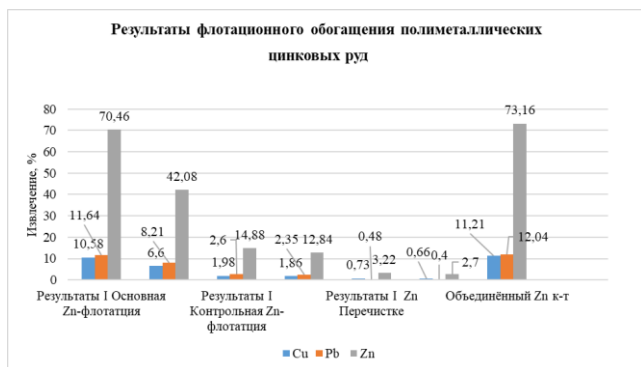


Рис.5. Результаты флотационного обогащения полиметаллических цинковых руд.

Из таблицы 2 можно судить, что суммарное содержание цинка в объединённый цинковом концентрате составило 55%, со сквозном извлечении 73,16%. Также содержание свинца в концентрате варьируется от 3 до 3,23%. Ниже исследовано ряд цинковых флотоконцентратов для оценки качества концентрата и для изучения минералогии для дальнейшего охарактеризован технологии переработке цинкового концентрата.

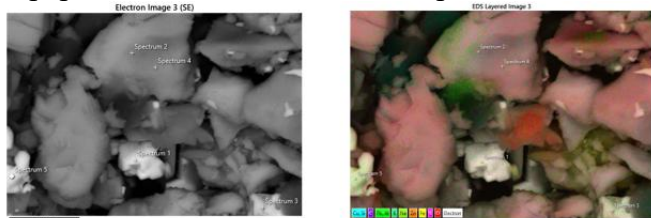


Рис.6. Снимки СЭМ поверхности флотоконцентрата, (концентрат №3*) 10000-кратном увеличении.

Для полноты исследования минералогии концентратов цинка увеличение разрешение СЭМ поднито до 10000 кратно размера, таким образом, создался возможность обсудить размеры частицы с 5 микронном.

Снимки Энергодисперсионного анализа хорошо видно структура всех элементов, встречающихся в концентрате №3, в основном элементом цинка, в качестве попутного полезного компонента меди и свинцом. Концентрат №3 представляет объединённый цинковой концентрат (смотрите в таблице 2).

Судя по рис.6. на поверхности цинковом концентрате №3 обследовано 5 спектров, из них высокое концентрирование цинка определялся в

3-спектре, обломки частицы с фиолетовом оттенками серы в точ попадаетс обломками цинка (смотрите верхние снимки ЭДС Рис.7.- изображение цинка и серы) которой характеризован минералам сфалерита.

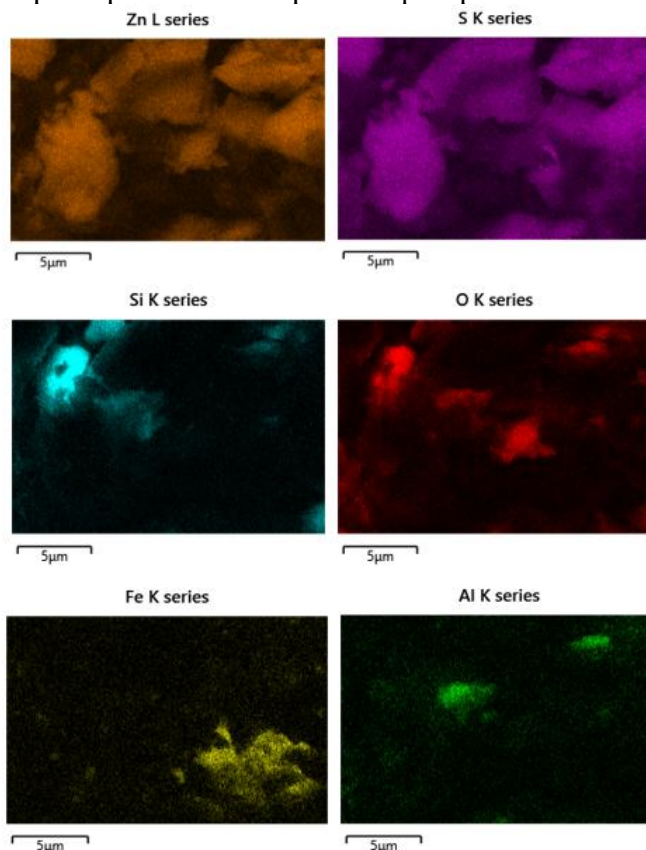


Рис.7. Снимки СЭМ - ЭДС поверхности флотоконцентрата, (концентрат №3*) 10000-кратном увеличении.

Жёлтым окрасков явное выделение показывается минералы железа в виде пирита, из анализа хорошо определена примеси кварци иглиназёма.

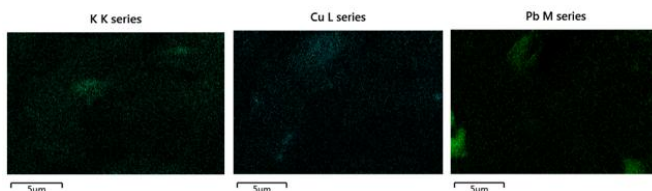


Рис.8. Снимки СЭМ - ЭДС поверхности флотоконцентрата, (концентрат №3*) 10000-кратном увеличении.

В спектре 1 обозначена цинковая поверхность пробы, имеющая высокую прочность меди 54,1% в изучаемой пробе

концентрата, связанной с серой (см.рис.9. и табл.3. элементный состав концентрата №3), которая указывает на минералы сульфида цинка, а в качестве примеси встречается сульфид железа. Здесь имеются отличия от остальных проб - в изучаемой пробе повышенное содержание свинца, которым колеблется до 5,6%, смотрите в диаграмме рис.9., цинк явно выделено с высокими пиками, отслеживание серы равняется минералами цинка, свинца и железой характерно показывается минералы сфалерита, галенита и пирита.

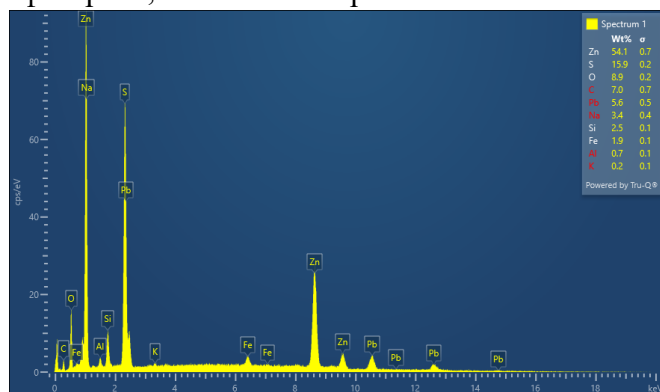


Рис.9. Диаграмма энергодисперсионного анализа поверхности флотоконцентрата, (концентрат №3*) 10000-кратном увеличении.

Таблица 3.

Элементный состав обеднённого флотоконцентрата (концентрат №3*)

Element	Signal Type	Line	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Name	Factory Standard
C	EDS	K series	0.24	0.00241	6.99	0.71	C Vit	Yes
O	EDS	K series	2.26	0.00761	8.85	0.25	SiO ₂	Yes
Na	EDS	K series	0.62	0.00260	3.35	0.38	Albite	Yes
Al	EDS	K series	0.12	0.00086	0.72	0.07	Al ₂ O ₃	Yes
Si	EDS	K series	0.51	0.00404	2.46	0.09	SiO ₂	Yes
S	EDS	K series	4.32	0.03724	15.88	0.25	FeS ₂	Yes
K	EDS	K series	0.07	0.00056	0.21	0.05	KBr	Yes
Fe	EDS	K series	0.62	0.00622	1.85	0.14	Fe	Yes
Zn	EDS	K series	16.54	0.16535	54.08	0.66	Zn	Yes
Pb	EDS	M series	1.41	0.01313	5.60	0.53	PbTe	Yes
Total					100.00			

Из рис.8. можно обсудить зелёное окрашен свинец с минералами галенита повышенном концентрации, чем обычного, это обуславливается с увеличением собирателя хорошо воздействовал на повешение количестве свинца на цинковом концентрате, но по

требованием цинкового концентрата количестве свинца должно быть более меньшем количестве.

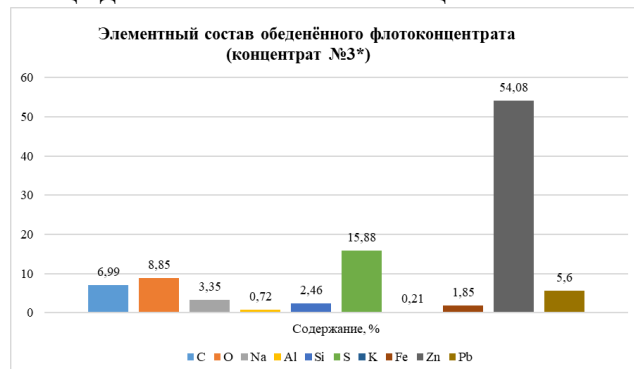


Рис.10. Элементный состав обеднённого флотоконцентрата (концентрат №3*).

Результаты химического и минералогического состава флотоконцентратов таблицы 2 и 3 по элементному составу обеднённого флотоконцентрата (концентрат №3*) определен содержание цинка 54,08% совпадает с окончательной флотоконцентратом цинкового передела. Из результатов таблицы 3 показывает свинец в цинковом концентрате находится вместе с теллуром, также глубокое исследование показали хороших концентрирование благородных металлов на фазе медного и цинковом концентрате, в частности золота и серебра с минералами пирита и теллуридов.

Технологические испытания. В условиях обогатительной фабрики «Хандиза» было проведено опытно-промышленное испытание на партии руды массой 87 т. Полученные результаты подтвердили лабораторные данные: концентрат характеризуется стабильным качеством и технологически допустимым содержанием примесей.

Заключение. Оптимизация реагентного режима флотации хвостов Cu-Pb передела позволила повысить извлечение цинка до 73,16 % при содержании 55 % Zn в концентрате.

Установлено, что повышение расхода БКК и CuSO₄ обеспечивает лучшую активацию сфалерита и способствует росту выхода цинкового концентрата.

Минералогический анализ подтвердил, что концентрат состоит преимущественно из сфалерита с примесями галенита и пирита.

Полученные результаты могут быть использованы при оптимизации схем обога-

щения на обогатительных фабриках АО | «АГМК».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Умарова, И. К. (2016). Технологические исследования на обогатимость полиметаллических проб руды месторождения Чинарсай. В Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности: Материалы 12-й международной конференции (с. 332–338). Тула–Минск–Донецк.
- [2] Umarova, I. K., Salijanova, G. Q., & Avinjanova, S. I. (2018). Study on the enrichment of polymetallic ores of the deposit Handiza. In Sustainable development of resource-saving technologies in mineral mining and processing (pp. 286–306). Universitas Publishing.
- [3] Ражабов, Ш. Х., Хасанов, А. С., & Хакимов, К. Ж. (2025). Совершенствование технологий обогащения полиметаллических руд месторождения Хандиза на основе изучения вещественного состава. Universum: технические науки, 2(131) (Ч. 2), 19–23.
- [4] Хакимов, К. Ж., & Ражабов, Ш. Х. (2025). Сырья характеристика и основных технологических материалов Хандизинского месторождения. Развитие науки и технологий, 4, 110–119.
- [5] Hakimov, K. J., & Rajabov, Sh. X. (2024). Rux metali, dunyo bo'yicha ishlab chiqarishdagi o'rni. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 1, 77–81.
- [6] Rajabov, Sh. X., Hakimov, K. J., Xolnazarov, F. A., & Abdisoatov, S. Z. (2025). Xondiza koni polimetall rudalaridan rux, mis va qo'rg'oshin metallarini ajratib olish texnologiyasini takomillashtirish. Kompozitsion materiallar, 2, 80–84.