

ФОРМИ НА ПРИСЪСТВИЕ НА SiO_2 В ПРОДУКТИТЕ ОТ ЦИНКОВА ФЛОТАЦИЯ В ОБОГАТИТЕЛНА ФАБРИКА "ЕРМА РЕКА", ЗЛАТОГРАД

Маргарита Василева, Ирена Григорова, Иван Нишков

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; marvas@mgu.bg; iniskov@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Проведени са зърнометрични и химични анализи и минераложки изследвания на продукти от цикъла на цинкова флотация. Извършените изследвания показват наличието на голямо количество срастъци на кварц със сулфиди, в едрите фракции на концентратите и сравнително ниската ефективност на използвания реагент депресор за кварц. Установено е, че кварцът присъства предимно в свободна форма (> 60 - 80%) във фините фракции на изследваните продукти. Неговото количествено съдържание може да бъде значително намалено, с използването на подходящи реагенти – депресори, с оглед получаването на концентрати с необходимите показатели.

FORMS OF SiO_2 PRESENCE IN THE PRODUCTS OF ZINC FLOTATION IN THE "ERMA REKA" DRESSING PLANT, ZLATOGRAD

Margarita Vassileva, Irena Grigорова, Ivan Nishkov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; marvas@mgu.bg; iniskov@gmail.com

ABSTRACT. Granulometric, chemical and mineralogical analyses of the products of zinc flotation has been performed. The presence of significant amount of intergrowths of quartz with sulphides in the coarse fractions of the concentrates and relatively low efficiency of the reagent depressant used has been demonstrated. It has been established that quartz is present mainly as free particles (>60-80%) in the fine fractions of the studied products. Its content could be significantly reduced by using appropriate reagent depressant with the aim to obtain concentrates with desired properties.

Въведение

В обогатителната фабрика „Ерма река,“ Родопи Еко Проджектс ООД, г. Златоград, се преработват руди от оловно-цинковите находища в Централните Родопи, разположени в южната част на Маданското рудно поле, наричана от някои изследователи Ерморечие (Гаджева, 1978; Гаджева, 1983; Кръстева, Гаджева, 1986; Манев, Игнатовски, 1981).

Оловно-цинковите находища са локализиращи сред метаморфитите от Арденската единица (група) и Маданския алохтон – мигматизирани гнайси, анатектити, гнайси, амфиболити, мрамори и др. (Kolkovski and Dobrev, 2000; Кольковски, Добрев, 2007). Орудяванията са представени от два структурно-морфоложки типа – жилни, привързани към разломни структури и хидротермално-метасоматични залежи с лещовидна или неправилна морфология сред мраморите. Разграничени са следните минерални парагенези: кварц-пиритова, полиметална и кварц-карбонатна – в жилните рудни тела и скарнова, железзоокисна, полиметална и кварц-карбонатна – в метасоматичните рудни тела (Гаджева, 1978; Гаджева, 1983; Кръстева, Гаджева, 1986). Счита се, че по минерален състав и геохимични особености, находищата в Ермореченския участък се различават в известна степен от останалите находища в Маданското рудно поле

(Кольковски, Манев, 1988; Kolkovski and Dobrev, 2000). Основните рудни и нерудни минерали са представени предимно от сулфиди – галенит, сфалерит, пирит, халкопирит и др., а нерудните – от кварц, карбонати, пироксенови скарни (в метасоматичните рудни тела).

При преработването на оловно-цинкови руди в ОФ"Ерма река" се получават следните продукти: оловен концентрат, цинков концентрат, пиритен концентрат и окончателен отпадък. Оловният и цинковият концентрат се изпращат за последваща преработка в металургичните комбинати, а пиритният концентрат и отпадъка се обединяват като окончателен технологичен отпадък, който се складира в отпадъкохранилището. Повишените съдържания на SiO_2 в цинковия концентрат влошават качеството му и създават технологични проблеми при металургичното извличане на цинка.

В настоящата работа се привеждат резултатите от проведените изследвания на продуктите в цикъла на цинковата флотация, с цел установяване и отстраняване на причините за повишените съдържания на SiO_2 в цинковия концентрат, с оглед получаването на концентрати с необходимите качествени показатели.

Материал и методика

В ОФ "Ерма река" флотацията на оловно-цинковите руди се осъществява по колективно-селективна схема, съставена от две основни и две контролни флотации, с четири пречистни операции за оловен цикъл и две основни, две контролни флотации за цинков цикъл. Разделителната флотация включва две контролни, две основни и три пречистни операции (Вълканов и др., 2008). Проведен е мониторинг на продуктите в цикъла на цинкова флотация, включващ периодично опробване, взимане на средна проба, зърнометрични и химични анализи и минераграфски изследвания на средните проби. Периодичното опробване е извършвано в продължение на 2 месеца, като са опробвани 5 броя продукти – оловен стерил, колективен цинково-пиритен концентрат, технологичен цинков концентрат, пиритен концентрат и окончателен отпадък. Зърнометричният мокър анализ е извършен с размер на ситата 0.071 и 0.16 mm. От средната проба на всеки продукт са отделяни 3 класи: - + 0.16 mm, - 0.16 + 0.071 mm и - 0.071 mm. Извършени са химични изследвания за определяне съдържанията на Zn, Pb, Fe, SiO₂ в трите класи на изучаваните продукти. Съдържанията на Zn, Pb и Fe са определяни с помощта на рентгенофлуорисцентен анализ в химичната лаборатория на ОФ "Ерма река", Златоград, а тези на SiO₂ - с AES-ICP анализ, в ЦНИЛ "Геохимия", МГУ "Св. Иван Рилски", София.

Изготвени са 18 броя споени в епоксидна смола полирани препарати-брикети на материал от колективен цинково-пиритен концентрат, технологичен цинков концентрат и пиритен концентрат, съответно класи - + 0.16 mm, - 0.16 + 0.071 mm и - 0.071 mm. Проведени са микроскопски изследвания за определяне минералния състав и формите на присъствие на SiO₂ в изучаваните концентрати. Рудната микроскопия е извършена с помощта на поляризационни микроскопи ПОЛАМ Р-311 и NU-2. Поради ограничения обем на настоящата работа, в текста не са включени данните от изследванията на пиритния концентрат.

Резултати и дискусия

Зърнометрични и химични анализи

Осреднените резултати от проведените зърнометрични и химични анализи на колективен цинково-пиритен концентрат и технологичен цинков концентрат са представени в таблица 1. Данните от извършените химични анализи показват, че присъстващият в рудата кварц почти напълно преминава в оловния стерил. В отпадъка от оловната флотация (оловен стерил) се установява наличие на 56.09 % SiO₂. В колективния цинково-пиритен концентрат съдържанието на SiO₂ е многократно по-ниско и достига до 7.4 % (табл. 1), което показва, че първите две операции в цикъла на цинковата флотация са ефективни, по отношение отстраняването на кварца. Недостатъчно ефективни, с оглед отстраняването на кварца, са следващите пет операции в цикъла на цинковата флотация. Съдържанието на SiO₂ е високо в цинково-пиритния и цинков концентрат, особено в по-едриите класи: + 0.16 mm и - 0.16 + 0.071 mm и достига

стойности съответно 10.5%, 6.89% и 8.86%, 5.73% (табл. 1). Може да се счита, че пречистните операции са ефективни за фините фракции (- 0.071 mm) на същите концентрати, в които съдържанието на SiO₂ намалява значително до 5.79% и 2.08%.

Микроскопски изследвания

а) Колективен цинково-пиритен концентрат

Основните рудни минерали в препарата, изготвен от фракция + 0.16 mm (обр. 9), са представени от пирит (~ 45-46%) и сфалерит (~ 40-41%). В незначително количество се срещат галенит (~ 1%) и халкопирит (~ 1%). Главният неруден минерал е кварцът (~ 10%). В препарата присъстват и други нерудни минерали – церусит, калцит, пироксенови скарни?, хемиморфит? и др. (~ 1%). Пиритът се наблюдава под формата на свободни частици и срастъци със сфалерит и кварц. В някои от пиритовите фрагменти се установяват фини включения от сфалерит, галенит, кварц или други нерудни минерали. Сфалеритът е под формата на свободни частици и срастъци предимно с кварц (фиг. 1 а), по-рядко с други нерудни минерали и сулфиди. Халкопиритът присъства главно във вид на фини и емулсионни включения в сфалерит (фиг. 1 б). Кварцът се наблюдава преимуществено под формата на срастъци със сфалерит (60-62%), срастъци с пирит и галенит (~ 12%) и във вид на свободни частици (25-26%). Кварц-сфалеритовите агрегати най-често имат неправилна морфология и големина от 120 до 300-350 μm. Срещат се агрегати и с по-големи размери от порядъка на 400-600 μm, съставени от кварц-сфалерит-пирит или кварц-сфалерит-галенит-пирит. По-рядко се установяват отделни сфалеритови индивиди, силно кородирани от финозърнести кварцови агрегати (фиг. 1 б). Наблюдаван е единичен срастък на кварц със сфалерит и пиритин. Свободният кварц образува ъгловати, удължени или с неправилна морфология индивиди, с големина до около 400 μm.

Основните рудни минерали в препарат от фракция - 0.16 + 0.071 mm (обр. 10), са представени от сфалерит (~ 50-51%) и пирит (~ 39-40%). В незначително количество се срещат халкопирит (< 1%) и галенит (< 1%). Главен неруден минерал е кварцът (~ 7%). В препарата се наблюдават и други нерудни минерали – карбонати, пироксенови скарни?, хемиморфит? и др. (~ 1%). Сфалеритът образува ъгловати, удължени или с неправилна морфология свободни частици, срастъци с кварц и много по-рядко – срастъци с пирит, галенит, карбонати. Около 9-10 % от сфалеритовите частици съдържат фини и емулсионни включения от халкопирит. Пиритът се среща предимно в свободна форма. Наблюдавани са единични зърна от галенит, кородирани по периферията от церусит. Кварцът е главният неруден минерал (~ 7%). Преобладаващата част от кварца (~ 70-72%) е под формата на срастъци със сфалерит и по-рядко във вид на срастъци с пирит и галенит (< 2 - 3%). Около 24-25% от кварца присъства в свободна форма. Минералът образува отделни ъгловати фрагменти, ксеноморфни или хипидиоморфни зърна, с големина най-често под 200 μm (фиг. 1 в).

Таблица 1.

Зърнометрични и химични анализи на колективен цинково-пиритен концентрат и технологичен цинков концентрат

Колективен цинково-пиритен концентрат						
Обр. №	Продукт (mm)	Добив (%)	SiO ₂ (%)	Zn (%)	Pb (%)	Fe (%)
9	+0.16	26.79	10.50	25.12	1.32	21.33
10	-0.16+0.071	31.97	6.89	28.39	0.79	21.09
11	-0.071	41.24	5.79	36.80	1.74	15.09
	Всичко	100	7.40	30.98	1.32	18.67
Технологичен цинков концентрат						
18	+0.16	24.02	8.86	43.39	1.43	9.57
19	-0.16+0.071	28.84	5.73	49.83	1.28	7.20
20	-0.071	47.14	2.08	55.68	2.41	5.24
	Всичко	100	4.76	51.04	1.84	6.84

Основните рудни минерали в препарат от фракция - 0.071 mm (обр. 11), са сфалерит (~ 60%) и пирит (~ 30%). В незначително количество присъстват галенит (~ 1%) и халкопирит (~ 1%). Кварцът е главният неруден минерал (5 - 6%). Установява се наличие на церусит, калцит или доломит, хемиморфит? и др., в количество до около 1%. Сфалеритът е представен предимно от свободни частици, някои от които съдържат фини и емулсионни включения от халкопирит. По-рядко се срещат срастъци на минерала с кварц, пирит, галенит и др. Пиритът образува ъгловати фрагменти, а на места и идиоморфни кристали. В някои частици се наблюдават включения от сфалерит или кварц. Галенитът асоциира тясно със сфалерит. Образува овални включения в сфалерит или е развит по периферията на сфалеритови индивиди. Кварцът е главният неруден минерал (5-6%). Основната част от кварца е във вид на свободни, самостоятелни зърна (80-82%), а по-малка част присъства под формата на срастъци със сфалерит (18-20%). (фиг. 1 г). Кварцовите зърна са фини, с преобладаващи размери под 30-50 µm (64%), с големина на зърната от порядъка на 50-70 µm (около 34%) и с големина около и над 100 µm (2%). Кварц-сфалеритовите срастъци съставляват около 18-20% от общия кварц. Преобладаващите им размери са до 50-70 µm. Наблюдавани са и единични кварц-пиритови срастъци.

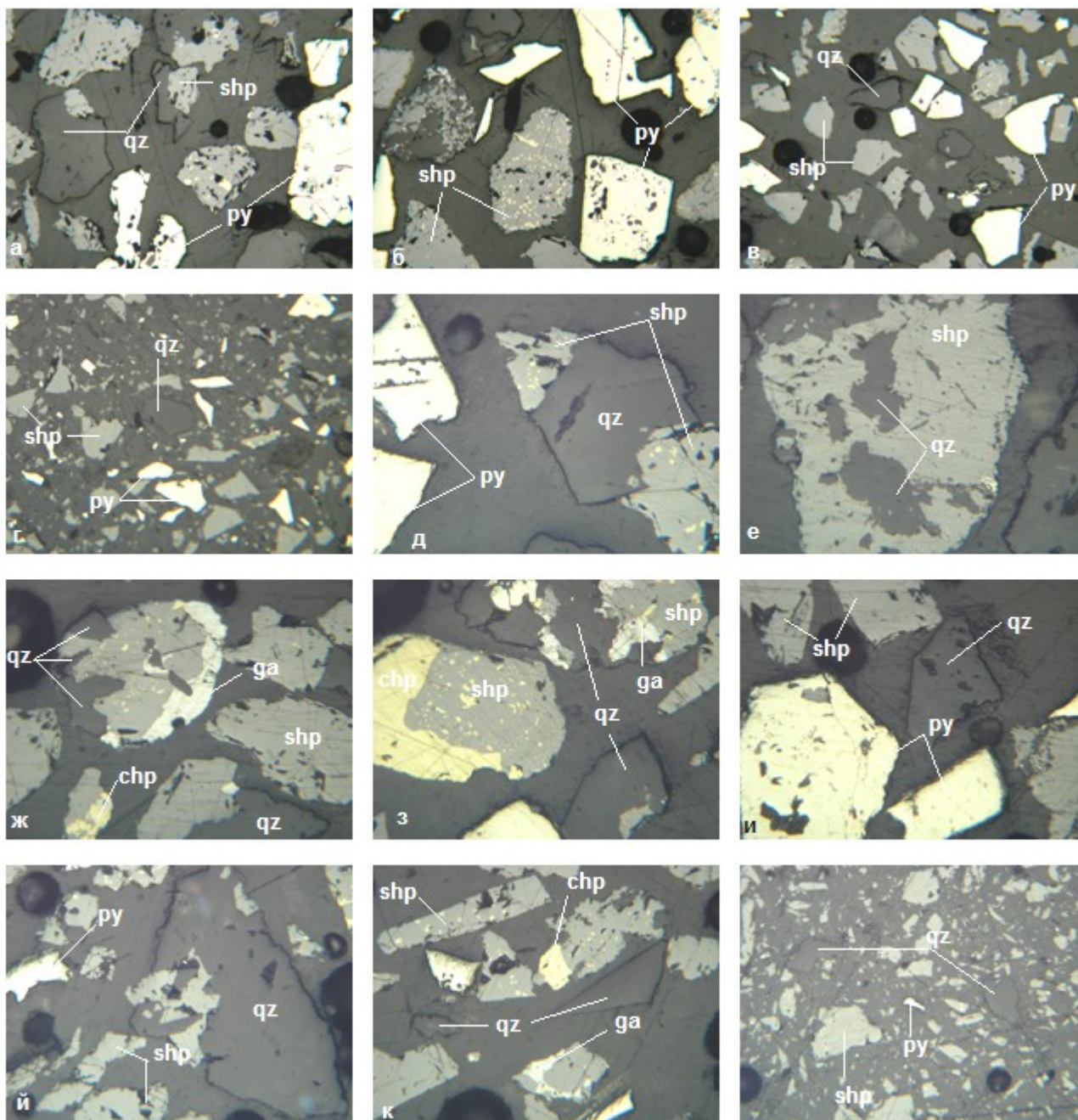
б) Технологичен цинков концентрат

Главните рудни минерали в препарат от фракция + 0.16 mm (обр. 18), са представени от сфалерит (~ 70-78%) и пирит (> 10-12%). В незначително количество присъстват галенит (~ 1%) и халкопирит (~ 1%). Кварцът е главният неруден минерал (~ 8%). Установява се и наличие на церусит, калцит или доломит, пироксенови скарни?, хемиморфит? и др. – до 1-2%. Сфалеритът образува свободни частици и срастъци, предимно с кварц (фиг. 1 д, е), по-рядко с други нерудни минерали или сулфиди – галенит, пирит, халкопирит (фиг. 1 ж, з). В част от сфалеритовите фрагменти се наблюдават емулсионни и фини включения от халкопирит, с големина до около 20 µm. Пиритът се наблюдава предимно под формата на свободни частици (фиг. 1 и), като на места се срещат и срастъци със сфалерит и кварц. В някои пиритови индивиди се наблюдават зонално разположени включения от нерудни минерали, вероятно маркиращи зони на растеж. Галенитът асоциира тясно със сфалерит и

обикновено е развит по периферията на сфалеритови индивиди. Наблюдавани са единични галенит-сфалеритови агрегати. Кварцът е главният неруден минерал (~ 8%). Около 75-80% от общия кварц присъства под формата на срастъци със сфалерит, по-рядко с галенит и пирит (фиг. 1 д, е, ж, з). Кварц-сфалеритовите агрегати са с големина до 350-400 µm, като се срещат и единични агрегати с по-големи размери, достигащи до около 750 µm. По-слабо застъпени са кварц-пиритовите и кварц-галенитови срастъци, с големина до 300-400 µm. Около 20-25% от общия кварц е във вид на свободни частици (Фиг. 1 и). Минералът образува хипидиоморфни до ксеноморфни индивиди или ъгловати фрагменти.

Основните рудни минерали в препарат от фракция - 0.16 + 0.071 mm (обр. 19), са представени от сфалерит (~ 80-85%) и пирит (> 5-6%). В незначително количество присъстват халкопирит (1-1.5%) и галенит (~1%). Главният неруден минерал е кварц (> 4 - 5%). Установява се наличие на карбонати, пироксенови скарни? и др. нерудни минерали – около 1-2%. Сфалеритът е предимно под формата на свободни частици, на места с фини и емулсионни включения от халкопирит.

Срещат се и срастъци на минерала с кварц (фиг. 1 й), по-рядко със сулфиди – галенит, халкопирит, пирит (фиг. 1 к). Пиритът присъства предимно във вид на свободни частици – удължени, ъгловати, неправилни фрагменти, хипидиоморфни до идиоморфни зърна, с преобладаващи размери до около 150 µm (фиг. 1 й). Минералът е еднороден или с фини включения от сфалерит или кварц. Основната част от халкопирита е представена от фини и емулсионни включения в сфалерит. Наблюдавани са единични халкопиритови индивиди с включения от пирит и срастъци със сфалерит, галенит и кварц. Галенитът образува единични зърна, в някои случаи с тънък кант от церусит. Най-често е развит по периферията на сфалеритови индивиди (фиг. 1к) или е във вид на включения в основна маса от сфалерит. Кварцът е главният неруден минерал (> 4-5%). Преобладаващата част от общия кварц (до около 60%) присъства под формата на срастъци със сфалерит (фиг. 1 й).



Фиг. 1. Микроскопски фотографии на препарати от колективен цинково-пиритен концентрат и технологичен цинков концентрат. Отражена светлина, успоредни николи (N II), размер на видното поле: а, б, в) - 1.04 mm, г - л) - 0.53 mm.

а) Срастъци на кварц със сфалерит – в горната и в лявата част на кадъра. Около тях – фрагменти от сфалерит и пирит, Обр. № 9; б) Сфалерит, силно кородиран от финозърнести кварцови агрегати – в лявата част на кадъра. Вдясно – сфалерит с фини и емулсионни включения от халкопирит, пирит със зонално разположени включения от кварц и други нерудни минерали, Обр. № 9; в) Две свободни зърна от кварц – в горната половина на кадъра. Около тях – фрагменти и идиоморфни индивиди пирит и частици от сфалерит, Обр. № 10; г) Ксеноморфно зърно от кварц – в централната част на кадъра. Около него – фрагменти от сфалерит и пирит, Обр. № 11; д) Срастък на кварц със сфалерит. Вляво – фрагменти от пирит, Обр. № 18; е) Сфалерит с включения от кварцови агрегати. Вдясно – фрагмент от кварцово зърно, Обр. № 18; ж) Сфалерит-галенитов агрегат, кородиран от кварц. В долната половина на кадъра – вляво – срастък на сфалерит с халкопирит, вдясно – срастък на сфалерит с кварц, Обр. № 18; з) Срастък на кварц със сфалерит, галенит и халкопирит – в горния десен ъгъл. Вляво – агрегат от халкопирит и сфалерит с емулсионни включения от халкопирит. Кварцов индивид с включения от сфалерит – в долния десен ъгъл, Обр. № 18; и) Свободно зърно от кварц – в централната част на кадъра. В горния ляв ъгъл – фрагменти от сфалерит. В долния ляв ъгъл – пирит с ксеноморфни включения от кварц и сулфиди. Вдясно – сфалерит с финозърнести кварцови агрегати, Обр. № 18; й) Срастък на кварц с триъгълни очертания със сфалерит. Вляво – единична пиритова частица и фрагменти от сфалерит, Обр. № 19; к) Ксеноморфно кварцово зърно – вляво и кварцов фрагмент с триъгълни очертания – вдясно. В горния десен ъгъл – срастък на сфалерит с халкопирит. В долната част на кадъра – срастък на сфалерит с галенит, Обр. № 19; л) Ксеноморфни зърна от кварц. Около тях – фрагменти от сфалерит и единична частица пирит, Обр. № 20. sph – сфалерит; py – пирит; chp – халкопирит; ga – галенит; qz – кварц.

Таблица 2.

Съдържания на свободен кварц, кварц под формата на срастъци, сфалерит и пирит в колективен цинково-пиритен концентрат и технологичен цинков концентрат

Колективен цинково-пиритен концентрат								
Обр. №	Продукт mm	Добив %	Кварц (общ) %	Свободен кварц %	Кварц в срастъци %	Съотношение свободен кварц: срастъци	Сфалерит %	Пирит %
9	+0.16	26.79	10	25	75	1 : 3	40-41	45-46
10	0.16+0.071	31.97	7	25	75	1 : 3	50-51	39-40
11	-0.071	41.24	5-6	80-82	18-20	(4÷4.5) : 1	~ 60	~ 30
	Всичко	100	7.2	48.1	51.9	1 : 0.93	-	-
Технологичен цинков концентрат								
18	+ 0.16	24.02	> 8	20-25	75-80	1 : (3÷4)	70-78	> 10-12
19	0.16+0.071	28.84	> 4-5	40	60	1 : 1.5	80 - 85	> 5-6
20	-0.071	47.14	2	60	40	1.5 : 1	90 - 94	> 1-2
	Всичко	100	4.2	45.2	54.2	1 : 0.84	-	-

Големината на кварц-сфалеритовите агрегати достига до 200 μm , в някои случаи и до около 300 μm . Обикновено в тези агрегати сфалеритът е застъпен в подчинено количество. Свободният кварц съставлява около 40% от общия кварц. Образува ъгловати, удължени, триъгълни или изометрични фрагменти с големина до 100-150 μm , на места над 200 μm (фиг. 1 к).

Сфалеритът е основният руден минерал в препарат от фракция - 0.071 mm (обр. 20), със съдържание около 90-94%. В незначително количество се установяват пирит (> 1 - 2%), галенит и халкопирит (до около 1%). Нерудните минерали са представени главно от кварц (~ 2%), церусит, пироксенови скарни? и др. (~ 1%). Сфалеритът се наблюдава предимно под формата на свободни частици, с големина на зърната от няколко μm до около 70-80 μm . В една част (над 5%) от сфалеритовите фрагменти се установяват емулсионни и фини халкопиритови включения, с големина до 10-20 μm . Пиритът се наблюдава главно във вид на свободни частици. На места се срещат срастъци пирит-сфалерит. Наблюдавани са единични свободни зърна от галенит, в някои случаи с тънък кант от церусит, както и единични срастъци галенит-сфалерит. Кварцът е главният неруден минерал. Представен е под формата на свободни частици (> 60%) и срастъци със сфалерит (~ 40%). Свободният кварц образува ъгловати, удължени или с неправилна морфология индивиди (фиг. 1 л), с големина на зърната под 50 μm (~ 49%), с големина на зърната 50-70 μm (~ 49%) и с размери около и над 100 μm (6%) Кварц-сфалеритовите срастъци са с преобладаваща големина 50-70 μm (69%), като се срещат и агрегати с размери около и над 100 μm (6%). В единични сфалеритови фрагменти се наблюдават финозърнести кварцови агрегати с микронни размери. Установени са и единични тройни срастъци сфалерит-галенит-кварц и сфалерит-кварц-неруден минерал. Освен кварц, в препарата са наблюдавани и други нерудни минерали, най-вероятно карбонати и пироксенови скарни?, присъстващи в свободна форма или във вид на срастъци със сфалерит или кварц.

Резултатите от проведените микроскопски изследвания на полирани препарати-брикети, изготвени от материал от колективен цинково-пиритен концентрат и технологичен цинков концентрат са систематизирани и представени в Табл. 2.

Установява се, че основната форма на присъствие на кварца в едрите фракции на цинково-пиритния и цинков концентрат е под формата на срастъци със сулфиди - съответно около 75% и 75-80 до 60%. При фините фракции (- 0.071 mm) на същите концентрати, се наблюдава рязко нарастване на свободния кварц – съответно до 80-82% и 60% и намаляване общото съдържание на SiO_2 над 2 пъти – от 5-6% до 2%. Получените данни показват, че в цикъла на цинковата флотация процесът е ефективен за фините фракции и недостатъчно ефективен за едрите фракции на концентратите, в които кварцът е в недостатъчна степен разкрит.

Резултатите от проведените изследвания върху формите на присъствие на SiO_2 в продукти от цинковата флотация на руди в ОФ"Ерма река", Златоград, показват наличието на голямо количество срастъци на кварц със сулфиди в едрите фракции на концентратите и сравнително ниската ефективност на използвания реагент депресор за кварц. Във фините фракции на концентратите кварцът присъства предимно в свободна форма. Получените данни дават възможност за търсенето на ефективни технологични решения за редуциране съдържанието на силициев диоксид и производството на качествени цинкови концентрати с необходимите показатели.

Литература

Вълканов, Н., Р. Бодурова, М. Дамянов, И. Григорова, И. Нишков. 2008. Охарактеризиране на продуктите и процесите в цикъла на цинкова флотация в ОФ"Ерма река", Златоград. – *Национална научно-техническа конференция "Съвременни технологии и практики при подземно разработване на полезните*

- изкопаеми”, Девин, 26-29.05.2008 г., Сб. доклади, 203-207.
- Гаджева, Т. 1978. Скарново-полиметално орудяване в метаморфити от Ерморечието. – *Рудообр. проц. и минер. наход.*, 8, 3-12.
- Гаджева, Т. 1983. Геохимични и генетични данни за орудяванията в Ерморечието. – *Рудообр. процеси и минер. наход.*, 18, 65-78.
- Кольковски, Б., Д. Манев. 1988. Маданско рудно поле. – В: *Оловно-цинковите находища в България*, С., ДИ”Техника”, 37-64.
- Кольковски, Б., С. Добрев. 2007. *Металогения на оловото и цинка*. С., Унив. изд. ”Св. Кл. Охридски”, 318 с.
- Кръстева, М., Т. Гаджева. 1986. Газово-течни включения в кварца, сфалерита, флуорита и карбоната от находищата в Ермореченския участък на Маданския руден район. – *Геохим., минерал. и петрология*, 22, 54-68.
- Манев, Д., П. Игнатовски. 1981. Структура на Ермореченския участък на Маданското рудно поле. – *Рудообр. процеси и минер. наход.*, 14-15, 76-88.
- Kolkovski, B., S. Dobrev. 2000. Ore mineralization in the Central Rhodopes. – In: *Structure, Alpine Evolution, and Mineralizations of the Central Rhodopes Area (South Bulgaria)*. ABCD-GEODE 2000 Workshop, guidebook to exc. B, Z. Ivanov (Ed.), Univ. Mining Geol., Sofia, 18-36.

Препоръчана за публикуване от
Катедра ”Обогатяване и рециклиране на суровини”, МТФ