



**МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ”,
СОФИЯ
ГЕОЛОГОПРОУЧВАТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА ГЕОЛОГИЯ И ПРОУЧВАНЕ НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ**

маг. инж. Даниела Иванова Николова

**МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НА НАХОДИЩЕ
„МИЛИН КАМЪК“, ЗАПАДНО СРЕДНОГОРИЕ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд за присъждане на
образователна и научна степен **"ДОКТОР"**

Научна област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.8. Проучване, добив и преработка на полезни
изкопаеми, Геология и проучване на полезни изкопаеми

Докторска програма:
(наименование на докторската програма)

Научен(и) ръководител(и) / консултант(и):

- 1. проф. д-р Стр. Страшимиров † (2022)**
- 2. доц. д-р К. Русков**

СОФИЯ, 2025 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Разширен катедрен съвет на катедра „.....“ къмфакултет на МГУ „Св. Иван Рилски“, София, на дд.мм.тггг т., съгласно Ректорска заповед № Р-..... от г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои пред Научно жури, утвърдено със заповед № Р- от т. на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ и ще се проведе на дд. мм. гггг г. от часа в зала..... нафакултет, МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, Ректорат, ет. 3, стая № 79, тел. 02/ 80 60 209..

Утвърденото Научно жури е в състав:

1. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия – председател
2. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен/вътрешен;
3. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен/вътрешен;
4. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен/вътрешен;
5. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен/вътрешен;

Резервни членове:

2. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен;
3. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, вътрешен;

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия
2. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Геология и проучване на полезните изкопаеми“ на Геологопроучвателен факултет.

Изследванията по дисертационната работа са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от Научноизследователски сектор на МГУ „Св. Иван Рилски“ по договор № ГПФ-236/09.05.2022 г.

Автор: маг. инж. Даниела Николова

Заглавие: Минералогия и геохимична характеристика на находище „Милин камък“, Западно Средногорие

Тираж: броя

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Съдържание

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	4
СТРУКТУРА И ОБЕМ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	4
ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ В ДИСЕРТАЦИЯТА:.....	4
УВОД.....	5
ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	5
I. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ И ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ГЕОЛОГИЯТА НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“	6
III. ГЕОЛОЖКО ПОЛОЖЕНИЕ И ИЗУЧЕНОСТ НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“	6
III.1. ЛИТОЛОГО – СТРАТИГРАФСКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК ”	6
III.2.ТЕКТОНСКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“	7
III.3. ХИДРОТЕРМАЛНИ ИЗМЕНЕНИЯ НА СКАЛИТЕ В НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК”	8
III.4.МОРФОЛОГИЯ НА ТИПОВЕТЕ РУДНИ ТЕЛА В НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК”	9
III.5. МИНЕРАЛЕН СЪСТАВ В НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК”	9
IV. МЕТОДИКА НА ИЗВЪРШЕНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ.....	10
V. МИНЕРАЛОЖКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ	11
VI. СТАТИСТИЧЕСКА ОБРАБОТКА НА ГЕОХИМИЧНИ ДАННИ ОТ ДЕТАЙЛНОТО ПРОУЧВАНЕ	22
VI.1. ЕДНОМЕРЕН СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ.....	22
VI.2. КЛЪСТЕР АНАЛИЗ	30
VI.3. ФАКТОРЕН АНАЛИЗ	31
VIII. ГЕНЕТИЧЕН МОДЕЛ НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“	51
ПРИНОСИ НА АВТОРА	59
БЛАГОДАРНОСТИ	59
SUMMARY	60

Публикации по дисертационния труд

Nikolova, D., S. Dobrev, K. Ruskov. (2019). Mineralization in Ore Zone 1, Milin Kamak deposit, Western Srednogie, Bulgaria. – Journal of the University of Mining and Geological Sciences, 62, 1, 11–16.

Marinov, I., K. Popov, K. Ruskov, D. Nikolova. (2019). Factor analysis of the geochemical associations in Milin Kamak ore deposit, Bulgaria. – Rev. Bulg. Geol. Soc., 80, 3, 142-144.

Nikolova, D. (2022). Mineral associations in the geochemical halos of Milin Kamak ore deposit, Bulgaria. - Rev. Bulg. Geol. Soc., 83, 3, 31-34.

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 3 публикации, от които 1 е в Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“ (62, 2019) и 2 в списание БГД (год. 80, кн. 3, 2019 и год. 83, кн. 3, 2022)

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 177 страници, като включва увод, 8 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 132 литературни източници, като 38 са на латиница и 94 на кирилица. Работата включва общо 120 фигури и 17 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

Използвани съкращения в дисертацията:

Py - пирит	Sel - селигманит	SE - серицитизация
Mrc - марказит	Burn - бурнонит	SI - силификация
Pir- пиротин	Rob - робинсонит	KFsp - калиева
Apy - арсенопирит	Yord - йорданит	фелдшпатизация
Ga - галенит	Gra - гратонит	HM - хематитизация
Sp - сфалерит	Au - самородно злато	AR - аргилизация
Cpy - халкопирит	Ba - барит	ABX - андезитбазалтова
Tn - тенантит	Hm - хематит	брекча
Tetr - тетраедит	VN - жила	DYK - андезитпорфирна
En - енаргит	CLS - класти	дайка
Bor - борнит	MTX - матрикс	SOX - окисление
Cov - ковелин	FA - разлом	

Увод

Темата на настоящия дисертационен труд е свързана с изясняване на минералния състав и геохимична характеристика на злато-полиметалното находище „Милин камък“. То се намира в местността Бърдото, непосредствено над град Брезник. Част е от Брезнишкото рудно поле, като попада в пределите на Западното Средногорие и е фрагмент от Апусени-Банат-Тимок Средногорската металогенна зона. Образоването му е свързано с Брезнишкия вулкански център, който е част от третия и последен магматичен импулс по време на горнокредния магматизъм. Скалите са андезитбазалтови дайки и брекчи. Рудните тела са жилни и са локализиранни в разломни структури. Всички находища в района са епитермални, средно до нискотемпературни и се характеризират със слаба изученост.

В последното десетилетие към орудяванията в района на Западното Средногорие се наблюдава повишен интерес от страна на много български и чуждестранни проучвателни фирми. Те са обект на научен интерес и задълбочена изследователска работа. Развитието на представите за генезиса им поражда предизвикателството за търсенето на епитермални находища, като перспективен източник на злато, сребро и други полезни изкопаеми. Тези факти правят особено актуално провеждането на съвременни геоложки, минераложки и геохимични изследвания за изясняване на неговите генетични особености и оценка на минералните парагенези. Подобни изследвания могат съществено да подпомогнат геолого-проучвателните дейности и биха били от съществена полза при технологичните изследвания за обогатяване на рудите при бъдещата експлоатация на находището.

Цел и задачи на дисертационния труд

Основна цел на настоящето изследване е извеждане на нови данни получени по време на детайлното проучване от 2016-2019 г. Това ще спомогне за изясняване на минералния състав в находището, последователността на минералообразуване и пространственото групиране на елементи въз основа на получените нови геохимични данни.

За постигането ѝ са поставени следните задачи за изпълнение:

- Да се изведат нови данни за рудната минерализация получени по време на геолого-проучвателното сондиране в находище „Милин камък“ в периода 2016-2019 г. включващи:
 - o Определяне състава на рудната минерализация – минерален състав, химизъм, съдържание на елементи примеси;
 - o Определяне на текстури и структури на рудите;
- Проследяване на взаимоотношенията между различните рудни минерали;
- Да се характеризира формата на присъствие на полезните и икономически значими химични елементи в рудната минерализация;

- Да се открият закономерности в разпространението и корелации между химичните елементи в цялото находище посредством прилагане на математически методи;
- Да се изведе пространственото разпространение на изведените геохимични асоциации от елементи и да се обясни тяхната връзка с минераложките изследвания;
- Да се проследи последователността на рудообразователните процеси в находището;
- Да бъде изготвен схематичен генетичен модел на находище „Милин камък“ въз основа на всички получени данни.

За достигане на описаните цели и задачи са подбрани съвременни методи на изследване, които включват:

- детайлни оптически изследвания на рудната минерализация;
- характеристика на разпределението на главните елементи и елементи следи, както и взаимовръзките между тях, и пространственото им разпределение посредством статистически методи;
- изследване на състав на рудните минерали чрез Сканиращ електронен микроскоп (SEM) с EDX анализатор;

Получените нови данни ще допълнят информацията за рудната минерализация на находище „Милин камък“ и ще поставят основи за изясняването на пространственото разпространение на геохимичните асоциации, което е от ключово значение за изясняване разбирането на рудообразователните процеси в находището. Тези данни биха дали добра насока в процеса, както на бъдещата експлоатация на находището, така и в провеждащи се паралелно с това проучвателни дейности. Информацията от направените изследвания би могла да бъде от съществена полза и при технологичките изследвания за обогатяване на рудата и избора на схема за флотация.

I. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ И ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ГЕОЛОГИЯТА НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“

Находище „Милин камък“ се намира в района на град Брезник. Локализирано е в Завалска планина във височината Бърдото. То е част от Брезнишката структурно-вулканогенна зона. Тя е изтеглена в северозападна посока. Територията на рудния район обхваща южната ивица на Западното Средногорие. Попада в картен лист К-34-46-Г (Маринова и др., 2010). В по-старата литература рудният район е означаван като рудопроявление „Бърдото“ (Панайотов и др., 1982). Обявено е за находище през 2011 г., когато получава името „Милин камък“.

III. ГЕОЛОЖКО ПОЛОЖЕНИЕ И ИЗУЧЕНОСТ НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“

III.1. ЛИТОЛОГО – СТРАТИГРАФСКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“

Находище „Милин камък“ се разкрива в южните склонове на хълма „Бърдото“. Основната характеристика на скалите се определя от дейността на Брезнишкия

палеовулкан. Според Байрактаров (1989) скалите в находището са трахибазалтови и трахиандезитобазалтови. Образувани са през Кампана и изграждат югозападното и североизточното бедро на Красавската синклинала. На североизток се постилат от средната вулканогенно-седиментна задруга и пирокластични на Люлинския палеовулкан. Покриват се от скали на Завалските вулкански центрове. В строежа на палеовулкана доминират пирокластични, лавови потоци, субвулкански тела и дайки. Югоизточно от град Брезник се наблюдава концентрация на грубокластични блоково-бомбени туфи и лави, разсечени от субвулкански тела и дайки (Байрактаров, 1989). С отдалечаване от центъра на северозапад, грубата пирокластичка преминава в пепелни туфи (Фиг. 15). В най-отдалечените периферни участъци се заместват от алтернация на дребно- и финозърнести туфи, туфити и седиментни скали. Рудообразуването в находище „Милин камък“ е генетично свързано с Брезнишкия вулкански комплекс (Маринов и др., 2018).

Зиновиев и др. (1997ф) описват скалите в района като андезитобазалтови дайки, вмествени сред лапилни и агломератови туфи. В седиментните скали югозападно от „Милин камък“ се разкрива голямо тяло от латитандезитобазалти. Представени са от алтернация на туфи, туфити, мергели и пясъчници.

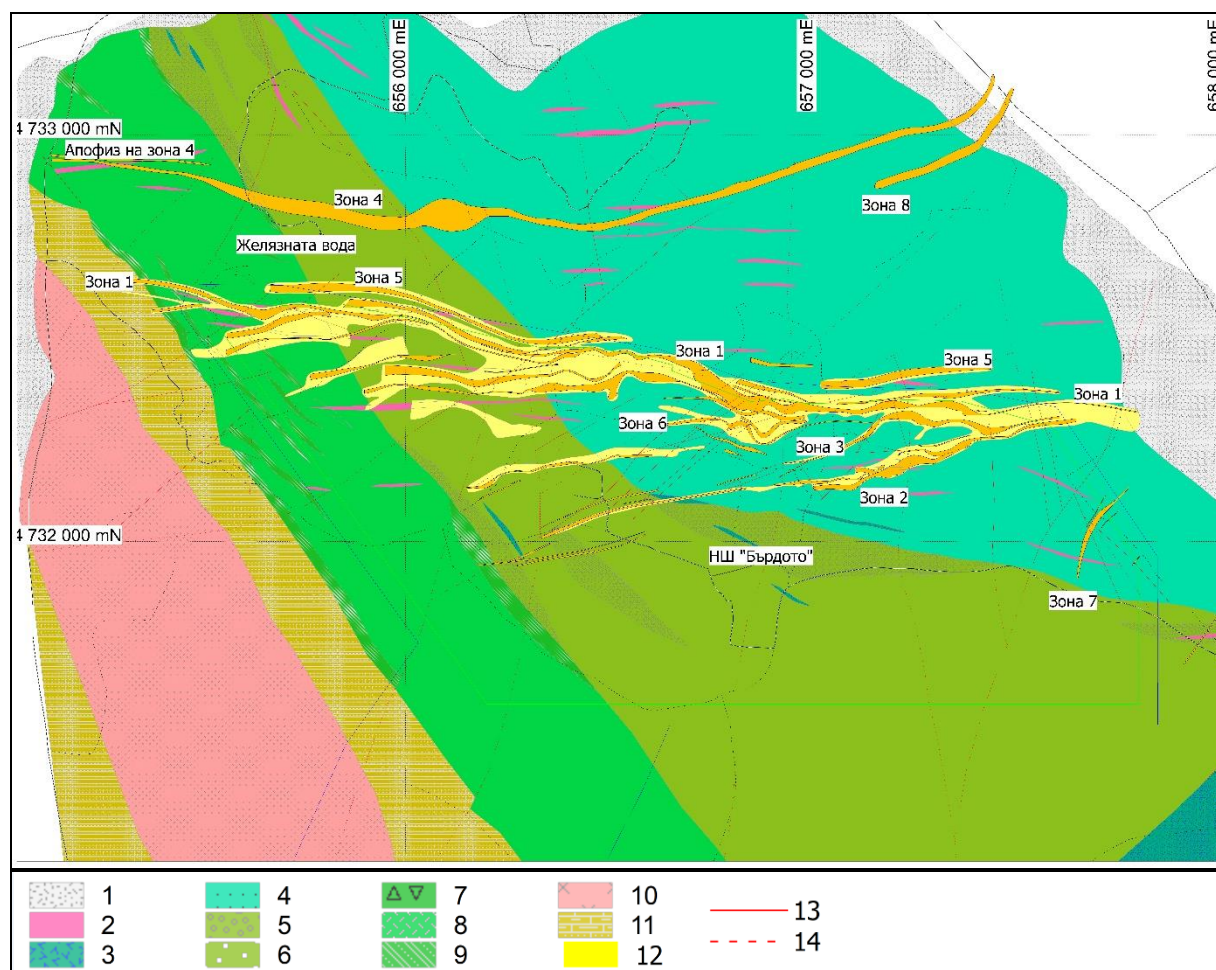
Дабовски и др., (2009) обединяват вулканските и интрузивните комплекси. Според тях продуктите от Бурелския и Витошкия палеовулкани кореспондират с долната вулканогенно-седиментна задруга, тези от Ракитовския и Недялковския – със средната вулканогенно-седиментна задруга, а от Люлинския, Брезнишкия и Завалските центрове – с формиране на горната вулканогенно-седиментна задруга.

III.2.ТЕКТОНСКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“

Находище „Милин камък“ попада в рамките на Средногорската тектонска зона. Разделя се на три късноалпийски тектонски единици – Меловска, Любашка и Софийска. Находището попада в рамките на Софийската единица. Тя се характеризира с интензивен горнокреден вулканизъм, с обхват Кониас-Кампан. На север от находището е Бурелската разломна зона, която е магмопроводяща и магмовместваща структура. На повърхността се следи по разпространението на андезит-трахиандезит-дацитовата серия (Маринова и др., 2010).

По време на Ларамийското структурообразуване в резултат на компресия се развива основният гънково-блоков строеж на Софийската единица и се образува Красавската синклинална. Тя дефинира позицията на находище „Милин камък“ (Маринова и др., 2010). Осевата част на синклиналата е изградена от палеогенски седименти. Бедрата са представени от горнокредни вулкани и вулканоседименти. Скалите от североизточното бедро са вертикални до преобърнати, а тези на югозападното са полегати. Тази позиция подчертава югозападна вергентност. Скалите са пресечени от разломи със субекваториална посока и пукнатини със североизточна ориентация. Marinov et al. (2019), показва радиално-концентричния характер на структурите, а Strahilov et al. (2022) определя направлението на рудните зони като изток-западно, пресечени от изток-североизток запад-югозапад и север-северозапад – юг-югоизточни разломи.

Находище „Милин камък“ се формира по време на вулкано-тектонски и поствулкански структурно-образователни етапи.



Фиг. 15. Геоложка карта на находище „Милин камък“ (Зиновиеви др., 1997ф с допълнения)

Легенда: 1. Алувиални седименти; 2. Андезитобазалтова дайка; 3. Базалт и андезитобазалтови лави; 4. Агломератови туфи; 5. Бомбено-блокови туфи; 6. Лапилни и псефитни туфи; 7. Трахибазалтови лави; 8. Лапилни туфи; 9. Псефитни и пелитни туфи; 10. Трахиандезити; 11. Седиментни скали; 12. Рудна зона; 13. Установен разлом; 14. Предполагам разлом.

III.3. ХИДРОТЕРМАЛНИ ИЗМЕНЕНИЯ НА СКАЛИТЕ В НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“

Хидротермалните промени за пръв път са оконтурени от Канурков и др. (1960).

Пропилитизацията е най-широко представената хидротермална промяна. Тя е регионална и засяга всички скали в района. От рудните минерали се срещат единични кристали или гнезда пирит. На много места има единични жили с дебелина до 0,5 cm представени от кварц, карбонат, галенит и сфалерит.

Серицитизацията е свързана с рудните учасъци. В бреците започва като петна по андезитбазалтовите класти и преминава по цялата скала. Понякога

границата е рязка ограничена от жили със сулфиден състав или разломи. Пирита, галенита, сфалерита и сулфосолите са като гнезда, впръснати или в жили.

Аргилизацията се среща във всички рудните зони и маркира орудените участъци. Около нея винаги има серицитизация. Характерни минерали са: глинести, сулфиди и сулфосоли, които са финнозърнести с тъмно сив до черен цвят. С тази промяна се свързват повишените съдържания на злато.

Силификация е представена от типоморфните минерали – кварц и барит. На места кварца е с по-едри кристали, които играят роля на матрикс. Барита е представен от радиоолнолъчести кристали със среден размер. Скалите са без пукнатини, а сулфидните минерали често са впръснати.

Калиева фелдшпатизация се установява макроскопски в дълбоките части на голям брой от проучвателните сондажи. Следва наклона на рудните тела. Има петнист характер.

Хематитизация се среща в периферните части от находището на различна дълбочина. Промяната е наложена върху пропицитизацията. Тази промяна не е описвана до момента. Рудни минерали не се наблюдават.

Вторични кварцити. Наблюдават се в североизточната част на находището. Описана е от Събева (2015). На терен се наблюдава в рудна зона 4. Характерни структури са овални празнини от излужване на нискотемпературни минерали по време на високотемпературната промяна.

III.4.МОРФОЛОГИЯ НА ТИПОВЕТЕ РУДНИ ТЕЛА В НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК”

Находището е вместиено в хидротермално променени горнокредни вулкански и вулканокластични скали с трахибазалтов и трахиандезитобазалтов състав. Основните разломни структури, които вместиат орудяването са с изток-западно направление. В резултат от протеклите хидротермални и рудообразователни процеси са отделени 8 рудни зони, изградени от жилни тела и техните апофизи (Фиг. 15). Дължина им варира: от 400 m до над 1000 m и дебелина – от няколко сантиметра до 3–4 m. Рудните зони са с изток-западно направление, затъват стръмно на юг и са пресечени от североизточно-югозападни и север-североизточно-юг-югозападни разломи. Орудяването се свързва с родохрозитнатите жили, която се среща във всички рудни зони, но дебелината и варира от 2 до 80 cm.

III.5. МИНЕРАЛЕН СЪСТАВ В НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК”

Зиновиев и др. (1997ф), Crummy et al. (2001), Stoykov et al. (2007), Събева (2015) и Василева и Вангелова (2020) правят микроскопски изследвания и описват следните рудни минерали: пирит, марказит, пиротин, халкопирит, арсенопирит, галенит, галенит-клаусталит, Au-Ag телуриди, сфалерит, аргентит, голдфилдит, арсеносулванит, колузит, тенантит, тетраедрит, енаргит, лузонит, бурнонит, електрум, самородно злато, борнит, халкозин, ковелин, малахит, куприт, церузит, хематит, илменит, магнетит, желязо-титанови продукти и церусит. От неруднатите

минерали описват кварц, барит и карбонати: калцит, магнезиален калцит, родохрозит, доломит, фероманган-доломит, сидерит, магнезиосидерит, олигонит, феромагнезиев кутнохорит.

IV. МЕТОДИКА НА ИЗВЪРШЕНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

За осъществяване на целите, необходими по настоящата дисертационна работа, са извършени теренни наблюдения, лабораторни изследвания и статистически анализи.

Теренните наблюдения включват геоложки маршрути, картиране на коренни разкрия, описание на канали и заснемане, и подбор на 62 броя скални проби от сондажи прокарани от повърхността и от подземни минни изработки, както и от прокарането на наклонена шахта „Бърдото“, която следи рудна зона 1 (Фиг. 27).

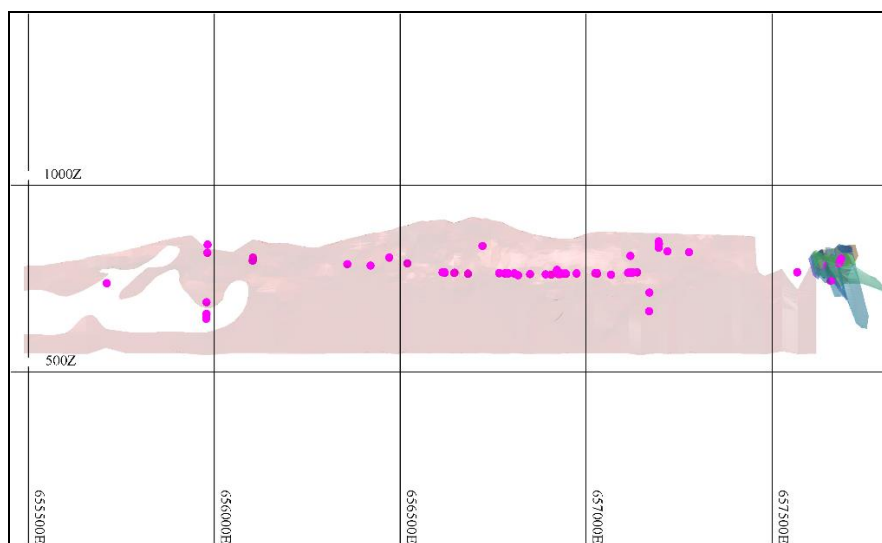
Лабораторните изследвания включват:

- Микроскопски изследвания: изготвяне на полирани препарати, изследване на аншлифи под микроскоп, направа на микрофотографии с фотоапарат. Полираните препарати са изработени в лаборатория „Шлифова“ към МГУ „Св. Иван Рилски“. Изследванията на аншлифи са направени в лабораторията по Рудна микроскопия и Органична петрология към МГУ „Св. Иван Рилски“ с микроскоп в отразена светлина Meiji MT9430 и Leica MD2500P. Направени са микрофотографии на интересните участъци с цифрова камера Nikon с дигитален рефлексен фотоапарат Leica, монтирани на тринокуляр. Микроспектралните анализи са направени с електронен сканиращ микроскоп JEOL JSM-6010 PLUS/LA, с EDS спектрометър с разделителна способност над 129 eV при MnK α в лабораторията по Сканираща електронна микроскопия към МГУ „Св. Иван Рилски“.

Като изходен материал за статистическият анализ са използвани данни предоставени от „Трейс Рисорсиз“ ЕООД. Информацията е получена в периода от 2016 до 2019 г. по време на детайлното геолошко проучване. Приложена е последователност разработена от Попов (2002). Включени са 22 броя химични елементи - Ag, Bi, Cu, Sb, Cd, Zn, Pb, As, Au, Mn, Mo, Ba, Be, Cr, Ni, W, Co, Fe, Ti, V, Ca и Mg. За тяхното обособяване са използвани съвременни статистически методи, организирани в определена последователност, които имат характер на самостоятелно изследване и са показани на следната схема:

- Предварителната обработка на данните;
- Статистически анализ, който включва:
 - Едномерният статистически анализ: Дескриптивната статистика; Коефициент на корелация по Пирсън (Pearson Correlation); Корелационните данни са представени графично спрямо корелационната матрица; Диаграми на разсейване (scatter plot); Линеен модел на разпределение; Коефициента на корелация и линейната функция на зависимостта; Хистограми на разпределение; Честотно разпределение.
 - Клъстер анализът е йерархичен метод използван за групиране.

- Факторен анализ е използван за изява на геохимичните асоциации. Включва: Метод на главните компоненти PCA (Principal Component Analysis); R-метода; Нормализирана „varimax“ ротация.



Фиг. 27. Надлъжна вертикална проекция на рудна зона 1 в находище „Милин камък“ с местата на взетите скални проби от сондажна ядка за аншлифи

V. МИНЕРАЛОЖКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В изследваните аншлифи са описани рудните минерали от рудни зони 1, 2, 3, 5, 6 и 7 от находище „Милин камък“. Определени са структурните и текстурните характеристики и са описани минералните парагенези.

Пирит (FeS_2). Той е главен руден минерал. Среща във всички зони. Това е единственият сулфиден минерал, отлаган продължително време. Среща се като идиоморфни и хипидиоморфни зърна (Фиг. 32 и Фиг. 75) с размери от 20 μm до 300 μm (Фиг. 38, Фиг. 57). Много рядко е с коломорфен строеж, заливоподобни очертания или субхедрални зърна със зонален строеж. В по-големите пиритни зърна се наблюдават включения от галенит, халкопирит, сфалерит, пиротин, тенантит-тетраедрит и бурнонит-селигманит. На места пиритът е дребнозърнест или като агрегати със скелетни очертания. Пиритът асоциира с марказит и е прорасъл около него. Пиритът в рудна зона 7, е с подчинено количество (Фиг. 84, Фиг. 87 и Фиг. 94). Единичен микроспектрален анализ на пирит от рудна зона 1 показва съдържание на As 1,69 wt. % (Табл.3). В рудна зона 7 анализите показват стехиометрични съдържание без примеси от мед или арсен. Разграничават се две генерации пирит. Пирит I се отличава с предимно хипидиоморфни и ксеноморфни кристали. В процеса на рудообразуване е образуван в най-ранния кварц-пиритов стадий. Пирит II генерация е представен от единични кристали с по-големи размери или гнезда. Образуван е през кварц-полиметалният стадий.

Марказит (FeS_2). Втори по разпространение минерал за зони 1, 2, 3 и 5. За рудна зона 7 е главен руден минерал. Изгражда тънки жилки, плочести и удължено-призматични до иглести зърна (Фиг. 84 и Фиг. 87). Асоциира с халкопирит,

сфалерит и галенит и проявява мозаечен строеж. Образува фино зърнести агрегати с влакнеста структура, коломорфен строеж или звездовидни струпвания от копиевидни кристали. Често се наблюдава като дребнозърнести агрегати сред манганокалцит (родохрозит) с ивичест строеж. Асоциира със сулфосоли и тенантитови агрегати от рудна зона 1 и 2. В зона 7 се среща заедно с арсенопирит. Образува финозърнести агрегати със структура подобна на дендрити, коломорфен строеж или звездовидни струпвания от копиевидни кристали. Проведените микроспектрални анализи показва отсъствие на примеси със състав много близък до стехеометричния (Табл. 3).

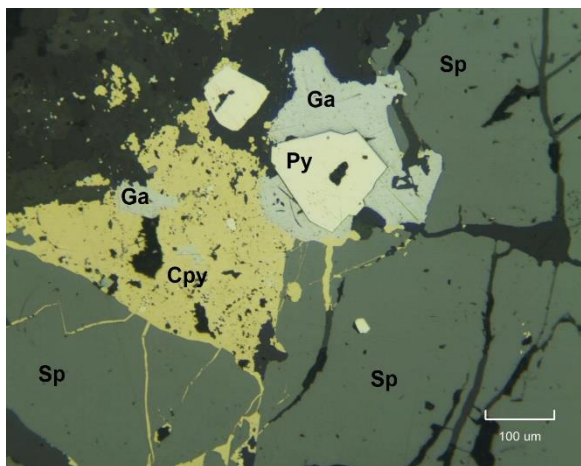
Арсенопирит (FeAsS). Наблюдава се в характерни призматични прерези с ромбични очертания и срастъци тип „лястовича опашка“, звездоподобни агрегати или призматични кристали. Прави характерни ламеларни срастъци. Често се среща върху скелетни структури на пирит. Дребнозърнест с размери до 10 μm на места до среднозърнест с размери до 150 μm . В рудна зона 7 достига до 50 μm (Фиг. 84). При микроспектрални изследвания на пирит от рудна зона 1 в тясно прорастване с него са установени редки и дребни зърна от арсенопирит (Табл. 3).

Табл. 3. Резултати от микроспектрални анализи на минералите пирит, арсенопирит и марказит със сканиращ електронен микроскоп.

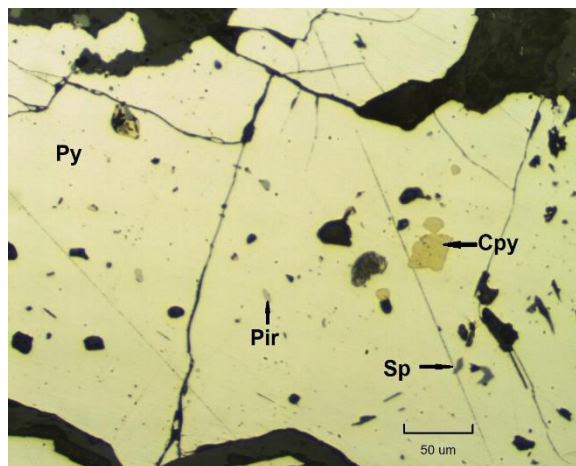
Минерал	Елементи (wt. %)	Fe	As	S	Кристалохимични формули:
Пирит	ан. 1	46,02	1,69	52,39	$\text{Fe}_{1.02}(\text{S}_{1.09}\text{As}_{0.86})_{1.98}$
	ан.1.5	46,93		53,07	$\text{Fe}_{1.01}\text{S}_{1.99}$
	ан.1.6	46,95		53,05	$\text{Fe}_{1.01}\text{S}_{1.99}$
Марказит	ан. 2	47,61		52,39	$\text{Fe}_{1.03}\text{S}_{1.98}$
	ан. 3	48,28		51,72	$\text{Fe}_{1.05}\text{S}_{1.88}$
Арсенопирит	ан. 4	37,18	40,73	22,10	$\text{Fe}_{1.04}\text{As}_{0.86}\text{S}_{1.09}$
	ан. 5	37,11	40,24	22,65	$\text{Fe}_{1.04}\text{As}_{0.85}\text{S}_{1.11}$
	ан. 6	37,48	39,70	22,82	$\text{Fe}_{1.05}\text{As}_{0.83}\text{S}_{1.12}$

Галенит (PbS). Среща се като самостоятелни алотриоморфни зърна с размери до 150 μm (Фиг. 32). Често е със зърнести очертания (Фиг. 48) сред сфалерит или кородира пирита. Образува съвместни агрегати с марказит, марказит-пирит, сфалерит, халкопирит или като включения в пирит (Фиг. 57) или тенантит-тетраедрит (Фиг. 51). Галенитът в рудна зона 7 е образуван преди арсенопирита и сфалерита. В централните части на рудна зона 1 е кородиран от карбонатни минерали или барит. В отделни случаи в западната част на рудна зона 1 и 5 изгражда съвместни агрегати с бурнонит-селигманит и е обраснал от бурнонит (Фиг. 64 и Фиг. 66). При микроспектрални анализи от централната част на рудна зона 1 показват стехеометрични съдържания както без примеси, така и с присъствие на антимон и сребро. В рудна зона 7 стойностите са стехеометрични (Табл. 4). Отложен е в кварц-полиметалният стадий от хидротермалният етап на

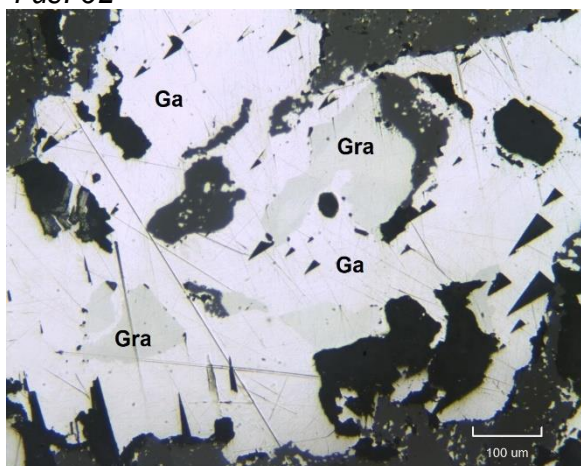
минералообразуване и се установява във всички изследвани сондажи, но е в променливо количество (Фиг. 84).



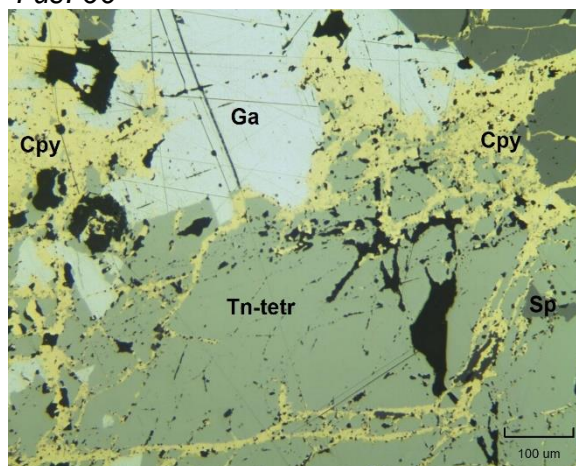
Фиг. 32



Фиг. 38



Фиг. 48



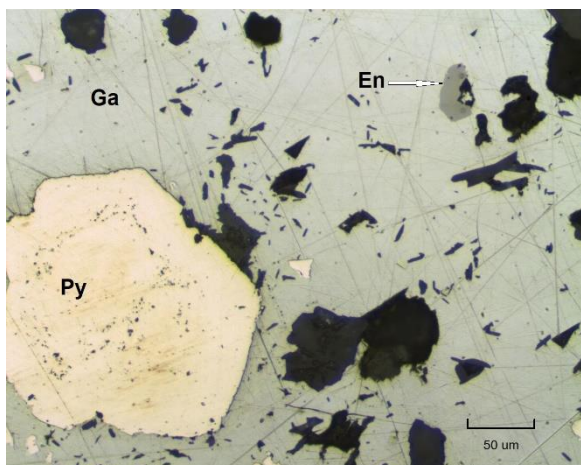
Фиг. 51

Фиг. 32. (Аншлиф 24 от сондаж ВС18366 от 83,10 m; #26-4). Сфалерит (сив) асоциира с халкопирит (жълт), галенит (сиво-бял) и идиоморфни зърна пирит (жълто-бял). Жили от халкопирит разсичат сфалерита; II N

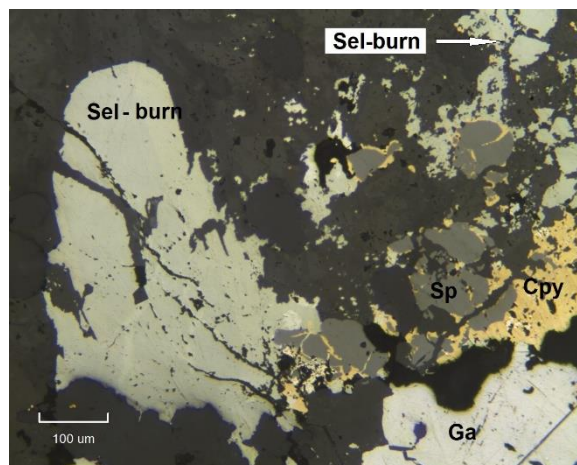
Фиг. 38. (Аншлиф 17 от сондаж ВUE055 от 11,10 m; #17-1). Агрегат от пирит (жълто-бял) с включения от халкопирит (жълт), сфалерит (сив) и пиротин (кремав, ясно анизотропен) в нерудна маса (тъмно сиво); II N

Фиг. 48. (Аншлиф 25 от изработка VN1_760_W от 74,50 m; #25-2). Зърно галенит (бял) с включения от по-тъмен ясно анизотропен минерал. По състав и оптични характеристики е гратонит. Около тях нерудна маса (тъмно сиво); II N

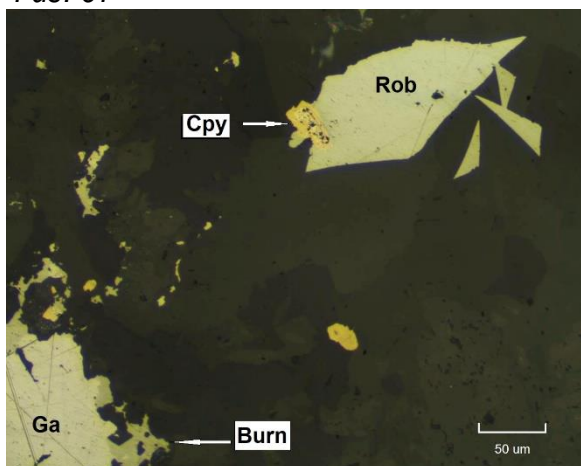
Фиг. 51. (Аншлиф 26 от изработка VN1_760_W от 119,00 m; #26-7). Голямо зърно тенантит-тетраедрит (светлосив) с включения от сфалерит (сив). Над него галенит (бял, сив). Кородирани и процепени от халкопирит (жълт); II N



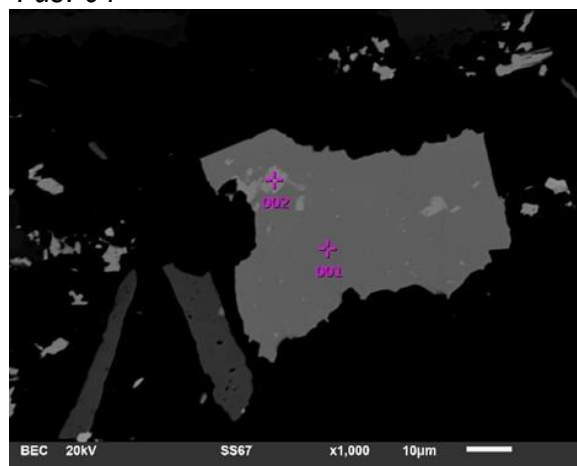
Фиг. 57



Фиг. 64



Фиг. 66



Фиг. 72

Фиг. 57. (Аншлиф 24 от сондаж ВС18366 от 83,10 m; #24-2). Идиоморфно зърно пирит (жълто-бяло, долу вляво) сред галенит (бял). В дясната горна част на снимката зърно енаргит (сиво-лилаво, ан.42, табл. 7); II N

Фиг. 64. (Аншлиф 26 от минна изработка VN1_760_ W от 119,00 m; #26-1). Зърно галенит (бял) асоциира с халкопирит (жълт) и сфалерит (сив). В ляво – зърно бурнонит-селигманит (светлосиво, ан. 36 и ан. 37, табл. 6); II N

Фиг. 66. (Аншлиф 26 от изработка VN1_760_ W от 119,00 m; #26-2). Робинсонит (светлосив, зеленикав) асоциира с халкопирит (жълт). Вляво долу галенит (бял) със зърна бурнонит (светлосив) по периферията; II N

Фиг. 72. (Аншлиф 21 от сондаж BUE080 от 1,00 m; #21-4_tr). Селигманит (светлосив, точка 1, ан. 38, табл. 6) и йорданит (точка 2, ан. 41, табл. 7). Призматичен барит (сиво). Режим COMPO – BEC

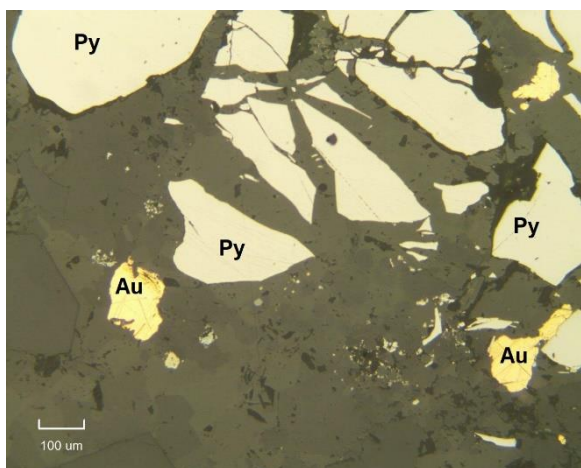
Пиротин (Fe_{1-x}S). Пиротин се установява само като единични заоблени капковидни включения с размери до 10 µm сред пирит (Фиг. 38). На много места има трансформация на пиротин в марказит. За това говори характерният плочест

хабитус на марказитът с множество празнини. Пиротин се наблюдава във всички рудни зони с изключение на зона 7.

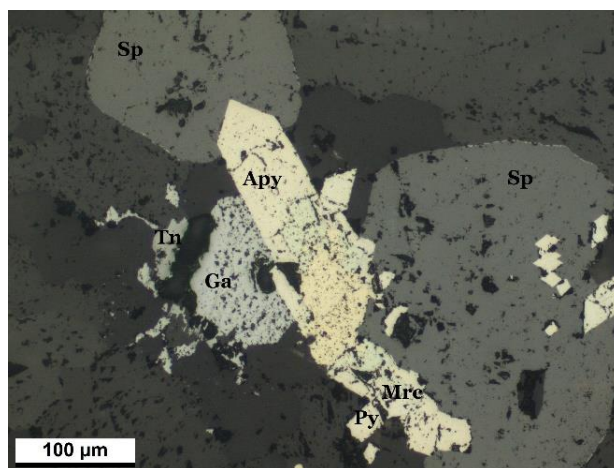
Сфалерит (ZnS). Среща се като големи алотриоморфни зърна, често с кант от халкопирит и марказит, пирит-марказитови агрегати или в самостоятелни агрегати с галенит, халкопирит, пирит (Фиг. 32 и Фиг. 64), тенантит-тетраедрит и пиротин (Фиг. 38). В рудна зона 7 образува самостоятелни агрегати с марказит, галенит, халкопирит и пирит (Фиг. 84). На места сфалерита е разсечен от халкопиритови прожилки. В сфалерита често се наблюдават включения от пирит, срастъци с марказитови агрегати, гъсто впръсната емулсия от халкопирит, галенит и минерали от редицата тенантит-тетраедрит. Сфалерита се потвърждава и от единичен микроспектрален анализ, показващ отсъствие на Fe и състав близък до стехеометричния. В рудна зона 7 е без примеси на други елементи (Табл. 4). Във всички изследвани препарати от зона 7 сфалеритът е образуван последен.

Халкопирит ($CuFeS_2$). Среща се като емулсия в сфалерит или като дребни зърна с размери до 20 μm сред кварц, пирит (Фиг. 38) или марказит, обикновено заедно с галенит и сфалерит (Фиг. 32 и Фиг. 66). Заедно с марказит формира кант около сфалеритови или пиритови зърна. Наблюдава се и в родохрозита. Образува съвместни агрегати с минерали от редицата тенантит-тетраедрит и селигманит-бурнонит (Фиг. 51, Фиг. 64) или ги разсича под формата на множество жили. Прямо структурите и присъствието си в микроскопските препарати може да твърдим, че е образуван в два етапа. Най-често срещаните структури са корозионна в началните етапи от хидротермалният процес и по-късна прожилкова в сфалерита и галенита. В рудна зона 7 халкопиритът е най-слабо разпространен. Среща се като прожилки в сфалерит или като единични дребни зърна с размери до 20 μm в галенит и сфалерит. Вероятно в най-голямо количество е отложен последен заедно със сфалерита в края на кварц-полиметалният етап.

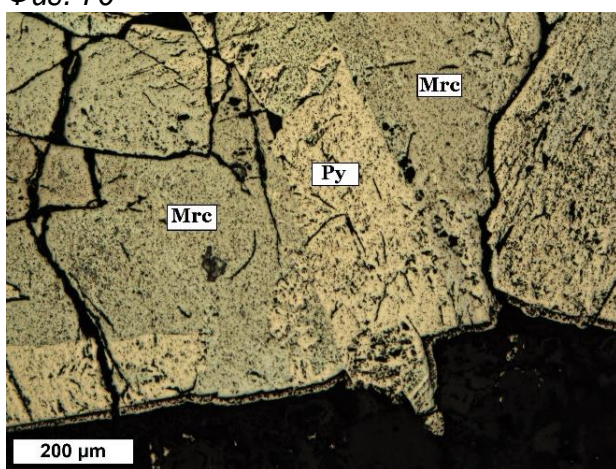
Тетраедрит-тенантитова редица $[(Cu,Ag)_{10}(Fe,Zn)_2(Sb,As)_4S_{13}]$. Минерали от редицата се среща сравнително рядко. Те са образувани по-късно от главните рудни минерали на кварц-полиметалният стадий. Обикновено се срещат като включения в сфалерит или заедно с халкопирит, с който взаимно се заместват и пресичат (Фиг. 51). Образува самостоятелни зърна с големи включения халкопирит и по-малки от галенит и сфалерит. Често са обвити от агрегати дребнозърнест марказит, който образува и финни кристалчета в периферните участъци на тенантит-тетраедритовите зърна. Асоциират с пирит, с обвивка от марказит, халкопирит, сфалерит или в агрегати с галенит и халкопирит, както и като включения в пиритни зърна. Присъстват и двете крайни арсенови и антимоновидности. В рудна зона 7 се среща като единични включения в сфалерит и заедно с халкопирита, с който взаимно се заместват и пресичат. Локализирани са като дребни зърна в агрегати от галенит, сфалерит и халкопирит. Проведените микроспектрални анализи са на As-ов (Zn-тенантит) и Sb-ов – Ag-съдържащ Zn-тетраедрит (Табл. 5). Състава и на двата е близък до теоретичният, предимно тенантитов, с незначителен дефицит на S.



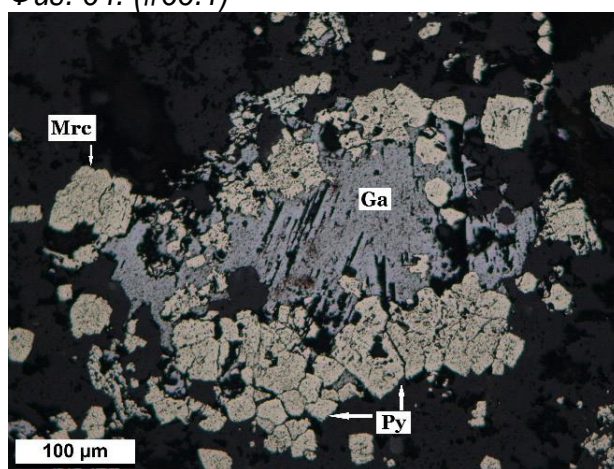
Фиг. 75



Фиг. 84. (#83.1)



Фиг. 87. (#89.01)



Фиг. 94. (#85.10)

Фиг. 75. (Аншлиф 8 от сондаж BUE028 от 1,90 m; #08-4). Три едри злати агрегата (ярко жълти, ан. 11 и ан. 12, табл. 8) сред кварц-доломит-баритна жила, която разсича и споява пирит (бял); II N

Фиг. 84. (Аншлиф 83 от сондаж BC20510 от 23,20 m; #83-1). Агрегати от ромбичен и призматичен арсенопирит (кремав), с марказит (бял със синкав оттенък). В ляво ксеноморфен галенит (светло сив) разсечен от неруден минерал и арсенопирит. В големи зърна сфалерит (сив) с кант от тенантит-тетраедрит (сиво-бял) и включения от идиоморфен марказит; II N

Фиг. 87. (Аншлиф 89 от сондаж BC20505 от 34,50 m; #89.01). Хипидиоморфен до ксеноморфен пирит (жълто-бял) с марказит (бял със синкав оттенък). Разсечени от гангов минерал; II N

Фиг. 94. (Аншлиф 85 от сондаж BC20510 от 23,70 m; #85.10). В центъра на снимката галенит (светло сив). Хипидиоморфни очертания на зърна пирит (жълто бели). Около него марказит (бял със син оттенък) в нерудна маса (тъмно сиво до черно); II N

Табл. 4. Резултати от микроспектрални анализи на минералите галенит и сфалерит.

Минерал	Елементи (wt. %)	Pb	Sb	Ag	Zn	S	кристалохимични формули
Галенит	ан.7	88,33				11,67	(Pb _{1.03} Sb _{0.04} Ag _{0.01}) _{1.08} S _{0.92}
	ан.8	88,86	2,09	0,31		11,74	(Pb _{1.03} Sb _{0.04} Ag _{0.01}) _{1.08} S _{0.92}
	ан.1.3	88,65				11,35	Pb _{1.09} S _{0.91}
	ан.1.4	88,49				11,51	Pb _{1.09} S _{0.91}
	ан. 2.1	88,19				11,81	Pb _{1.07} S _{0.93}
	ан. 2.2	88,22				11,78	Pb _{1.07} S _{0.93}
	ан. 2.4	88,21				11,79	Pb _{1.07} S _{0.93}
	ан. 3.2	88,51				11,49	Pb _{1.09} S _{0.91}
	ан 4.1	88,11				11,89	Pb _{1.07} S _{0.93}
	ан 4.2	88,32				11,68	Pb _{1.08} S _{0.92}
	ан. 5.4	88,31				11,69	Pb _{1.08} S _{0.92}
	ан. 5.6	88,13				11,87	Pb _{1.07} S _{0.93}
Сфалерит	ан.9				66,32	33,68	Zn _{0.98} S _{1.02}
	ан.1.1				66,95	33,05	Zn _{1.00} S _{1.00}
	ан.1.2				67,99	32,01	Zn _{1.02} S _{0.98}
	ан. 2.3				62,28	37,72	Zn _{0.89} S _{1.11}
	ан. 3.1				65,66	34,34	Zn _{0.97} S _{1.03}
	ан 4.4				65,92	34,08	Zn _{0.97} S _{1.03}
	ан. 5.1				65,78	34,22	Zn _{0.97} S _{1.03}
	ан. 5.2				65,11	34,89	Zn _{0.96} S _{1.04}
	ан. 5.3				65,35	34,65	Zn _{0.96} S _{1.04}
	ан 4.3				65,92	34,08	Zn _{0.97} S _{1.03}

Енаргит (Cu₃AsS₄). Наблюдава се в дълбоките части на централната и източната част рудна зона 1 и 2. В отразена светлина е бял с розов оттенък с ясна анизотропност (Фиг. 57). Среща се заедно с галенит и сфалерит. Доказан е с микроспектрален анализ (ан. 42) със стехеометрични стойности Cu_{3.04}As_{0.96}S_{4.00}. Енаргита е по-високо температурен минерал от тези характерни за умерено до ниско температурни. Наличието на този минерал подсказва за по-високо температурна парагенеза. Типичен минерал е и за постмагматични медни находища.

Борнит (Cu₃FeS₄). Среща се като включения в пирит. Той не проявява анизотропност и се характеризира с розово-червен цвят и кафяв оттенък. Трудно е да се определи дали не представлява вторичен променителен продукт по халкопирит, но в случая предполагаме, че е хипогенен руден минерал.

Ковелин (CuS). Среща се като единични включения в пирит в централната част на рудна зона 1. Цвета му е индигово син, показва силно двуотражение и плеохроизъм до бледо син, и много силна анизотропност с цветни пурпурно червени ефекти. Несъмнено е променителен продукт по халкопирит в зоната на

вторично медно набогатяване от северните към централните части на находището. В останалите зони ковелин не е наблюдаван.

Табл. 5. Резултати от микроспектрални анализи на минерали от групата тенантит-тетраедрити.

Минерал	Елементи (wt. %)	Cu	Fe	Zn	Ag	As	Sb	S
Тенантит - тетраедрит	ан. 16	41,35	0,70	7,58		9,87	14,69	25,81
	ан. 17	40,68	1,94	7,50		11,62	11,99	26,28
	ан. 18	42,40		7,06		12,59	11,00	26,95
	ан. 19	41,15		6,73		10,22	15,25	26,65
	ан. 20	42,06		7,10		12,05	11,65	27,15
Тенантит	ан. 21	45,09	5,62	2,28		19,36		27,66
	ан. 22	37,38	6,68	6,45		15,05	4,31	30,13
	ан. 23	37,18	7,09	6,54		12,81	6,73	29,65
	ан. 24	42,73	0,45	6,73		12,64	10,96	26,46
	ан. 25	46,78	5,70			19,57		27,95
Тетраедрит	ан. 26	38,46		6,60	1,22	2,75	26,58	24,38
	ан. 27	37,46	2,31	6,41	1,07	2,98	25,53	24,24
	ан. 28	38,07	1,82	5,74	0,83	3,22	26,34	23,90
	ан. 29	28,76		6,47	14,47		27,66	22,64

Микроспектралните анализи на минерали от редицата тенантит-тетраедрит имат следните кристалохимични формули:

Тенантит-тетраедрит (ан. 16) $(\text{Cu}_{10.45}\text{Fe}_{0.45}\text{Zn}_{1.60})_{12.50}(\text{As}_{2.60}\text{Sb}_{0.40})_{4.00}\text{S}_{12.82}$

Тенантит-тетраедрит (ан. 17) $(\text{Cu}_{8.60}\text{Fe}_{1.88}\text{Zn}_{1.47})_{11.95}(\text{As}_{2.52}\text{Sb}_{0.81})_{3.33}\text{S}_{13.60}$

Тенантит-тетраедрит (ан. 18) $(\text{Cu}_{10.45}\text{Zn}_{1.69})_{12.14}(\text{As}_{2.63}\text{Sb}_{1.41})_{4.04}\text{S}_{12.82}$

Тенантит-тетраедрит (ан. 19) $(\text{Cu}_{10.19}\text{Zn}_{1.62})_{11.81}(\text{As}_{2.15}\text{Sb}_{1.97})_{4.12}\text{S}_{13.08}$

Тенантит-тетраедрит (ан. 20) $(\text{Cu}_{10.24}\text{Zn}_{1.68})_{11.92}(\text{As}_{2.49}\text{Sb}_{1.48})_{3.97}\text{S}_{13.11}$

Тенантит (ан. 21) $(\text{Cu}_{10.47}\text{Fe}_{1.48}\text{Zn}_{0.51})_{12.46}\text{As}_{3.80}\text{S}_{12.70}$

Тенантит (ан. 22) $(\text{Cu}_{8.65}\text{Fe}_{0.27}\text{Zn}_{1.79})_{12.45}(\text{As}_{3.30}\text{Sb}_{0.51})_{3.81}\text{S}_{12.83}$

Тенантит (ан. 23) $(\text{Cu}_{8.60}\text{Fe}_{1.88}\text{Zn}_{1.47})_{11.95}(\text{As}_{2.52}\text{Sb}_{0.81})_{3.33}\text{S}_{13.60}$

Тенантит (ан. 24) $(\text{Cu}_{10.27}\text{Fe}_{0.20}\text{Zn}_{1.83})_{12.30}(\text{As}_{2.08}\text{Sb}_{1.91})_{3.99}\text{S}_{12.71}$

Тенантит (ан. 25) $(\text{Cu}_{10.93}\text{Fe}_{1.50})_{12.33}\text{As}_{3.84}\text{S}_{12.83}$

Тетраедрит (ан. 26) $(\text{Cu}_{10.13}\text{Zn}_{1.69}\text{Ag}_{0.19})_{12.01}(\text{As}_{0.61}\text{Sb}_{3.65})_{4.26}\text{S}_{12.73}$

Тетраедрит (ан. 27) $(\text{Cu}_{9.80}\text{Zn}_{1.63}\text{Fe}_{0.69}\text{Ag}_{0.16})_{12.28}(\text{As}_{0.65}\text{Sb}_{3.49})_{4.14}\text{S}_{12.57}$

Тетраедрит (ан. 28) $(\text{Cu}_{10.13}\text{Zn}_{1.69}\text{Ag}_{0.19})_{12.01}(\text{As}_{0.61}\text{Sb}_{3.65})_{4.26}\text{S}_{12.73}$

Ag-съдържащ Zn-Тетраедрит (ан. 29) $(\text{Cu}_{8.11}\text{Ag}_{2.40}\text{Zn}_{1.77})_{12.28}\text{Sb}_{4.07}\text{S}_{12.65}$

Селигманит - бурнонит (CuPbSbS_3). Минерали от тази изоморфна редица се наблюдават в централните и източните части на рудна зона 1. Често се срещат като призматични или ромбични назъбени зърна сред гангови минерали. Понякога се среща в периферията на галенит или образуват агрегати заедно със сфалерит, халкопирит и марказит. Често се среща с минерали от групата на

тенантит-тетраедрит и йорданит. Проявяват добре изразен ламеларен строеж (Фиг. 64). Микроспектралните анализи показват преобладаващо As-нови (селигманит) разновидности и чисто Sb-ви – бурнонитови или като бурнонит-селигманит (Табл. 6). Селигманита се установява като самостоятелни зърна в пределите на кварцови жилки (Фиг. 72). Почти винаги асоциира с барит и пирит. Вероятно е образуван през последният етап на хидротермалната дейност (Фиг. 66). Микроспектралните анализи показват по-високо съдържание на As (Табл. 6). В предишни изследвания е описван само бурнонит. В настоящата работа има анализирани и чисти селигманитни разновидности.

Табл. 6. Резултати от микроспектрални анализи на минерали от редицата селигманит-бурнонит.

Минерал	Елементи (wt. %)	Pb	Cu	As	Sb	S	кристалохимични формули
Селигманит - бурнонит	ан. 30	48,20	12,38	10,30	12,09	17,03	$Pb_{1.17}Cu_{0.98}(As_{0.69}Sb_{0.50})_{1.29}S_{2.67}$
	ан. 31	48,25	11,84	7,72	15,35	16,84	$Pb_{1.19}Cu_{0.95}(As_{0.53}Sb_{0.64})_{1.17}S_{2.69}$
	ан. 32	46,91	11,86	9,25	14,80	17,18	$Pb_{1.14}Cu_{0.94}(As_{0.62}Sb_{0.61})_{1.23}S_{2.69}$
Бурнонит	ан. 33	48,16	12,39		23,18	16,27	$Pb_{1.24}Cu_{1.04}Sb_{1.02}S_{2.71}$
	ан. 34	47,82	11,97		23,72	16,49	$Pb_{1.23}Cu_{1.00}Sb_{1.04}S_{2.75}$
	ан. 35	46,48	12,17		24,38	16,97	$Pb_{1.17}Cu_{1.01}Sb_{1.05}S_{2.77}$
Селигманит	ан. 36	50,00	12,75	15,91	3,27	18,08	$Pb_{1.17}Cu_{0.98}(As_{1.03}Sb_{0.05})_{1.08}S_{2.75}$
	ан. 37	48,81	13,04	15,55	4,96	17,64	$Pb_{1.14}Cu_{1.00}(As_{1.01}Sb_{0.19})_{1.20}S_{2.70}$
	ан. 38	50,26	12,99	14,32	5,18	17,25	$Pb_{1.19}Cu_{1.01}(As_{0.94}Sb_{0.21})_{1.15}S_{2.65}$

Робинсонит ($Pb_4Sb_6S_{13}$). Робинсонит за пръв път е описан в мината „Red Bird“, щата Невада. Името му е дадено на д-р Робинсъ, който пръв прави изследвания. Описван е в находище Низки Татра в Словакия и мраморната кариера Питоне в Тоскана, Италия. Рядък минерал и често се среща в асоциация с пирит, сфалерит, стибнит, буланжерит, други Pb-Sb сулфиди и сулфосоли. Робинсонита е триклинен. Наблюдава се като тънки призматични, масивни, влакнести до компактни структури. При всички изследвания почти не се установяват стехеометрични формули.

В находище „Милин камък“ робинсонитът е описан за пръв път с настоящето изследване. Установява се като единични зърна с ромбични очертания (Фиг. 66). Проявява силна анизотропност с цветни рефлексии. Установените в анализите Pb, Sb, As и S (Табл. 7) в тези съотношения определят като единствена възможна минерална фаза робинсонит. Изчислените кристалохимични формули обаче са с изключително нестехеометричен състав. Това се дължи на малките размери на изследваните зърна.

Йорданит ($Pb_{14}As_6S_{23}$). Йорданитът макроскопски е тъмно сив с метален блясък и ниска твърдост. Моноклинна сингония. В проучвателните сондажи е дребнозърнест и се среща заедно със сулфосолите. Установен е оптично микроскопски и е доказан чрез микроспектрални анализи (Фиг. 72, Табл. 7). Той се

среща в прорастване с минералите от бурнонит-селигманитовата серия. Поради малките му размери направените анализи не са със стехеометрични стойности.

Гратонит ($Pb_9As_4S_{15}$). Гратонитът за пръв път е описан в находище „Милин камък“. Той е типичен нискотемпературен минерал. Тригонал е и е с ниска твърдост. За пръв път този минерал е описан 1939 г. в находище в Перу. Носи името си на геолога Луис Гратон. Образува се заедно с други оловни и сулфосолни минерали. Смята се за нискотемпературна разновидност на йорданита. В няколко зърна галенит се установява по-тъмна фаза, проявяваща ясна анизотропност (Фиг. 48). Изчислената формула е нестехеометрична с голям излишък от As и значителен недостиг на S.

Табл. 7. Микроспектрални анализи на йорданит, енаргит, робинсонит, гратонит.

Минерал	Елементи (wt. %)	Pb	Cu	As	Sb	S	кристалохимични формули
Йорданит	ан. 39	68,62		7,36	9,49	14,53	$Pb_{14.84}(As_{4.39}Sb_{3.50})_{7.89}S_{20.31}$
	ан. 40	69,37		7,86	8,16	14,57	$Pb_{14.93}(As_{4.71}Sb_{3.00})_{7.71}S_{20.45}$
	ан. 41	69,57		7,53	8,57	14,33	$Pb_{15.16}(As_{4.51}Sb_{3.16})_{7.67}S_{20.17}$
Енаргит	ан. 42		49,14	18,25		32,61	$Cu_{3.04}As_{0.96}S_{4.00}$
Гратонит	ан. 45	70,74		14,47		14,79	$Pb_{9.58}As_{5.42}S_{12.95}$
Робинсонит	ан. 43	43,82		5,02	38,36	17,80	$Pb_{4.38}(Sb_{5.69}As_{1.39})_{7.07}S_{11.54}$
	ан. 44	44,29		5,18	38,84	17,70	$Pb_{4.46}(Sb_{5.62}As_{1.44})_{7.06}S_{11.50}$

Самородно злато (Au). Самородно злато е в тясна асоциация с пирит, марказит и сулфосоли. Най-често размерът на златинките не надвишава 15-20 μm . Едри златинки до 140 μm се срещат рядко на групи в доломит-баритни жили непосредствено до агрегати пирит (Фиг. 75). От направените микроспектрални анализи може да се съди, че златото е високопробно, тъй като според класификацията на Петровская (1973), попада в диапазона 900-950‰. В някои от анализите има съдържания на Ag от 1,83 до 4,3 wt. % и присъства Fe – от 1,77 wt. %. Само в два от анализите златото е среднопробно с присъствие на желязо и сребро (Табл. 8). Вроятно стойностите идват от наличието на пирит и галенит.

Барит ($BaSO_4$). Установява като самостоятелни зърна в пределите на кварцови жили. Асоциира с пирит и селигманит. На места в него се срещат едри златинки с размери до 140 μm . Това е така, защото са отложени заедно в последния кварц-барит-златен стадии. Установен е с качествен микроспектрален анализ. Той е по-светъл от пирита, поради значително по-голямото средно масово тегло на елементите в минерала и е със следният състав.

След оптичното изследване на рудните минерали от всички рудни зони в находище „Милин камък“ можем да направим извод, че са отлагани дълго време. За това съдим по структурите на минералите и техните текстурни взаимоотношения (Табл. 10). Сред най-разпространените структури са хипидиоморфнозърнестата, ксеноморфната и скелетната. Идиоморфни са само част от минералите, които са отложени последни като сфалерит, пирит на места и

галенит. В централните и източните части на зона 1 идиоморфни са селигманит, тенантит-тетраедрит и халкопирит. В рудна зона 7 почти липсват агрегати със запазени структури.

Табл.8. Резултати от микроспектрални анализи на злато.

Минерал	Елементи (wt. %)	Au	Ag	Fe	Пробност	кристалохимични формули
злато	ан. 08. 2а.1	86,37	4,64	8,99	864	(Au _{0.68} Ag _{0.07} Fe _{0.25}) _{1.00}
	ан. 06.2.1	87,07	12,93		871	(Au _{0.79} Ag _{0.21}) _{1.00}
	ан. 06.1.2	90,85	5,88	3,26	909	(Au _{0.90} Ag _{0.10} Fe _{0.10}) _{0.99}
	ан. 06.3.2	92,31	5,51	2,18	923	(Au _{0.84} Ag _{0.09} Fe _{0.07}) _{1.00}
	ан. 06.3.1	93,93	4,30	1,77	939	(Au _{0.87} Ag _{0.07} Fe _{0.06}) _{1.00}
	ан. 06.1.1	94,11	5,89		941	(Au _{0.90} Ag _{0.10}) _{1.00}
	ан. 08.8.1	96,32	3,68		963	(Au _{0.93} Ag _{0.07}) _{1.00}
	ан. 21.2.2	96,66	3,34		967	(Au _{0.94} Ag _{0.06}) _{1.00}
	ан. 21.1.1	96,70	3,30		967	(Au _{0.94} Ag _{0.06}) _{1.00}
	ан. 21.2.1	96,89	3,11		969	(Au _{0.94} Ag _{0.06}) _{1.00}
	ан. 08.4.1	96,94	3,06		969	(Au _{0.95} Ag _{0.05}) _{1.00}
	ан. 21.3а.2	97,23	2,77		972	(Au _{0.95} Ag _{0.05}) _{1.00}
	ан. 08.5.1	97,27	2,73		973	(Au _{0.95} Ag _{0.05}) _{1.00}
	ан. 08.4.2	97,36	2,64		974	(Au _{0.95} Ag _{0.05}) _{1.00}
	ан. 08.5.4	97,61	2,39		976	(Au _{0.96} Ag _{0.04}) _{1.00}
	ан. 08.5.2	97,73	2,27		977	(Au _{0.96} Ag _{0.04}) _{1.00}
	ан. 08.5.3	97,78	2,22		978	(Au _{0.96} Ag _{0.04}) _{1.00}
	ан. 21.3а.1	98,17	1,83		982	(Au _{0.97} Ag _{0.03}) _{1.00}

Табл. 10. Структури на рудните минерали по рудни зони.

Структури	зона 1	зона 2	зона 3	зона 5	зона 6	зона 7
Идиоморфнозърнеста	•	•	•	•	•	•
Хипидиоморфнозърнеста	•	•	•		•	•
Ксеноморфна	•	•	•	•	•	•
Коломорфна	•	•	•		•	
Зонална	•		•	•	•	•
Скелетна	•	•	•	•		•
Плочеста	•		•		•	
Капковидна	•		•	•		
Иглеста	•	•	•			•
Звездовидна	•	•		•	•	•
Влакнеста	•		•		•	
Бримчеста	•	•		•		•
Радиалнолъчеста	•	•	•			•

VI. СТАТИСТИЧЕСКА ОБРАБОТКА НА ГЕОХИМИЧНИ ДАННИ ОТ ДЕТАЙЛНОТО ПРОУЧВАНЕ

VI.1. ЕДНОМЕРЕН СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ

Едномерният статистически анализ е използван за изследване характера на законите на разпределението за химични елементи. Стандартното отклонение измерва дисперсията около средното число. Медианата е стойността, която разделя площта под кривата на разпределението на две равни части. Минималната стойност е най-малката стойност на числената променлива. Максималната стойност е най-голямата такава и варира за отделните зони. В Табл. 11 са представени данните от *дескриптивната статистика* за всеки един от химичните елементи спрямо отделните зони. Златото има най-висока средна стойност от 5,46 ppm за зона 6. Подчертано еднакъв характер има за зона 5 от 4,25 ppm, за зона 2 от 4,31 ppm и за зона 3 от 3,98 ppm. Драматични разлики се появяват в рудна зона 1, където в източната част средната стойност за злато е 4,11 ppm, а в западната пада на половина - 2,01 ppm. Среброто е с най-високи средни стойности от 19,1 ppm в западната част на зона 1. Съдържанията му имат намаляваща тенденция към зона 3 на 14,4 ppm. В източната част на зона 1 стойностите продължават да падат до 13,1 ppm. В зона 2 стойността е 10,5 ppm, в зона 5 на 9,8 ppm и в зона 6 е с най-ниски стойности от 5,6 ppm. За златото и среброто може да обобщим, че когато стойностите на златото се повишават, тези на среброто намаляват.

Арсенът е с най-високи стойности в зона 3 от 1220 ppm и в зона 6 от 1461 ppm. В останалите зони има сходен характер, като варира в диапазона между 1000 – 1200 ppm. Оловото е с по-високи стойности в западната част на рудна зона 1 с 6663 ppm, докато в източната част на зона 1 стойностите му драстично намаляват на 1792 ppm. Зона 2 и зона 5 имат сходни съдържания от съответно 2627 ppm и 2665 ppm. Към зона 3 и зона 6 стойностите продължават да намаляват на 1619 ppm и 1254 ppm. Цинкът има сходно поведение като това на оловото. Средните му стойности в западната част на зона 1 са 9928 ppm, докато в източната част са едва 2282 ppm. В зона 5 средните стойностите са 4058 ppm. Средните съдържания намаляват във 2, 3 и 6 зона съответно на 2980 ppm, 2642 ppm и 2413 ppm. Тази зоналност в разпределението на оловото и цинка се потвърждава от минераложките изследвания и разпределението на галенит и сфалерит, които в западната част са основни рудни минерали, докато в централните и източните са второстепенни, а на места и редки.

Корелационните зависимости между изследваните елементи са анализирани чрез изготвяне на *корелационни матрици* за зона 1 в участък западен и участък източен (Табл. 12 и Табл. 13). С цел изключване на възможността от грешки и проверка коректността на изследването, данните са използвани след обработка с едномерен статистически анализ. Корелационният коефициент r може да приеме всяка стойност от интервала -1 до +1. Знакът плюс или минус пред коефициента показва посоката на тази връзка. Условно могат да се обособят четири категории корелации в зависимост от абсолютната стойност на

Табл. 11. Резултати от дескриптивна статистика по отделни зони.

Зона 1	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Ca_ppm	Cd_ppm	Co_ppm	Cu_ppm	Fe_ppm	Mn_ppm	Pb_ppm	S_%	Sb_ppm	Zn_ppm
брой проби	1319	1297	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1319	1241	1241
липсващи проби	0	22	78	78	78	78	78	78	78	78	78	0	78	78
средно аритметично	3,93	13,9	1152	8,08	26430	16,7	26,2	513	75481	8753	2364	5,82	70,4	3147
медиана	2,1	5	831	5,00	25500	7,4	27	200	73000	5650	1300	6,75	30	1540
стандартно отклонение	7,19	78,6	1137	9,17	14818	33,4	8,03	1313	18149	11911	3949	3,61	123	5839
минимум	0,01	0,5	24,5	1	600	0,25	1	10,2	24500	141	17,6	0	2,5	45
максимум	99,7	2730	10000	92	119500	535	73	21600	211000	100000	51000	25,6	1452	79500
Зона 1 Изток	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Ca_ppm	Cd_ppm	Co_ppm	Cu_ppm	Fe_ppm	Mn_ppm	Pb_ppm	S_%	Sb_ppm	Zn_ppm
брой проби	1202	1202	1202	1125	1202	1125	1125	1202	1202	1125	1202	1202	1125	1202
липсващи проби	0	0	0	77	0	77	77	0	0	77	0	0	77	0
средно аритметично	4,11	13,1	1092	8,25	23957	12,8	26,2	491	70368	8983	1792	5,76	68,7	2283
медиана	2,18	5	792	5	23550	7	27	191	72100	5560	1139	6,74	30	1266
стандартно отклонение	7,49	80,6	1149	9,07	15324	18,8	8,17	1315	24836	12447	2393	3,55	116	3302
минимум	0,01	0	0	1	0	0,25	1	0	0	144	0	0,0	2,5	0
максимум	99,7	2730	10000	92	119500	222	73	21600	211000	100000	43200	25,6	1125	35500
Зона 1 Запад	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Ca_ppm	Cd_ppm	Co_ppm	Cu_ppm	Fe_ppm	Mn_ppm	Pb_ppm	S_%	Sb_ppm	Zn_ppm
брой проби	117	117	117	116	117	116	116	117	117	116	117	117	116	117
липсващи проби	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
средно аритметично	2,01	19,1	1002	6,49	34222	54,4	25,6	396	77682	6517	6663	6,49	86,8	9928
медиана	1,58	5	780	2,5	34800	20,9	26	175	70700	6585	2778	6,9	29	3937
стандартно отклонение	1,65	42,5	1003	9,92	16149	83,7	6,55	822	26263	3142	9442	4,21	174	14287
минимум	0,01	0	0	2	0	0,5	1	0	0	141	0	0	2,5	0
максимум	9,72	350	8270	64	74100	535	42	8402	185000	15100	51000	19,3	1452	79500
Зона 2	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Ca_ppm	Cd_ppm	Co_ppm	Cu_ppm	Fe_ppm	Mn_ppm	Pb_ppm	S_%	Sb_ppm	Zn_ppm
брой проби	144	143	138	138	138	138	138	138	138	138	138	144	138	138
липсващи проби	0	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6
средно аритметично	4,31	10,5	1195	5,96	10167	21	33,6	679	77741	4168	2627	5,69	62,7	2980
медиана	1,73	5,8	856	2,5	2650	6,2	32	223	74000	709	1640	6,28	33	855
стандартно отклонение	7,69	16,6	1144	6,6	13644	48,7	18,7	2132	20367	7014	3805	4,07	135	7080
минимум	0,05	0,5	61	2	400	0,5	0,5	36	18500	22	29	0	2,5	26
максимум	52,6	123	6642	33	52900	430	161	22600	137000	42200	32100	14,2	1480	61800
Зона 3	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Ca_ppm	Cd_ppm	Co_ppm	Cu_ppm	Fe_ppm	Mn_ppm	Pb_ppm	S_%	Sb_ppm	Zn_ppm
брой проби	154	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	154	149	149
липсващи проби	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	5	5
средно аритметично	3,98	14,4	1220	3,47	36056	15,8	27,3	246	73401	11019	1619	5,31	33,3	2642
медиана	2,34	4,6	937	2	39000	10,8	28	154	70700	8580	1020	5,88	21	1710
стандартно отклонение	4,47	52,7	1043	4,53	18208	16,1	6,96	312	13620	9602	1794	3,08	43	2525
минимум	0,05	0,5	38	2	1500	0,5	5	27	47000	201	94	0	2,5	65
максимум	34,8	585	7210	41	75800	111	53	2590	142500	74800	12950	14,3	310	15450
Зона 5	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Ca_ppm	Cd_ppm	Co_ppm	Cu_ppm	Fe_ppm	Mn_ppm	Pb_ppm	S_pct	Sb_ppm	Zn_ppm
брой проби	370	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	370	368	368
липсващи проби	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2
средно аритметично	4,25	9,76	1049	8,31	31396	21	27,6	403	77184	5723	2665	7,07	90,7	4058
медиана	1,79	4	854	4	29750	9,45	27	178	75600	5265	1175	7,59	24	1780
стандартно отклонение	12,8	26,8	853	10,5	17474	36,9	7,17	663	12814	3781	4905	2,82	214	6927
минимум	0,03	0,5	69	1,5	2000	0,5	9	14,0	45800	81	24	0	2,5	119
максимум	165	445	5930	80	123000	438	71	5450	167500	32300	56600	20,2	1980	69500
Зона 6	Au_calc	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Ca_ppm	Cd_ppm	Co_ppm	Cu_ppm	Fe_ppm	Mn_ppm	Pb_ppm	S_%	Sb_ppm	Zn_ppm
брой проби	77	75	74	74	74	74	74	74	74	74	74	77	74	74
липсващи проби	0	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3
средно аритметично	5,46	5,63	1461	5,34	37819	14,7	27,3	192	73142	8585	1254	5,57	43,6	2413
медиана	2,04	2,9	1224	2,5	36150	8,5	28	128	71050	7612	712	5,93	23	1450
стандартно отклонение	11,1	7,43	1097	8,6	18387	14,7	5,79	171	9378	4498	1361	3,01	54,3	2425
минимум	0,04	0,5	113	1	5000	0,5	8	19	50200	1710	38	0	5	222
максимум	72,1	36,9	6149	53	117500	60,6	42	856	103500	26400	6940	10,2	312	10600

Табл. 12. Корелационна матрица по съдържания на химични елементи за източният участък на рудна зона 1

	Au_calc	Ag_ppm	Al_ppm	As_ppm	B_ppm	Ba_ppm	Be_ppm	Bi_ppm	Ca_ppm	Cd_ppm	Co_ppm	Cr_ppm	Cu_calc	Fe_ppm	Ga_ppm	Hg_ppm	K_ppm	La_ppm	Li_ppm	Mg_ppm	Mn_ppm	Mo_ppm	Na_ppm	Ni_ppm	P_ppm	Pb_calc	S_ppm	Sb_ppm	Sc_ppm	Sn_ppm	Sr_ppm	Tl_ppm	Ti_ppm	U_ppm	V_ppm	W_ppm	Y_ppm	Zn_calc	Zr_ppm	
Au_calc	—																																							
Ag_ppm	0.220	—																																						
Al_ppm	-0.142	-0.037	—																																					
As_ppm	0.513	0.067	-0.125	—																																				
B_ppm	-0.043	-0.097	0.231	-0.103	—																																			
Ba_ppm	0.066	0.030	0.406	0.007	-0.004	—																																		
Be_ppm	-0.168	-0.044	0.849	-0.136	0.095	0.361	—																																	
Bi_ppm	0.211	0.135	-0.328	0.130	-0.140	-0.101	-0.346	—																																
Ca_ppm	-0.300	-0.046	0.062	-0.323	0.087	-0.037	0.140	-0.181	—																															
Cd_ppm	0.184	0.169	-0.111	0.116	-0.015	-0.006	-0.138	0.152	-0.074	—																														
Co_ppm	-0.152	-0.099	0.088	-0.046	-0.018	-0.043	0.117	-0.040	-0.084	-0.122	—																													
Cr_ppm	-0.032	-0.009	0.125	0.011	0.017	0.116	0.282	-0.066	0.067	-0.100	0.120	—																												
Cu_calc	0.290	0.273	-0.100	0.255	-0.042	0.095	-0.121	0.309	-0.093	0.299	-0.168	0.044	—																											
Fe_ppm	0.222	0.056	-0.148	0.238	-0.199	-0.062	-0.291	0.236	-0.407	0.002	0.169	-0.195	0.181	—																										
Ga_ppm	-0.072	0.006	0.806	-0.025	0.233	0.155	0.498	0.035	-0.063	-0.002	0.022	-0.208	0.057	0.131	—																									
Hg_ppm	0.133	0.234	-0.107	0.094	NaN	0.023	-0.062	0.034	0.030	0.302	-0.138	-0.053	0.186	0.015	NaN	—																								
K_ppm	-0.065	-0.006	0.918	-0.076	0.109	0.424	0.751	-0.282	-0.025	-0.044	0.046	0.045	-0.080	-0.079	0.633	-0.020	—																							
La_ppm	-0.262	-0.103	0.535	-0.142	0.200	0.179	0.598	-0.318	0.209	-0.197	0.126	0.154	-0.228	-0.345	0.242	-0.133	0.434	—																						
Li_ppm	-0.228	-0.207	0.824	-0.194	0.124	-0.089	0.366	-0.160	0.300	-0.182	0.077	0.073	-0.114	-0.289	0.686	-0.059	-0.153	0.232	—																					
Mg_ppm	-0.337	-0.051	0.145	-0.372	0.006	-0.024	0.166	-0.190	0.820	-0.090	-0.056	0.051	-0.108	-0.369	0.000	0.035	0.029	0.240	0.546	—																				
Mn_ppm	0.301	0.150	-0.139	0.134	0.066	0.053	-0.094	0.141	0.101	0.211	-0.257	-0.045	0.292	-0.081	-0.113	-0.019	-0.090	-0.246	-0.053	0.056	—																			
Mo_ppm	0.052	0.041	-0.140	0.022	-0.069	-0.052	-0.116	0.050	-0.012	0.042	0.005	0.016	0.035	-0.002	-0.071	0.235	-0.121	-0.103	-0.096	-0.019	0.043	—																		
Na_ppm	-0.128	-0.040	0.327	-0.145	0.318	0.221	0.379	-0.162	0.283	-0.109	0.013	0.241	-0.058	-0.146	0.137	-0.013	0.263	0.166	0.217	0.307	-0.098	-0.053	—																	
Ni_ppm	-0.019	-0.012	-0.069	0.026	-0.024	-0.029	-0.017	0.106	-0.035	-0.032	0.341	0.400	-0.012	0.048	-0.052	-0.016	-0.086	-0.063	-0.022	-0.050	-0.054	0.017	0.016	—																
P_ppm	-0.272	-0.134	0.301	-0.072	0.136	0.082	0.430	-0.207	-0.038	-0.288	0.227	0.227	-0.262	-0.285	0.401	-0.202	0.178	0.532	0.222	-0.019	-0.432	-0.080	0.251	-0.001	—															
Pb_calc	0.171	0.219	-0.053	0.076	-0.029	0.052	-0.094	0.189	-0.127	0.685	-0.106	-0.075	0.265	0.055	0.057	0.253	0.012	-0.157	-0.158	-0.142	0.157	0.035	-0.111	-0.033	-0.218	—														
S_ppm	0.264	0.072	0.036	0.271	NaN	-0.029	-0.172	0.169	-0.341	0.167	0.097	-0.261	0.174	0.482	0.002	0.055	0.134	-0.127	-0.232	-0.310	0.038	-0.006	-0.394	-0.062	-0.328	0.186	—													
Sb_ppm	0.325	0.267	-0.164	0.269	-0.090	0.091	-0.183	0.259	-0.063	0.499	-0.266	-0.045	0.592	0.085	-0.003	0.321	-0.111	-0.331	-0.166	-0.087	0.434	0.070	-0.079	-0.026	-0.424	0.429	0.143	—												
Sc_ppm	-0.215	-0.070	0.881	-0.138	NaN	0.312	0.827	-0.356	0.171	-0.184	0.177	0.390	-0.159	-0.263	0.211	-0.126	0.746	0.692	0.465	0.241	-0.177	-0.147	0.261	-0.005	0.394	-0.126	-0.044	-0.255	—											
Sn_ppm	0.078	-0.094	0.063	0.105	-0.056	-0.238	-0.099	0.286	-0.014	-0.034	-0.017	-0.383	-0.049	0.159	0.069	0.054	0.175	-0.039	-0.063	-0.030	-0.015	-0.093	-0.102	-0.041	0.211	-0.015	0.129	0.041	0.102	—										
Sr_ppm	-0.017	0.025	0.450	-0.055	0.096	0.330	0.377	-0.096	0.073	-0.060	-0.024	0.200	0.109	0.042	0.356	-0.006	0.370	0.195	0.328	0.091	-0.039	-0.056	0.571	-0.011	0.228	0.012	-0.056	0.010	0.340	-0.211	—									
Ti_ppm	-0.115	-0.024	0.977	-0.109	-0.002	0.392	0.803	-0.320	0.056	-0.080	0.083	0.085	-0.079	-0.101	0.785	-0.023	0.919	0.475	0.283	0.123	-0.102	-0.147	0.287	-0.071	0.201	-0.022	0.081	-0.132	0.862	0.034	0.421	—								
Tl_ppm	0.263	0.028	-0.014	0.462	-0.045	0.070	-0.036	0.152	-0.170	0.083	-0.024	0.070	0.149	0.176	0.004	-0.323	-0.024	-0.116	-0.163	-0.193	0.014	0.009	-0.039	0.029	0.014	0.035	0.188	0.231	-0.145	0.030	0.001	-0.033	—							
U_ppm	0.012	0.009	0.048	-0.006	NaN	0.009	0.044	0.010	-0.023	0.031	0.016	0.025	0.016	-0.008	0.009	0.548	0.047	0.007	NaN	-0.041	0.020	-0.003	0.006	0.040	0.032	0.042	-0.029	0.009	0.007	NaN	0.019	0.080	0.062	—						
V_ppm	-0.211	-0.061	0.946	-0.158	0.229	0.356	0.843	-0.336	0.127	-0.160	0.142	0.168	-0.136	-0.203	0.769	-0.138	0.829	0.626	0.638	0.215	-0.186	-0.159	0.287	-0.057	0.400	-0.089	-0.024	-0.230	0.961	0.064	0.407	0.927	-0.051	0.056	—					
W_ppm	0.012	0.000	-0.023	0.023	-0.042	-0.001	-0.002	-0.030	-0.027	0.025	0.013	0.071	-0.002	-0.025	-0.170	0.018	-0.017	-0.003	-0.018	-0.026	0.003	0.011	0.018	0.011	-0.016	0.009	0.003	-0.007	0.065	-0.169	0.014	-0.028	0.033	0.015	-0.023	—				
Y_ppm	-0.345	-0.260	0.456	-0.288	0.273	-0.023	0.611	-0.190	0.591	-0.154	0.084	0.118	-0.192	-0.498	0.403	-0.144	-0.345	0.776	0.376	0.529	-0.028	-0.197	0.070	-0.068	0.547	-0.152	-0.420	-0.252	0.736	0.085	0.319	0.027	-0.269	NaN	0.742	-0.033	—			
Zn_calc	0.170	0.163	-0.093	0.096	-0.046	0.001	-0.118	0.149	-0.074	0.945	-0.106	-0.078	0.274	-0.005	-0.016	0.216	-0.027	-0.184	-0.169	-0.088	0.214	0.037	-0.108	-0.026	-0.287	0.663	0.176	0.472	-0.157	-0.063	-0.055	-0.061	0.033	0.034	-0.140	0.029	-0.153	—		
Zr_ppm	0.007	-0.067	0.139	0.068	-0.014	0.145	0.100	-0.080	-0.072	-0.026	0.000	0.144	-0.024	-0.109	0.418	-0.026	-0.331	0.187	-0.100	-0.050	-0.077	-0.064	0.283	0.011	0.202	-0.036	-0.224	-0.041	0.144	-0.099	0.168	0.309	0.172	NaN	0.137	-0.082	0.070	-0.038	—	

*Au_calc да се разбира като Au_ppm

Табл. 13. Корелационна матрица по съдържания на химични елементи за западния участък на рудна зона 1

	Au_calc	Ag_ppm	Al_ppm	As_ppm	B_ppm	Ba_ppm	Be_ppm	Bi_ppm	Ca_ppm	Cd_ppm	Co_ppm	Cr_ppm	Cu_calc	Fe_ppm	Ga_ppm	Hg_ppm	K_ppm	La_ppm	Li_ppm	Mg_ppm	Mn_ppm	Mo_ppm	Na_ppm	Ni_ppm	P_ppm	Pb_calc	S_ppm	Sb_ppm	Sc_ppm	Sn_ppm	Sr_ppm	Ti_ppm	Tl_ppm	V_ppm	W_ppm	Y_ppm	Zn_calc	Zr_ppm	
Au_calc	—																																						
Ag_ppm	0.370	—																																					
Al_ppm	-0.142	-0.162	—																																				
As_ppm	0.743	0.197	-0.065	—																																			
B_ppm	-0.115	-0.097	0.337	-0.139	—																																		
Ba_ppm	-0.136	-0.210	0.460	-0.141	0.038	—																																	
Be_ppm	-0.159	-0.223	0.788	-0.067	0.128	0.524	—																																
Bi_ppm	0.303	0.514	-0.133	0.061	-0.098	-0.178	-0.245	—																															
Ca_ppm	-0.348	-0.284	0.051	-0.263	0.296	0.328	0.288	-0.362	—																														
Cd_ppm	0.390	0.756	-0.212	0.246	-0.056	-0.297	-0.280	0.442	-0.332	—																													
Co_ppm	0.015	-0.157	-0.038	0.000	-0.149	0.049	0.026	-0.059	0.048	-0.147	—																												
Cr_ppm	-0.043	-0.015	0.017	-0.059	0.199	0.226	0.301	-0.002	0.308	-0.040	0.129	—																											
Cu_calc	0.370	0.787	-0.171	0.122	-0.092	-0.149	-0.216	0.540	-0.276	0.665	-0.061	-0.020	—																										
Fe_ppm	0.298	0.269	0.073	0.189	-0.123	-0.201	-0.144	0.552	-0.448	0.321	0.155	-0.046	0.337	—																									
Ga_ppm	-0.105	-0.094	0.825	-0.076	0.246	0.315	0.591	-0.076	-0.009	-0.103	0.008	-0.110	-0.046	0.061	—	NaN																							
Hg_ppm	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	—																							
K_ppm	-0.075	-0.112	0.892	-0.003	-0.143	0.353	0.628	-0.112	-0.101	-0.136	-0.073	-0.200	-0.145	0.118	0.736	NaN	—																						
La_ppm	-0.247	-0.354	0.376	-0.106	0.194	0.292	0.460	-0.442	0.363	-0.452	0.070	0.108	-0.360	-0.368	0.238	NaN	0.284	—																					
Li_ppm	-0.265	-0.153	0.883	-0.422	0.305	0.038	0.529	-0.222	0.461	-0.249	0.033	0.704	-0.149	-0.446	0.748	NaN	-0.339	0.535	—																				
Mg_ppm	-0.409	-0.326	0.227	-0.363	0.150	0.400	0.311	-0.314	0.691	-0.375	0.190	0.207	-0.270	-0.294	0.158	NaN	0.073	0.408	0.592	—																			
Mn_ppm	0.184	-0.023	-0.164	0.355	0.176	-0.205	-0.148	-0.153	0.137	0.096	0.053	-0.213	-0.121	-0.127	-0.124	NaN	-0.062	0.089	-0.011	0.025	—																		
Mo_ppm	0.117	0.211	-0.511	0.087	0.028	-0.276	-0.378	0.046	-0.044	0.140	0.000	0.090	-0.004	-0.084	-0.518	NaN	-0.436	-0.126	0.059	-0.195	0.166	—																	
Na_ppm	-0.173	-0.119	0.256	-0.190	0.734	0.458	0.440	-0.120	0.454	-0.183	0.011	0.565	-0.070	-0.130	0.134	NaN	0.064	0.205	0.689	0.424	-0.413	-0.148	—																
Ni_ppm	0.042	0.011	-0.058	0.021	0.088	0.114	0.172	0.028	0.251	0.001	0.367	0.719	0.036	0.057	-0.095	NaN	-0.222	0.058	0.282	0.190	-0.038	0.058	0.331	—															
P_ppm	-0.212	-0.245	0.337	-0.125	0.106	0.337	0.522	-0.321	0.219	-0.262	0.047	0.413	-0.232	-0.189	0.381	NaN	0.214	0.271	0.155	0.165	-0.247	-0.167	0.457	0.214	—														
Pb_calc	0.365	0.772	-0.170	0.243	-0.085	-0.284	-0.286	0.522	-0.413	0.863	-0.204	-0.044	0.597	0.347	-0.096	NaN	-0.089	-0.420	-0.276	-0.438	-0.004	0.190	-0.190	-0.036	-0.231	—													
S_ppm	0.429	0.273	-0.119	0.339	NaN	-0.478	-0.355	0.435	-0.634	0.423	0.099	-0.327	0.240	0.698	-0.089	NaN	0.130	-0.365	-0.935	-0.504	0.223	0.098	-0.596	-0.145	-0.411	0.448	—												
Sb_ppm	0.327	0.595	-0.024	0.128	-0.051	-0.102	-0.096	0.443	-0.289	0.491	-0.083	-0.037	0.775	0.239	0.096	NaN	0.010	-0.197	-0.111	-0.271	-0.098	-0.009	-0.085	-0.026	-0.123	0.502	0.268	—											
Sc_ppm	-0.089	-0.295	0.642	-0.073	NaN	0.414	0.546	-0.213	0.137	-0.315	0.383	0.355	-0.232	-0.071	0.316	NaN	0.387	0.477	0.772	0.392	-0.064	-0.151	0.218	0.315	0.263	-0.299	-0.142	-0.098	—										
Sn_ppm	-0.164	-0.113	0.127	-0.074	-0.103	-0.218	-0.045	-0.117	0.021	-0.052	0.087	0.011	-0.102	-0.062	0.229	NaN	-0.209	-0.128	0.100	0.085	0.002	-0.100	0.011	-0.183	0.126	0.002	0.167	-0.110	-0.142	—									
Sr_ppm	-0.140	-0.097	0.344	-0.185	0.372	0.456	0.462	-0.017	0.335	-0.162	0.038	0.594	-0.026	0.003	0.189	NaN	0.137	0.120	0.748	0.308	-0.443	-0.204	0.855	0.367	0.509	-0.148	-0.443	0.046	0.300	0.033	—								
Ti_ppm	-0.103	-0.147	0.962	-0.032	-0.051	0.418	0.698	-0.125	-0.037	-0.186	0.013	-0.093	-0.142	0.124	0.830	NaN	0.899	0.342	0.099	0.182	-0.127	-0.525	0.142	-0.098	0.280	-0.133	-0.004	0.015	0.739	0.107	0.251	—							
Tl_ppm	-0.033	-0.001	0.744	0.034	-0.284	0.239	0.497	0.014	-0.038	-0.034	-0.056	-0.122	-0.010	0.190	0.648	NaN	0.683	0.113	-0.220	0.065	-0.126	-0.497	0.114	-0.072	0.206	0.002	NaN	0.073	NaN	0.249	0.169	0.758	—						
V_ppm	-0.139	-0.196	0.904	-0.070	0.304	0.445	0.743	-0.164	0.070	-0.244	0.129	0.146	-0.177	0.072	0.802	NaN	0.768	0.439	0.872	0.306	-0.157	-0.476	0.230	0.072	0.386	-0.200	-0.091	-0.011	0.904	0.112	0.343	0.921	0.644	—					
W_ppm	-0.011	-0.126	0.380	0.032	NaN	0.165	0.282	-0.078	-0.087	-0.029	0.019	0.082	-0.197	0.074	-0.014	NaN	0.364	0.168	0.262	0.024	-0.031	-0.030	0.041	-0.039	-0.150	-0.016	0.143	-0.081	0.406	0.026	0.075	0.368	0.025	0.365	—				
Y_ppm	-0.393	-0.344	0.188	-0.143	0.195	-0.059	0.233	-0.515	0.795	-0.367	-0.190	0.072	-0.377	-0.456	0.379	NaN	-0.041	0.408	0.206	0.514	0.410	-0.347	0.243	-0.046	0.695	-0.421	-0.229	-0.330	0.541	0.056	0.487	0.285	-0.177	0.283	-0.358	—			
Zn_calc	0.394	0.707	-0.196	0.252	-0.106	-0.306	-0.276	0.450	-0.352	0.991	-0.143	-0.043	0.617	0.352	-0.093	NaN	-0.117	-0.456	-0.280	-0.378	0.099	0.124	-0.195	-0.006	-0.270	0.862	0.467	0.472	-0.294	-0.047	-0.167	-0.166	-0.019	-0.225	0.006	-0.393	—		
Zr_ppm	-0.089	0.096	0.639	-0.131	0.192	-0.282	0.342	0.070	0.109	0.054	0.081	0.375	0.115	-0.008	0.859	NaN	-0.798	0.104	0.497	0.099	-0.334	-0.383	0.639	0.315	0.523	0.007	-0.507	0.112	0.498	0.109	0.559	0.566	-0.225	0.572	-0.354	0.120	0.028	—	

*Au_calc да се разбира като Au_ppm

коефициента на корелация: независими елементи, елементи със слаби, средни и високи корелационни връзки. Абсолютната стойност на коефициента показва силата на взаимовръзката. Условно получените корелационни връзки със значими стойности на злато са оцветени за по-ясното им разграничаване.

В таблица 12 са показани резултатите от корелационната матрица на участък източен от рудна зона 1. Видно е, че златото показва положителна корелация със Ag, As, Bi, Cd, Cu, Pb, S, Sb и Zn и отрицателна корелация с Mg и Ca.

В таблица 13 за участък западен на рудна зона 1 се вижда положителна корелация на златото с As, Mn и Sb и отрицателна корелация с Mg и Ca.

Корелацията на злато с арсен за зона 1 е значително по-силна в източния участък с коефициент на корелация 0,743. С останалите химични елементи тя е по-скоро умерена (Табл. 12). По-силна корелация на златото с Mn има в източната част на зона 1 и е свързана с наличието на родохрозит в рудните жили и дебелината им, докато в западната част жилатите е с много по-малки дебелини и на много места отсъства (Табл. 12). Изведени са и корелационните зависимости на злато спрямо останалите химични елементи за рудни зони 1, 2, 3, 5 и 6 (Табл. 14). Поради малко на брой данни, за рудна зона 7 не е направена статистическа оценка. Със зелен цвят са отбелязани силните корелации. Такива са между арсена и златото в рудни зони 3, 5 и 6. Само рудна зона 2 има слаба корелация между тези елементи от 0,351. В оранжев цвят е средна по степен корелация. Най-ясно издържани са елементите в западната част на зона 1. С бял цвят е отбелязана слабата корелация между елементите. Видно е, че зона 2 има най-слаба или липсваща корелация с химичните елементи.

Въз основа на графиките за *честотното разпределение* е видно, че всички елементи показват сходство в поведението. Имат силно изразена положителна асиметрия с ясно изразена „опашка“ във високите стойности, което води до ляво изтеглено разпределение. Това разпределение показва, че елементите асоцииращи със златото са свързани с хидротермалните процеси и са със значително по-високи съдържания в рудните зони, от където идва и връзката им с положителната корелация на златото. В тази връзка има наличие на правопрпорционална зависимост в пространственото разпределение на данните. Останалите два елемента - Mg и Ca имат обратна корелация със златото. Те асоциират повече с пропилитизацията. В нея се наблюдават повече карбонатни минерали в гнезда и неиздържани или тънки жилки. Има излужване на мафични минерали и присъствие на хлорит. Обикновено в зони на пропилитизация не се срещат рудните минерални асоциации и това обяснява обратнопропорционалните антиподни зависимости на златото с тези два елемента.

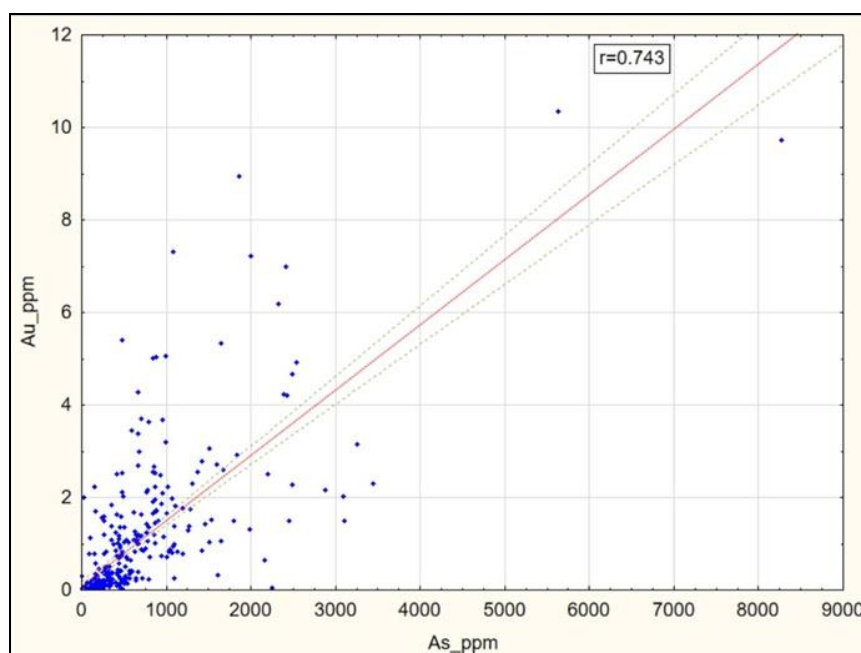
Изготвени са *корелационни диаграми и хистограми на разпределение* на злато и арсен, и за останалите рудни зони. Червената крива теоретичното представлява нормално разпределение. Тя е начертана въз основа на пресметнатите средноаритметично и стандартно отклонение. При сравнение със стълбчетата на хистограмата се вижда, че разпределението на злато е силно

симетрично, като в по-голяма степен това е така за по-малките рудни зони, докато за зона 1 то е малко по-равномерно.

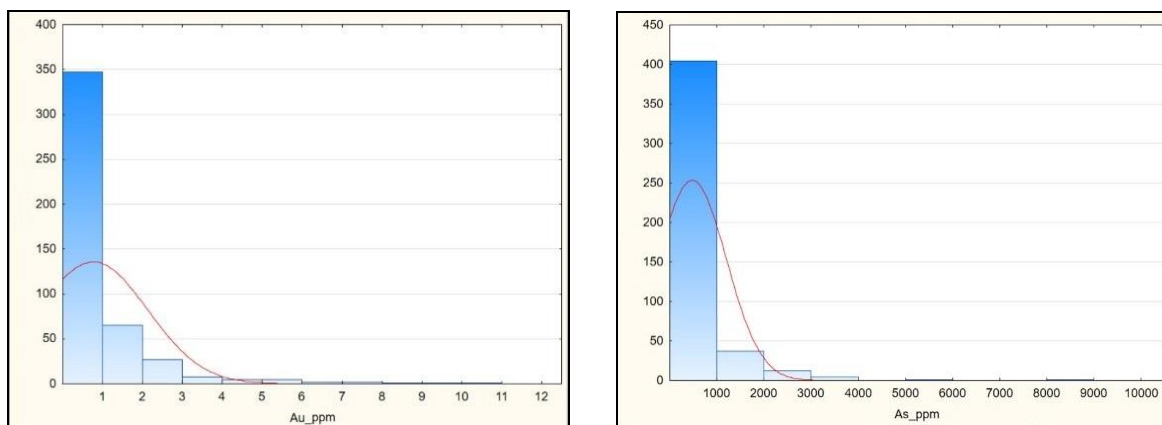
Табл. 14. Корелация на злато с останалите химични елементи за рудни зони 1, 2, 3, 5 и 6.

	зона 1 запад	зона 1 изток	зона 2	зона 3	зона 6	зона 5
Ag	0,370	0,220	0,161	0,314	0,354	0,332
As	0,743	0,513	0,351	0,536	0,497	0,569
Bi	0,303	0,211	0	0	0	0,290
Cd	0,391	0,184	0	0,391	0,242	0,197
Cu	0,371	0,291	0	0,152	0,429	0,217
Fe	0,298	0,222	0	0,175	0	0,282
Mn	0,184	0,301	0,147	0,367	0,432	0
Pb	0,365	0,171	0,112	0,151	0,202	0,231
S	0,429	0,264	0,191	0,341	0,219	0,340
Sb	0,327	0,325	0,125	0,262	0,468	0,220
Zn	0,394	0,171	0	0,365	0,236	0,193
Ca	-0,348	-0,301	-0,199	-0,196	0	-0,362
Mg	-0,409	-0,337	-0,193	-0,232	-0,106	-0,365

Диаграмата на разсейване (Фиг. 96) и хистограмите по Au и As за западния участък на рудна зона 1 (Фиг. 97) са направени по 350 броя проби. Те са силно асиметрични и изтеглени на ляво. Има единични ураганни проби с много високи (аномални) съдържания.



Фиг. 96. Диаграма на разсейване по Au_ppm и As_ppm за западния участък на рудна зона 1



Фиг. 97. Хистограма по Au_ppm и As_ppm за западния участък на рудна зона 1

Диаграмата на разсейване (Фиг. 98) хистограмите по Au и As за източния участък на рудна зона 1 (Фиг. 99) са направени по 4500 броя проби. Те са силно асиметрични и изтеглени на ляво. Има единични ураганни проби с много високи съдържания.

При корелационната диаграма за цялата зона 1 по злато и сребро, коефициентът на корелация на двата елемента показва слаба до умерена положителна корелация, а именно 0,4139. Пробите с по-високо съдържание на злато обикновено съдържат и малко повече сребро, но зависимостта не е силна. Това предполага, че част от златото и среброто са свързани генетично. Има и независими минерални фази, които съдържат сребро.

Хистограмата по Au за апофиз 2 на рудна зона 1 направена по 580 броя проби. Вижда се, че нормално разпределение е асиметрично и изтеглено на ляво, но значително се различава от това за източния и западния участък на същата зона. Корелационната диаграма показва слаба до умерена положителна корелация, а именно 0,3268.

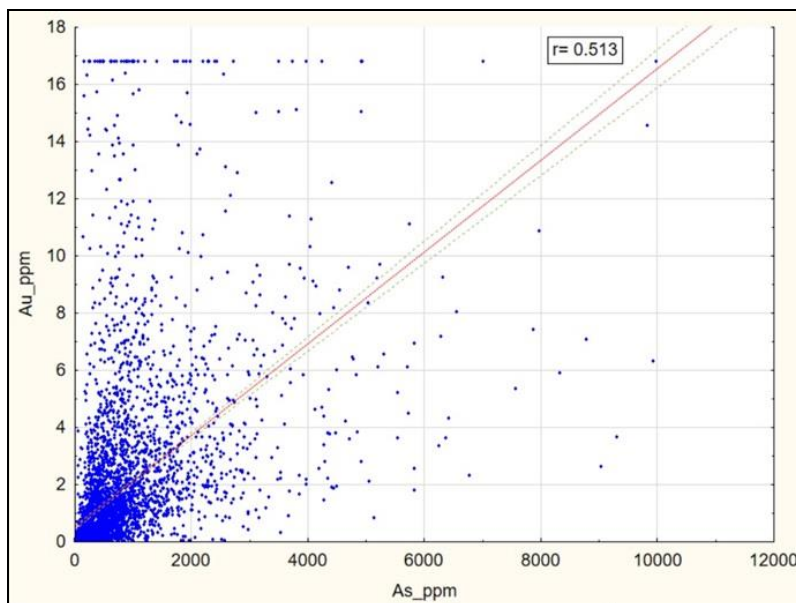
Изведени са стойностите за рудна зона 2 и нейния апофиз 1. Анализът е направен по 300 броя проби за зона 2 и по 110 броя за апофиз 1 на рудна зона 2. Показва нормално разпределение изтеглено наляво. Корелацията е независима $r = 0,1018$. Вероятно среброто и златото са свързани с различни минерални фази кристализирали по различно време.

При зависимостите за рудна зона 3, разпределението в хистограмата е направено по 490 броя проби на злато. Графиката е асиметрична дясно изтеглено и има дълга опашка към по-високите стойности. На диаграма на разсейване по злато и сребро коефициента на корелация е $r = 0,3144$. Това показва слаба, но отчетлива положителна корелация между двата елемента.

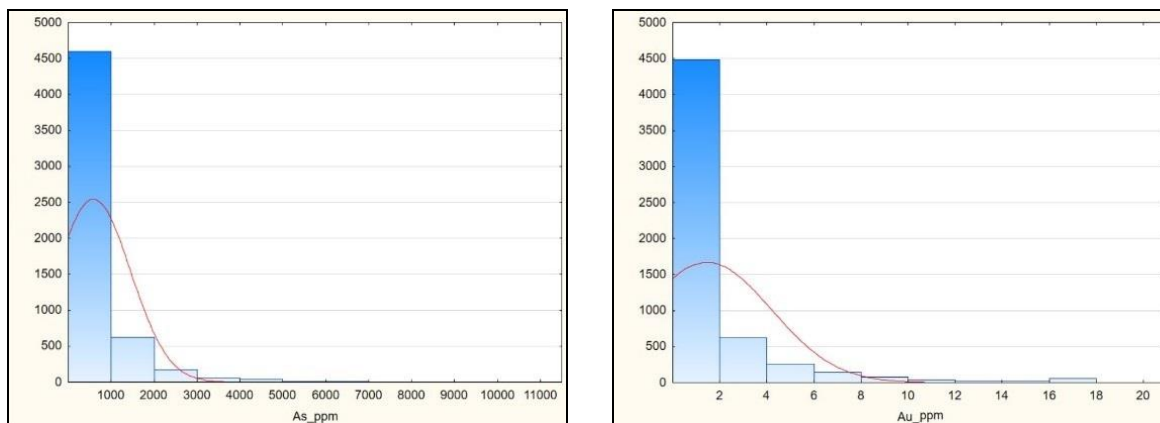
Зависимостите между трите апофизи на рудна зона 5 имат различните стойности, макар и в близки по местоположение орудени участъци. За апофиз 1 анализът е направен по 49 броя проби. При 2 и 3 апофизи броя на пробите е значително по-голям, съответно 630 и 308. Резултатът е асиметрична хистограма, ляво изтеглена със слаба или независима корелация.

При диаграмата на разсейване по Au и Ag отново апофизите имат сходно поведение. Корелацията е слаба положителна с неравномерно разпределение за апофиз 1 и значително по-добре концентрирана за 2 и 3 апофизи.

Рудна зона 6 има подобно поведение като зона 5. Анализираният данни са 310 броя. Асиметрична, ляво изтеглена хистограма и слаба корелация между злато и сребро.



Фиг. 98. Диаграма на разсейване по Au_ppm и As_ppm за източният участък на рудна зона 1



Фиг. 99. Хистограма по Au_ppm и As_ppm за източният участък на рудна зона 1

Анализът на получените статистически параметри показва, че елементите притежават положително асиметрични разпределения, т.е. по-голямата част от пробите са с ниски съдържания и в малко от пробите са измерени високи съдържания на дадения елемент. Асиметричните разпределения са най-често срещани при геохимични изследвания на поведението на химичните елементи, характеризиращи се с привнос или износ на дадения елемент от системата. С най-добре изявена положителна асиметрия се отличават разпределенията на елементите, привнесени от наложен рудообразователен процес.

VI.2. КЛЪСТЕР АНАЛИЗ

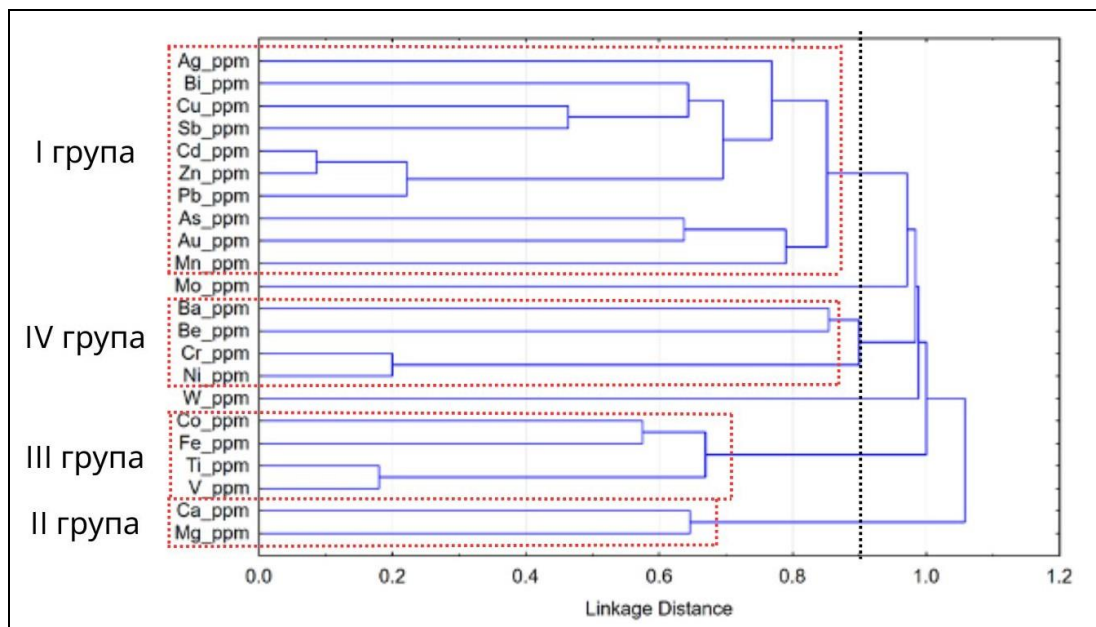
Клъстерният анализ представлява статистически метод, който е използван за групиране на елементи въз основа на тяхната сходност. Основната цел е да се идентифицират естествени клъстери, така че да са максимално сходни помежду си, а различията между отделните клъстери да са максимално големи (Фиг. 106). Използван е йерархичен метод на групиране. Резултатите се представят графично чрез дендрограма, която визуализира процеса на обединяване. Въз основа на направения анализ се разграничават четири основни групи от елементи. Те са обозначени с римски цифри от I до IV. По оста на абсцисата е корелацията между елементите (важно е да се отбележи, че в случая е във формат 1 – r). По оста на ординатата са разположени изследваните химични елементи. Височината на свързване показва степента на различие между клъстерите. С червена пунктирана линия са оградени елементите с висока корелация. С черна пунктирана линия е показана границата на статистически значимите стойности.

В началото елементите с най-голямо сходство образуват ядрата на групите. Това са следните елементи: I гр. Cd и Zn, II гр. Ca и Mg, III гр. V и Ti, IV гр. Cr и Ni. Групирането продължава докато всички елементи се обединят в една група. I група е представена от елементите Ag, Bi, Cu, Sb, Cd, Zn, Pb, As, Au и Mn. С най-висока връзка са елементите Cd и Zn със стойност 0,1, което съответства на корелация около 0,9 (конкретните стойности на коефициентите на корелация между отделните двойки елементи са показани на корелационните матрици). Към тях се включва Pb с корелация около 0,8. Следващите елементи с ясна корелация за Sb и Cd със стойности 0,5. Към тях се включват Cu и Bi с 0,7 и Ag с 0,8 (съответно с корелации 0,3 и 0,2). Към тях с още по-слаба зависимост се добавят As, Au и Mn. Тази група обединява предимно благородни и тежки метали. Те асоциират с хидротермалните процеси и сулфидната минерализация. II група е на елементите Ca и Mg. Тяхната връзка е малко след 0,6 (стойност на корелация 0,4). Те не се корелират с останалите групи от елементи. III група от елементи е от Fe, Ti, V и Co. Ti и V са с корелация около 0,8. Към тях се добавят Fe и Co при стойност 0,65 (корелация 0,35). Последната IV група е на елементите Ba, Be, Cr и Ni. Елементите Cr и Ni са с корелация около 0,8. Към тях са Ba и Be със стойности 0,85 (с много слаба корелация от 0,15). Mo и W не показват корелация с нито един от елементите. Те не взимат участие и в рудообразователните процеси.

Полученото подреждане на елементите отразява структурата на техните взаимовръзки. Като мярка за сходство между елементите е използван коефициентът на корелация r. За оценка на сходството между вече образуваната група и друг елемент е използвано претеглено средноаритметично усредняване на корелациите, което води до най-малка загуба на информация при по-късните стадии на групиране. При обединяване на две групи, броят на обектите във всяка група се използва като тегла при усредняването. Дендрограмата е важен инструмент за интерпретация на геохимичните процеси и минерализирани зони.

Клъстерният анализ е мощен инструмент за обработка и интерпретация на многомерни геохимични данни, който позволява да се разкрият структурни

зависимости в данните и да се изведат геоложки интерпретации на базата на статистическа обоснованост. Резултатите от такъв анализ подпомагат идентифицирането на минерализационни полета, търсенето на рудни тела и разбирането на геохимичните процеси, протичащи в дадена област.



Фиг. 106. Дендрограма от клъстер анализа

VI.3. ФАКТОРЕН АНАЛИЗ

За целите на факторния анализ са използвани данни от проучвателното сондиране. И при този способ, както при предходните, са използвани 22 химични елемента. Резултатите от факторния анализ са представени в Табл. 15. Поради малкото на брой данни за рудна зона 7, тя не е включена в този статистически анализ. За изява на геохимичните асоциации е извършено разлагане по 6 факторни оси. Най-значимите факторни тегла на елементите, които изграждат ядрото на дадена група със стойности над 0,7. За фактор 1 елементите с такива факторни тегла са: Cd 0,919101, Pb 0,838153 и Zn 0,915405. За фактор 2 са: Ti 0,801004 и V 0,865131. За фактор 3 са: Cr 0,907819 и Ni 0,937645. За фактор 4 са: Cu 0,777120 и Sb 0,736246. За фактор 5 е Be -0,722406 и за фактор 6 е As със 0,709866. Елементите показващи силна тенденция за принадлежност към дадена група (тегла със стойности между 0,7 и 0,5) са: За фактор 2 това са теглата на елементите Co 0,650070 и Fe 0,661194. За фактор 4 е Bi 0,620976. За фактор 5 е Ba -0,615572. За фактор 6 са Au 0,547751 и Mg -0,622256. Елементи, които показват до известна степен добра връзка са (тегла между 0,5 и 0,4): За фактор 2 това е Ca -0,478813. За фактор 4 е Ag 0,460687. За фактор 6 са Ca -0,479001 и Mn 0,497457. Елементи със слабо изразена връзка към дадена група са дадени с наклонен шрифт (тегла от 0,4 до 0,2). За фактор 1 това е Sb с тегло от 0,238737. За фактор 3 е Co 0,317638. За фактор 4 са: As 0,296357, Au 0,256040, Ba 0,209070, Be -0,261221, Cd 0,209265, Fe 0,293580, Pb 0,319745 и Zn 0,202217. За фактор 5 са: Ca 0,260469, Fe 0,293082 и Mg 0,313753. За фактор 6 са: Fe 0,222901 и Ti -0,217914. В

последните два реда на табл. 15 е показана отчетената дисперсия по всеки фактор и нейната пропорционална част спрямо общата дисперсия на данните.

Табл. 15. Факторен анализ за определяне на пространствените геохимични асоциации (изведени са само факторните тегла).

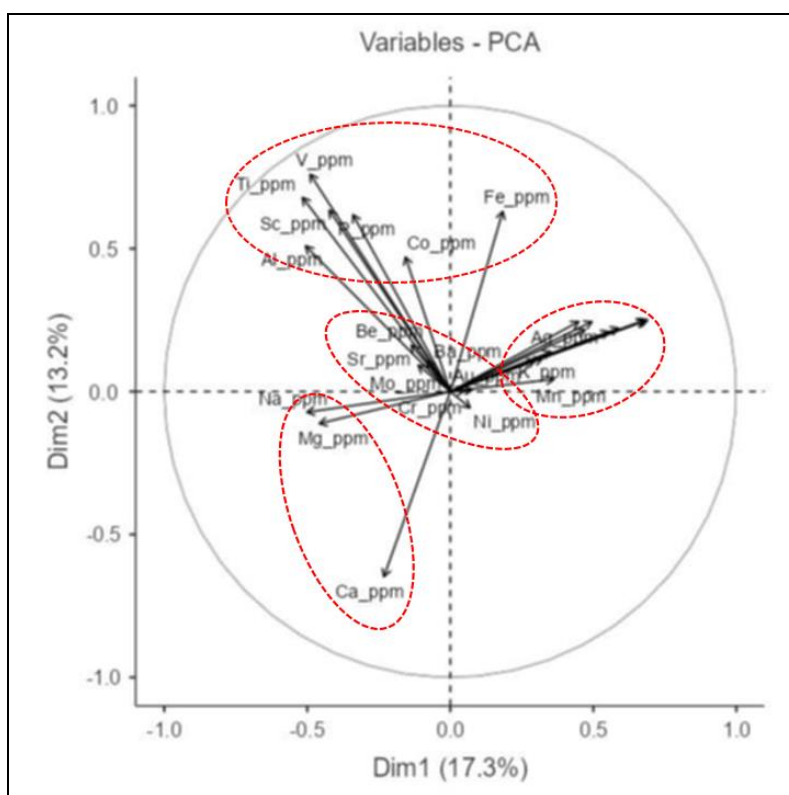
Химичен елемент [ppm]	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6
Ag	0,129538	-0,034905	-0,014001	0,460687	0,008553	0,120547
As	0,042227	0,050795	0,062438	0,296357	0,028852	0,709866
Au	-0,111833	-0,022826	0,020344	0,256040	0,083714	0,547751
Ba	-0,125752	0,020482	0,055676	0,209070	-0,615572	-0,054150
Be	0,105433	0,036271	0,168534	-0,261221	-0,722406	0,136835
Bi	0,161150	0,034319	0,038025	0,620976	0,058981	0,099131
Ca	-0,176895	-0,478813	0,113403	-0,123995	0,260469	-0,479001
Cd	0,919101	-0,018240	0,013075	0,209265	0,031119	0,103896
Co	-0,023048	0,650070	0,317638	-0,043445	0,179290	0,055518
Cr	0,003650	-0,034024	0,907819	0,068698	-0,148048	0,000789
Cu	0,059131	0,028717	0,046833	0,777120	-0,095395	0,100236
Fe	0,104801	0,661194	0,024511	0,293580	0,293082	0,222901
Mg	-0,174965	0,134517	0,136188	-0,066101	0,313753	-0,622256
Mn	0,116927	-0,043619	0,015330	0,031830	0,042296	0,497457
Mo	0,064661	-0,013296	0,076506	-0,059073	0,106736	0,146235
Ni	0,010439	-0,027687	0,937645	0,032096	-0,001681	-0,004474
Pb	0,838153	-0,027846	0,003228	0,319745	0,029539	0,075001
Sb	0,238737	-0,040914	-0,000828	0,736246	-0,072103	0,099695
Ti	-0,072426	0,801004	-0,176495	-0,122495	-0,157082	-0,217914
V	-0,078108	0,865131	-0,099284	-0,072003	-0,134671	-0,176053
W	0,090085	0,027573	0,089191	-0,019597	0,110057	0,070748
Zn	0,915405	-0,012106	0,018586	0,202217	0,057566	0,124182
Отчетена дисперсия	2,640530	2,512934	1,931445	2,334715	1,305999	1,923549
Част от дисперсията %	0,120024	0,114224	0,087793	0,106123	0,059364	0,087434

Изведени са групите от елементи със сходни пространствени изменения на съдържанията, интерпретирани като геохимични асоциации. Условно, при изписването на асоциациите по-долу с квадратни скоби са оградени ядрата на факторите. Това са елементи с най-високи тегла. С обикновени скоби са тези с по-слаби тегла. Със знак „+” са добавени елементите, които са независими, но показват слаба тенденция за присъединяване към дадената група.

Разделението на рудна зона 1 на участъци запад и изток е на базата разпределението на геохимичните асоциации свързани с фактори 1, 4 и 6, описани по-нагоре в текста и представени в Табл. 15. Тази закономерност се потвърждава от предходните статистически и минераложки изследвания. Резултатите от

дендрограмата (Фиг. 106) са използвани за обособяване и проверка на основните групи елементи, получени от факторния анализ.

Чрез метода на *главните компоненти PCA* са дефинирани нови 22 броя оси. Това е първоначалния брой на изследваните променливи. Представяват съвкупност от вектори, описващи елипсоида на разсейване на данните. Осите на търсените главни компоненти представляват линейни комбинации от отделните химични елементи (Фиг. 107). Всяка от получените факторни оси отчита съвместно поведение на дадена група от зависими помежду им променливи или самостоятелното поведение на някои от независимите променливи. Векторите отразяват положението на химични елементи във факторното пространство. Колкото по-дълга е стрелката и колкото по-близо до периферията се намира, толкова по-силно променливата се обяснява от първите две компоненти.



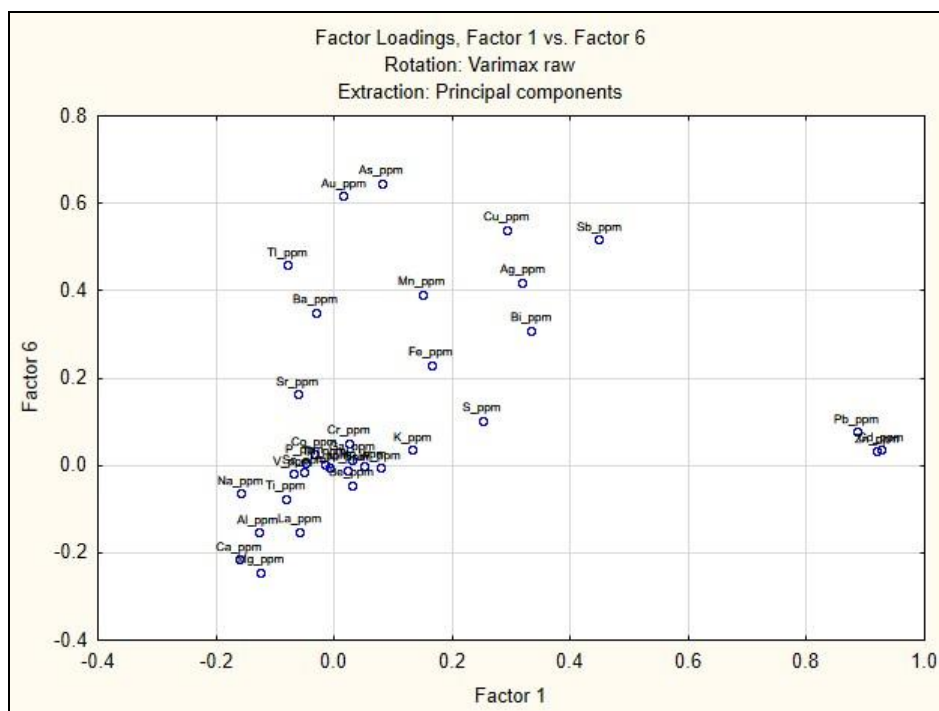
Фиг. 107. PCA (principal component analysis) графика на главните компоненти

Променливите, които сочат в еднаква или сходна посока, се корелират положително по между си, например: Ag, Zn, Pb, Cu и Cd; Fe и Co. Променливи сочещи в противоположни посоки се корелират отрицателно - например с Ca и Mg спрямо останалите елементи. Двата елемента са близо един до друг и са свързани по между си, но са в противоположна посока на Ag, Zn, Pb, Cd и Cu. Това предполага, че където Mg и Ca са с високи съдържания, тогава Ag, Zn, Pb, Cd и Cu обикновено са ниски концентрации и обратно. Получените резултати потвърждават данните от дендрограмата.

Важна разновидност на факторния анализ е *R-методът*. Той е използван за редуциране на размерността на пространството и за изключване на излишните

факторни оси описващи поведението на единични променливи. Координатната система не се променя, а се съсредоточава в ортогонална база, така че да се подредят координатите. Чрез анализ на главните компоненти на отделните фактори се обособяват групи. Всяка една променлива има високи тегла само в един фактор, а при останалите фактори натоварванията са близки до 0 и се формира от няколко променливи с много високи натоварвания върху този фактор. От гледна точка на отделните химичните елементи по отделните фактори, *varimax* търси такава база, която най-представително да покаже всеки фактор.

Корелационната матрица на данните и взаимовръзките между променливите се разглежда като корелационна зависимост на всяка променлива с новите ортогонални фактори. Получените фактори не са добре ориентирани по направлението на регресионната зависимост на дадена група. За целта е използвана *нормализирана „varimax“ ротация*, като практическия ефект е допълнителното увеличаване на високите тегла във всеки фактор и намаляване на ниските.



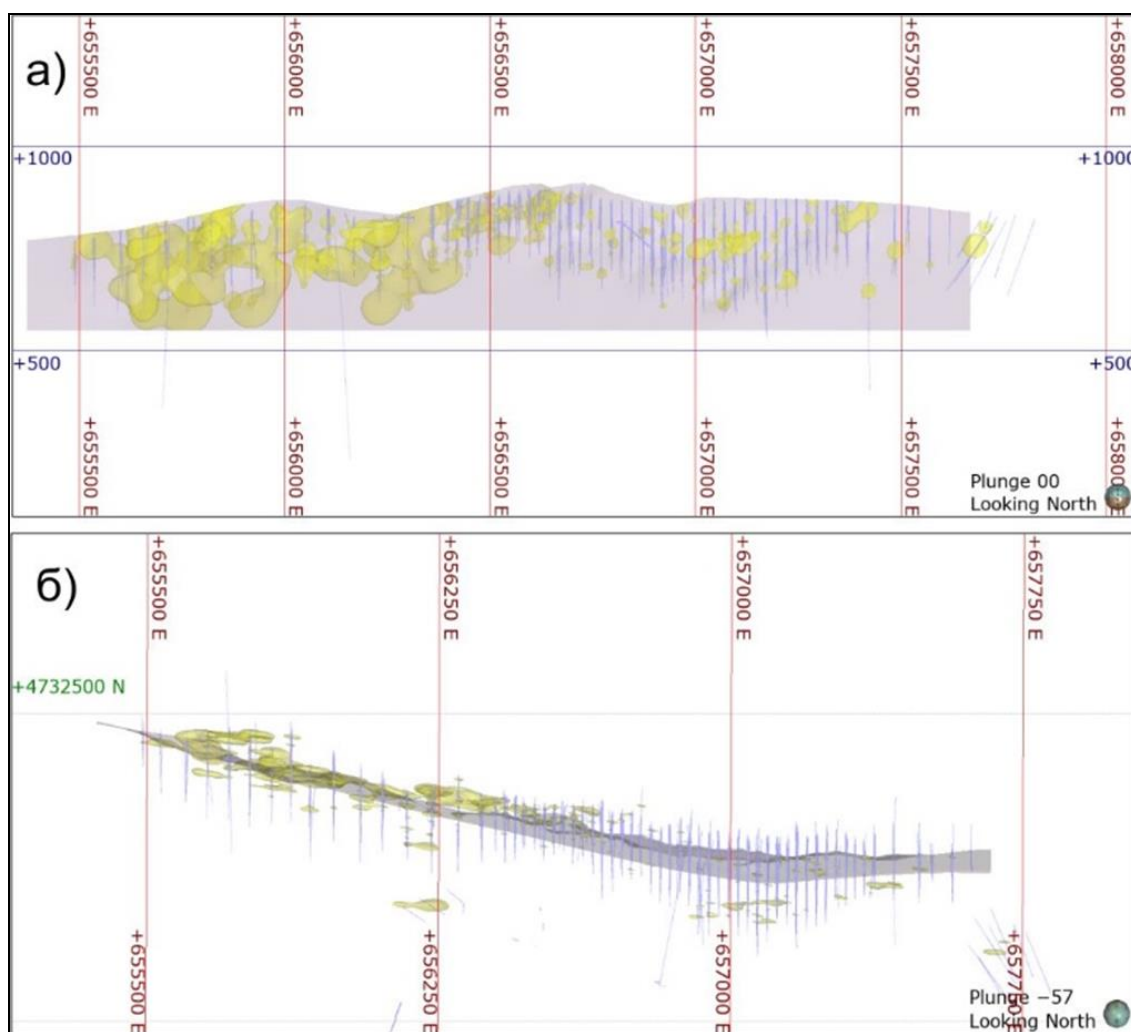
Фиг. 108. Скатерплот от факторния анализ с *Varimax* ротация по фактор 1 и фактор 6

На Фиг. 108 по оста X е представен Фактор 1, а по оста Y Фактор 6. Със сини кръгове са отделните елементи в ppm. Колкото по-близо е точката до нулата на графиката по някоя ос, толкова по-силно е натоварването на съответната променлива върху този фактор. Pb има много високо натоварване по Фактор 1 с около 0,9 ppm, но почти нула по Фактор 6. As и Au имат високи натоварвания по Фактор 6 около 0,6 ppm, но по-малки по Фактор 1. Факторите могат да се нарекат според най-високи натоварвания: Фактор 1 е свързан с Pb. Фактор 6 е свързан с As, Au и Cu. Променливите, които са близо до 0 не са ключови за тези два фактора.

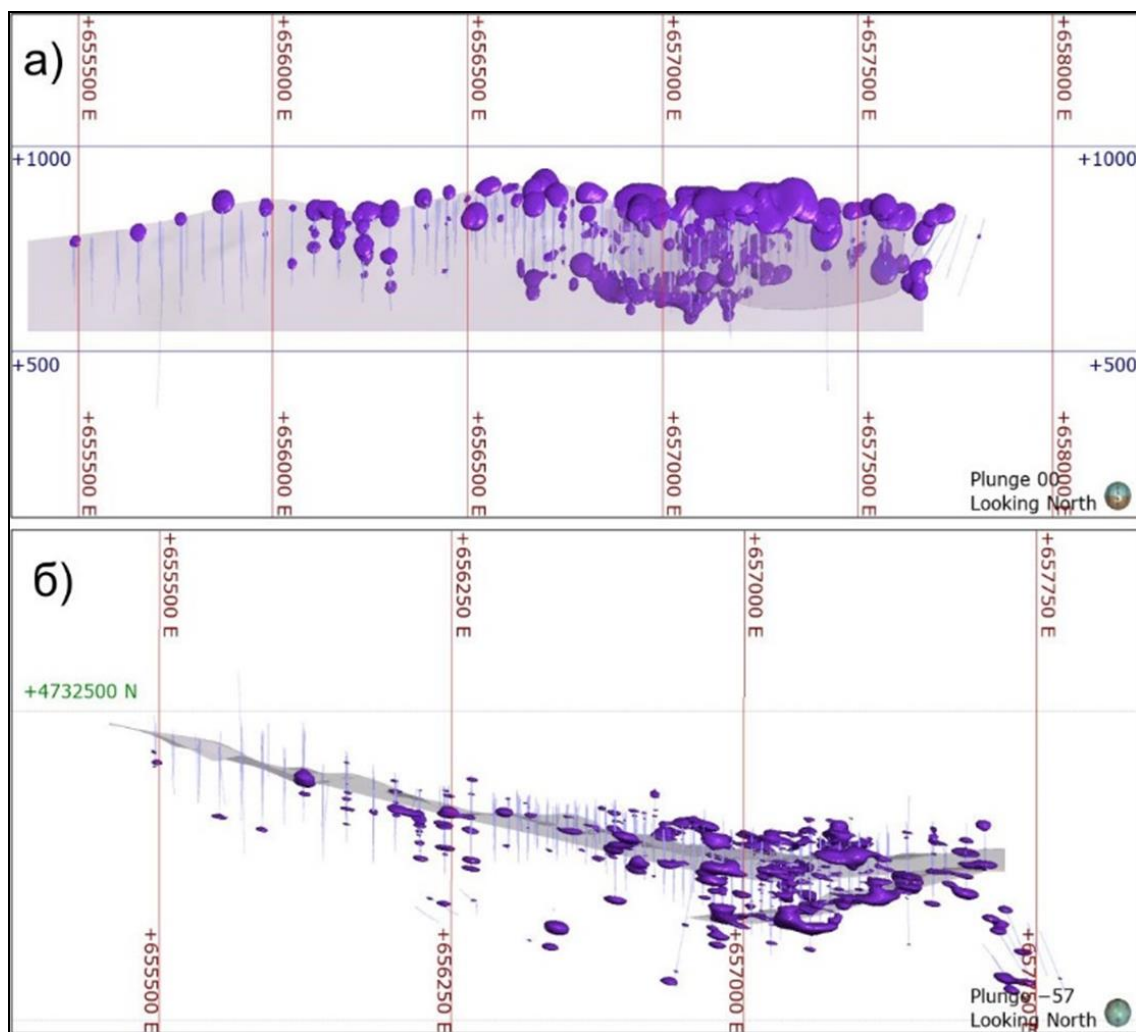
Основната цел при обединяването на различни статистически методи в обща последователност е за да се анализират геохимични ореоли и геохимични асоциации. На база резултатите от факторния анализ и триизмерното моделиране направени по 22 химични елемента, получените фактори са разпределени в 6 оси. Въз основа на факторния анализ могат да се изчислят оценките за всяка извадка в даден фактор. Този подход дава възможност да се обвържат пространствените факторни оценки с химичните елементи и минералните асоциации.

В резултат на прилаганите методи в находище „Милин камък“ са установени 6 факторни групи със сходно пространствено разпределение:

- [Cd, Zn, Pb] асоциация на Фактор 1 (Фиг. 111);
- ([V, Ti] Fe, Co) – Ca асоциация от Фактор 2 (Фиг. 112);
- ([Ni, Cr] + Co асоциация от Фактор 3 (Фиг. 113);
- ([Cu, Sb] Bi) + Ag, Pb $\pm$ As, Fe, Au, Ba, Zn асоциация от Фактор 4 (Фиг. 114);
- [Be, Ba], позитивна $\pm$ Mg, Fe, Ca асоциация от Фактор 5 (Фиг. 115);
- ([As] Au) Mn $\pm$ Fe - ([Mg] Ca) $\pm$ Fe асоциация от Фактор 6 (Фиг. 116);



Фиг. 111. Схема на разпределение на [Cd, Zn, Pb] геохимична асоциация по Фактор 1. а) в напречен разрез и б) в план



Фиг. 112. Схема на разпределение на $([V, Ti] Fe, Co) - Ca$ геохимична асоциация от фактор 2. а) в напречен разрез и б) в план

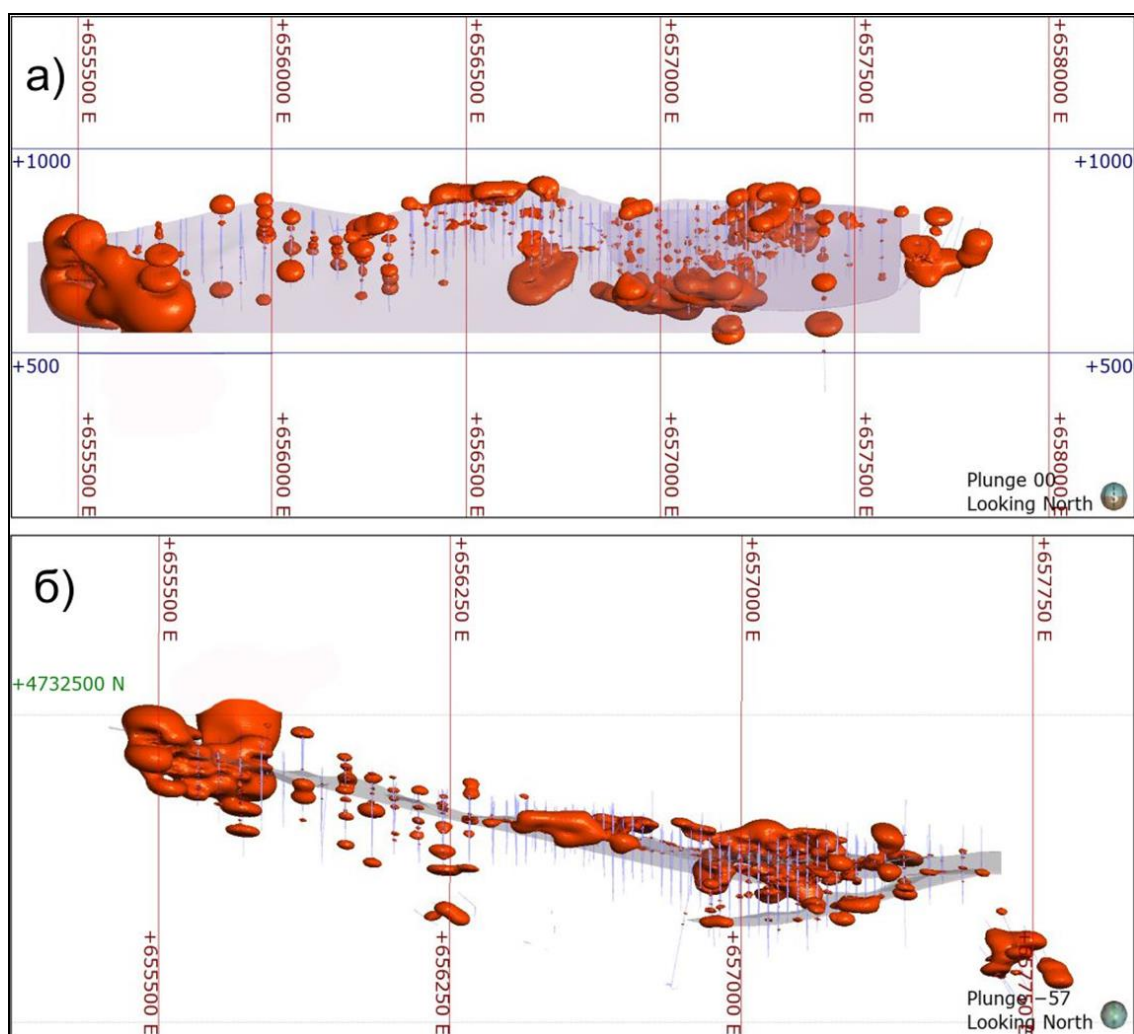
Фактор 1 отразява разпространението на асоциация $[Cd, Zn, Pb]$. Тази асоциация е развита главно в най-западната част на рудна зона 1 (Фиг. 111). Разпределението на геохимичната асоциация е там, където асоциациите от фактор 6 са най-малко разпространени. От минераложка гледна точка групата ясно маркира разпространението на минералите от кварц-галенит-сфалеритовата асоциация. При макроскопското описание на аншлифи от сондажна ядка от западните части на находището е установено, че се срещат значително по-голямо количество оловно – цинкови минерали отколкото в останалите зони на находище „Милин камък“.

Фактор 2 отчита геохимичната асоциация на $([V, Ti] Fe, Co) - Ca$. Тази асоциация не показва ясна пространствена привързаност към нито една рудна зона (Фиг. 112). Вероятно не е свързана с хидротермални процеси. V и Ti са фонові елементи и се съдържат повсемесно във вулканските скали. Пиритът и хематитът са основните носители на желязо в находището и те се среща навсякъде сред брекчираните скали и андезитобазалтовите дайки. Получената

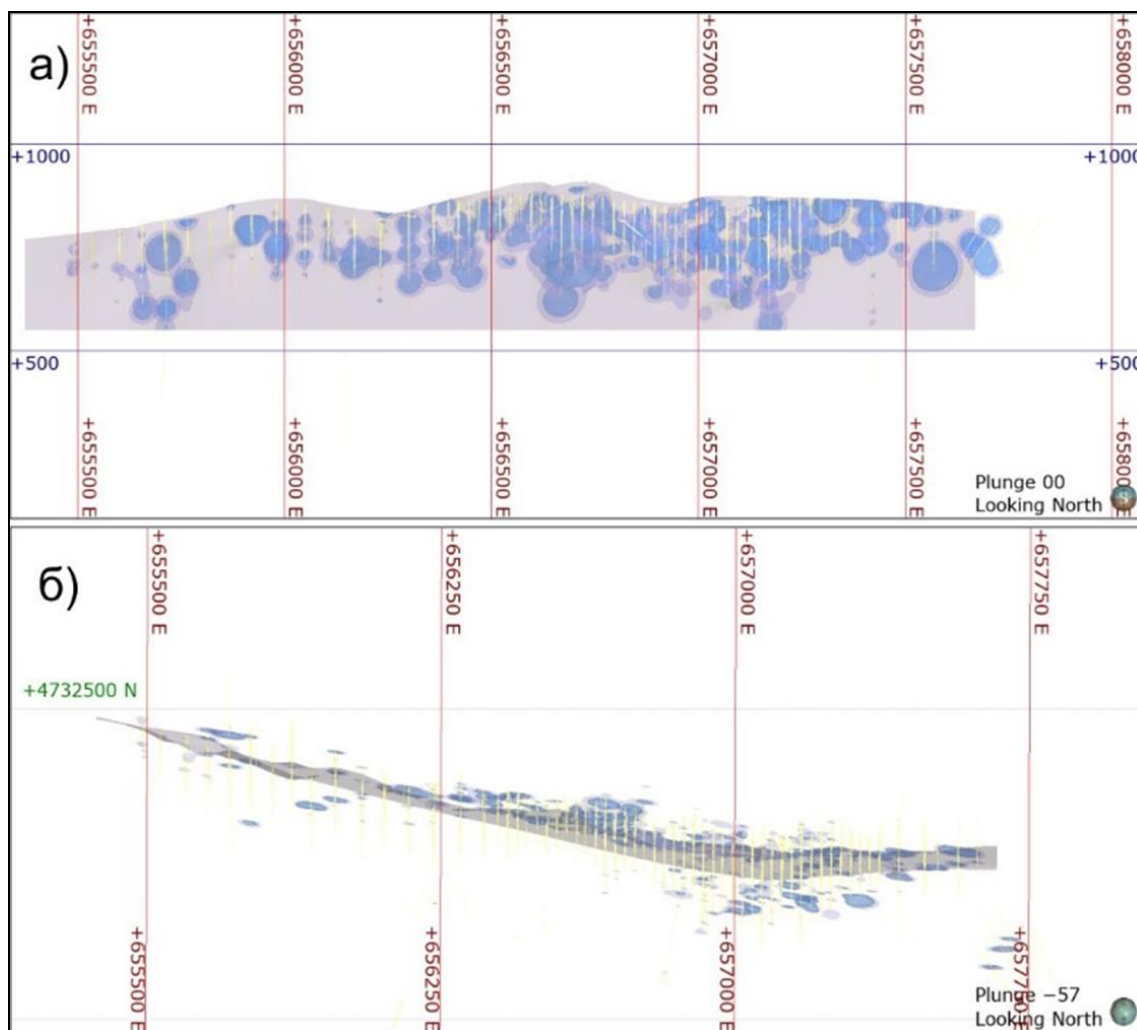
асоциация по фактор 2 вероятно се дължи именно на тях. Характерно тук е обратнопропорционалната зависимост на Ca с тази група елементи.

Фактор 3 отразява геохимичната асоциация $[\text{Ni}, \text{Cr}] + \text{Co}$ (Фиг. 113). Тази асоциация не е свързана с рудообразователния процес и не е обект на това изследване. Наличието на тези елементи вероятно е от вместващите вулкански скали и скалообразуващите им минерали.

Фактор 4 отразява геохимичната асоциация $[\text{Cu}, \text{Sb}] \text{Bi} + \text{Ag}, \text{Pb} \pm \text{As}, \text{Fe}, \text{Au}, \text{Ba}, \text{Zn}$. Тя има пространствено разпределение издължено по рудна зона 1 и 2. Изявена е в централните части на зона 1 и продължава в дълбочина (Фиг. 114). Към останалите зони геохимичните аномалии са по-слабо представени. Факторните тегла са по-силно изразени в централните участъци на зона 1 и в дълбочина в сравнение с тези от фактор 6. Геохимичната асоциация ясно се маркира от разпределението на сулфосолните минералите от групите на тенантит-тетраедрит, селигманит-бурнонит и новите описани робинсонит и йорданит.



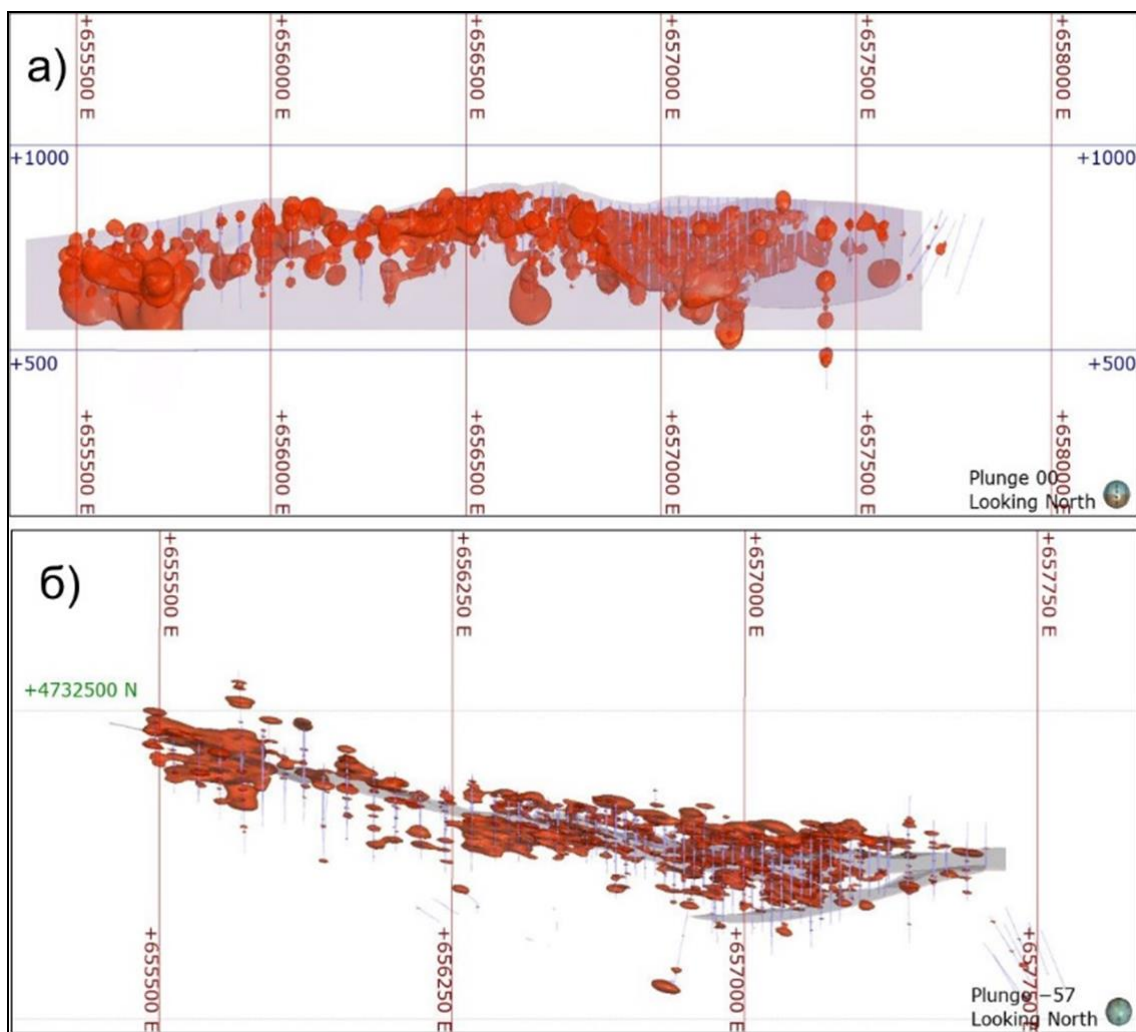
Фиг. 113. Схема на разпределение на $[\text{Ni}, \text{Cr}] + \text{Co}$ геохимична асоциация по фактор 3. а) в напречен разрез и б) в план



Фиг. 114. Схема на разпределение на $([Cu, Sb] Bi) + Ag, Pb \pm As, Fe, Au, Ba, Zn$ геохимична асоциация по фактор 4. а) в напречен разрез и б) в план

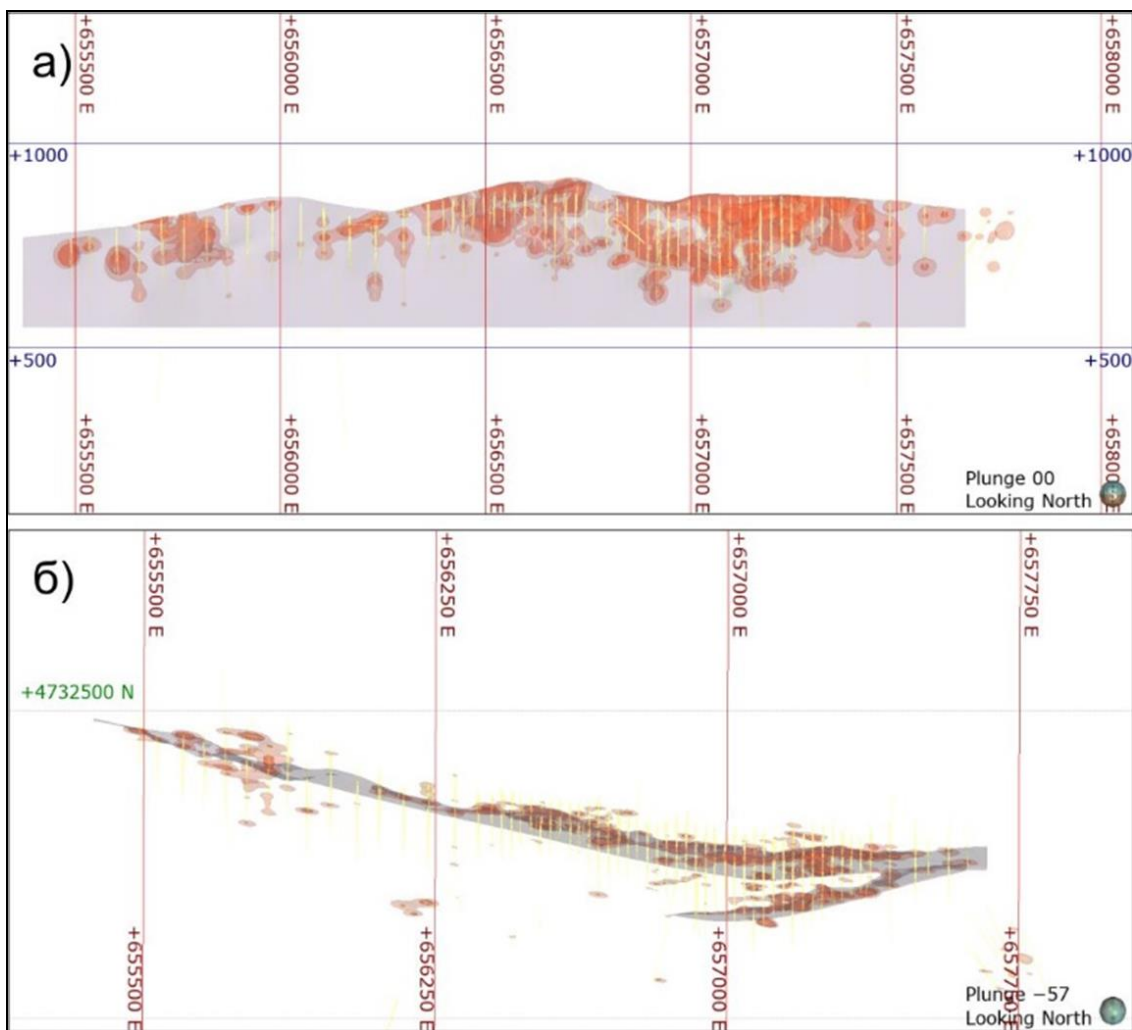
Фактор 5 отразява геохимичната асоциация на $[Be, Ba] \pm Mg, Fe, Ca$ (Фиг. 115). От минераложка гледна точка тя маркира минерали от последния карбонатно-златен стадии с присъствие на барит. Тук може да включим и родохрозитните жили като носители на Mg и Ca , които се срещат във всички рудни зони, но дебелината им варира от 2 см до 80 см. С най-голямата дебелина на жилите е характерна за западната и централната част на зона 1 и се маркира с разпространението на фактор 5.

Фактор 6 отразява геохимичната асоциация $([As] Au) Mn \pm Fe - ([Mg] Ca) \pm Fe$, която представя основното рудно тяло от зона 1 и съвпада с най-високите съдържание на Au (Фиг. 116). Разпределението на асоциацията е по цялата рудна зона 1 както и зона 2. Към останалите зони тази геохимична асоциация е представена по-слабо. По протежението на зона 1 факторните тегла са най-силно изразени в източните участъци и хипсометрично в по-горните нива на рудната зона - над кота 720. От минераложка гледна точка в групата попадат голям брой от аншлифите, в които е наблюдавано високопроно злато.



Фиг. 115. Схема на разпределение на $[Be, Ba] \pm Mg, Fe, Ca$ геохимична асоциация по фактор 5: а) в напречен разрез и б) в план

Триизмерното моделиране на пространственото разпределение на елементите по сходство показва ясно, че групите от елементи във фактори 1, 4 и 6 са пряко свързани с хидротермалните рудообразователни процеси и са издържани в рамките на рудните тела. Наблюдава се и определена пространствена зоналност – геохимичната асоциация от фактор 1 се локализира основно в западните участъци на рудна зона 1 в страни от геохимичните асоциации характерни за фактори 4 и 6, докато последните две до известна степен пространствено се препокриват.



Фиг. 116. Схема на разпределение на $([As] Au) Mn \pm Fe - ([Mg] Ca) \pm Fe$ геохимична асоциация по фактор 6: а) в напречен разрез и б) в план

VII. ОБОБЩЕНИЕ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

От направените изследвания са получени нови данни, свързани с минералния състав в находище „Милин камък“. Направените микроскопски изследвания са съсредоточени във всички рудни зони 1, 2, 3, 5, 6 и 7, попадащи в площта на находището. Трябва да подчертаем, че най-добре проучена и с икономически интерес към момента е рудна зона 1. Определени са структурните и текстурни характеристики (Табл. 10) и са описани рудните минерали. Между отделните рудни зони има както прилики, така и съществени различия, това се дължи на продължилите дълго време рудообразователни процеси. За това свидетелстват разнообразните структурни взаимоотношения на минералите от наблюдаваните аншлифи.

Описаните рудни минерали са пирит, марказит, пиротин, арсенопирит, галенит, сфалерит, халкопирит. Те се срещат във всички рудни зони, но са в различно количествено съотношение. Второстепенни за рудна зона 1 са минерали от групата тенантит-тетраедрит, селигманит-бурнонит, хематит, злато и барит. Тези минерали са по-рядко срещани в зони 2, 3, 5 и 6. В образци от североизточната

част на рудна зона 1 от находището са наблюдавани енаргит, лузонит, борнит, ковелин. Тези минерали са по-високо температурни. В рудна зона 1 са описани нови за находището минерали: **селигманит, йорданит, робинсонит и гратонит**. В рудна зона 7 минералният състав е представен основно от пирит и арсенопирит и в много малко количество галенит, сфалерит, халкопирит и тенантит-тетраедрит.

Главен руден минерал в находището е пиритът. Той се среща във всички зони. Среща се като идиоморфни и хипидиоморфни зърна и по-рядко е ксеноморфен и коломорфен. Пиритът в рудна зона 7 е по-малко разпространен. Най-често се среща като хипидиоморфни и ксеноморфни структури. Микроспектралните анализи от рудна зона 1 показват съдържание на As, докато в рудна зона 7 анализите показват стехиометрични съдържания без примеси. Пиритът може да бъде носител на включения от злато или желязо в кристалната си решетка. Разграничават се две генерации пирит. Пирит I е образуван в най-ранния кварц-пиритов стадий. При него почти няма агрегати със запазени кристални форми. Често е кородиран или е заместен от марказит или други сулфидни минерали. Пирит II генерация е представен от единични кристали с по-големи размери или гнезда. Пиритът от този стадий е разсечен или кородиран от по-късно образувалите се сулфидни минерали. Пирит II генерация е образуван през кварц-полиметалния стадий.

Марказитът е втори по разпространение минерал в зони 1, 2, 3 и 5. В рудна зона 7 е главен руден минерал. Изгражда тънки жилки, плочести и удължено-призматични до иглести зърна, често в характерни звездовидни сгрупвания. Асоциира със сулфосоли в рудна зона 1 и 2. В зона 7 се среща заедно с арсенопирит. Това показва средно до нискотемпературни условия на образуване.

Пиротинът се установява само като единични заоблени капковидни включения. На много места има трансформация на пиротин в марказит. Пиротин се наблюдава във всички рудни зони като количеството му варира. Най-често се среща в централната част на рудна зона 1. Изключение е зона 7, където в нито един от препаратите не е наблюдаван този минерал.

Арсенопиритът се наблюдава като звездоподобни агрегати или призматични кристали. Често се среща върху скелетни структури на пирит или заедно със сулфосоли в централните части на находището. В рудна зона 7 е дребнозърнест, на места до среднозърнест. Кристалите му са ясно кристализирали и удължени. Има прораствания между тях и вероятно е образуван при ниско-температурни условия.

Галенитът се среща като самостоятелни алотриоморфни зърна. Образува съвместни агрегати със сфалерит, марказит, пирит и сулфосоли. В отделни случаи, в западната част на рудна зона 1, 2 и 5 изгражда съвместни агрегати с бурнонит и селигманит. Често е кородиран от карбонатни минерали или барит. В рудна зона 7 галенитът е образуван преди арсенопирита и сфалерита. При микроспектрални анализи на минерала от централната част на находището показват стехиометрични съдържания както без примеси, така и с присъствие на антимон и

сребро. В рудна зона 7 стойностите са стехиометрични. Отложен е в кварц-полиметалния стадий от хидротермалния етап на минералообразуване.

Сфалеритът се среща като едри алотриоморфни зърна с неправилни очертания заедно с останалите сулфидни минерали. На места е разсечен от халкопиритови прожилки. Сфалеритът в някои от оптически изследваните образци от зона 1 може да се определи като клейофан. Наблюдава се като капковидни включения в халкопирит или в празнини между пиритни зърна, като запълва пукнатини в тях. Във всички изследвани препарати от зона 7 сфалерита е образуван последен. Микроспектралните анализи от зона 1 и 7 показват състав близък до стехиометричния без примеси на други елементи.

Халкопиритът се среща като емулсия в сфалерита или като единични дребни зърна. Наблюдава се и като дребни зърна в родохрозита. Образува съвместни агрегати с минерали от редицата тенантит-тетраедрит или ги разсича под формата на множество прожилки в зони 1, 2, 3 и 5. В рудна зона 7 е най-слабо разпространен. Среща се като единични прожилки в сфалерит или като дребни единични зърна. Вероятно той е образуван последен заедно със сфалерита.

Минералите от редицата тенантит-тетраедрит се срещат в централната и източната част рудни зони 1, 2, 3, 5 и 6. В западната част на тези зони се наблюдават сравнително рядко, а в зона 7 – до спорадично. Те са образувани по-късно от главните рудни минерали на кварц-полиметалния стадий – пирит, галенит и сфалерит. Обикновено се срещат като включения в сфалерита и заедно с халкопирита, с който взаимно се заместват и пресичат. Микроспектралните изследвания от централната част на зона 1 показват предимно As-ов (Zn-тенантит) и чисто Sb-ов – Ag-съдържащ Zn-тетраедрит. Съставът и на двата е близък до теоретичния, предимно тенантитов, с незначителен дефицит на S. Възможно е тази редица да съдържа сребро като микровключения.

Минералите от групата селигманит – бурнонит се срещат сравнително често в централната и източната част от находището. Наблюдават се като призматични или ромбични назъбени зърна. Селигманитът се установява като самостоятелни агрегати в пределите на кварцови жилки. Почти винаги асоциира с барит и пирит. Образуването му е свързано с последния хидротермален стадий. В досегашни изследвания на минералният състав е описвана само бурнонитова разновидност. В дисертационната работа направените микроспектралните анализи показват по-високо съдържание на арсен и преобладаващо селигманитни, и по-рядко бурнонитови разновидности. Поради това може да приемем, че селигманитът също е нов минерал за находището. Минералите от тази изоморфна редица са носителни на сребро, кадмии и желязо. В рудна зона 7 минерали от тази група не са наблюдавани.

Йорданитът е нов минерал за находището. Макроскопски е тъмносив с метален блясък и ниска твърдост, моноклинна сингония. В проучвателните сондажи от централната част на находището е дребнозърнест и се среща заедно със сулфосолите. Установен е оптично микроскопски и е доказан чрез микроспектрални анализи. Той се среща в прорастване с минералите от бурнонит-

селигманитовата серия. Поради малките му размери направените анализи не са със стехиометрични стойности.

Робинсонитът е нов минерал за находището. Среца като единични зърна с ромбични очертания и триъгълна форма. Описан е в образци от централната част на рудна зона 1. Направените микроспектрални анализи са с нестехиометричен състав поради малките му размери.

Гратонитът за пръв път е описан в находище „Милин камък“. Типичен нискотемпературен минерал е. Образува се заедно с други оловни и сулфосолни минерали. Описан е в централната част на рудна зона 1. Във всички препарати където е наблюдаван се среща спорадично и е с много дребни размери. Микроспектралният анализ установява само Pb, As и S. Единствената близка до този състав фаза е гратонит.

Самородното злато е в тясна асоциация с пирит, марказит и сулфосоли. Най-често размерът на златинките не надвишава 15-20 μm . Едри златинки до 140 μm се срещат на групи в баритни гнезда заедно с пирит. От направените микроспектрални анализи може да се съди, че златото е високопробно, а не както е описвано до момента като електрум. Установено е, че златото е отложено и през кварц-пиритовия стадий и през кварц-сулфосолния, а не както се смята до момента, че е само в кварц-баритния стадий. Златинки са наблюдавани само в централната и източната част на зона 1.

Баритът се установява като гнезда в матрикса на брекчите и самостоятелни зърна в пределите на кварцови жили от централните и източните части на находището. Образуването му се свързва с последния хидротермален стадий. Почти винаги асоциира с пирит и селигманит. На места в него се срещат едри златинки с размери до 140 μm . Установен е с качествен микроспектрален анализ. В рудна зона 7 барит не е установен нито макроскопски, нито при микроскопските изследвания.

Описани са още енаргит и лузонит. Те са споменавани в изследванията на Crummy et al. (2001) и Stoykov et al. (2007). Характерни са за по-високо температурни находища. Енаргитът се наблюдава в североизточните части на рудна зона 1 и 2. Среца се заедно с галенит и сфалерит. Доказан е с микроспектрален анализ със стехиометрични стойности. Наличието на този минерал подсказва за по-високо температурна парагенеза в близост до известната ни.

От направените статистически анализи се оказва, че зони 2, 3 и 5 и 6 се различават малко по съдържания на химични елементи. Същите зони са идентични спрямо минералния състав като рудна зона 1, но минералите са в различно количествено съотношение. За рудна зона 7 към момента има най-малко информация. Тя е проучена само с няколко сондажа. За нея са направени минераложки изследвания, но поради малкото количество данни не е направен статистически анализ. Рудните тела са с различна ориентация спрямо останалите зони. Минералният състав е представен от пирит, арсенопирит и в подчинено количество сулфидни минерали.

Изследваните проби за рудни зони 1, 2, 3, 5 и 6 могат да бъдат разделени на няколко групи: интензивно променени скали с високо съдържание на пирит, жили с кварц-пиритен състав и жили с кварц-карбонатно-сулфиден състав.

Микроскопски видимото злато е определено в много малко на брой аншлифи в централните части от находището. Това може да се обясни с неравномерно разпределение или малък размер на агрегатите, невидими под оптичен микроскоп. Златни агрегати са наблюдавани в препаратите от централната и източната част. Основните носители на злато са микровключения в пирита или други сулфидни минерали. От статистическите анализи се вижда, че златото е с високи съдържания в рудна зона 3, 5 и 6, но в аншлифите от тези зони не е наблюдавано. В рудна зона 7 под микроскоп в отразена светлина не е наблюдавано злато.

Рудна зона 7 има сходен минерален състав като зона 1. Последователността на минералообразуване се подчинява на общите закономерности в находище „Милин камък“. С най-голямо разпространение са минералите арсенопирит и марказит. В рудна зона 1 тяхното количество е значително по-малко. Всички останали минерали в рудна зона 7 са много по-рядко срещани. Тенантит-тетраедрит и бурнонит-селигманит, които са второстепенни за зона 1 тук са спорадични (групата на тенантит-тетраедрит) или липсват (бурнонит-селигманит).

Най-ранният кварц-пиритен стадий се среща навсякъде в находището. Пиритът в зона 7 не се е отлагал продължително време както е в зона 1. За това свидетелстват корозионните структури и много малкото идиоморфни структури. Минералната парагенеза е представена от минералите пирит и кварц. Вторият стадий е кварц-полиметалният. Той се разполага повсеместно в рудните зони. Най-добре се застъпва в централните участъци на рудна зона 1, 2, 3, 5 и 6 но в 7 зона сулфосолните минерали са спорадични. Нерудните минерали са кварц и калцит. Родохрозитните жили се наблюдават във всички зони, като дебелината им варира от 1 до 80 см. Направените микроспектрални анализи на галенит показват стехиометрични резултати без примеси, докато в рудна зона 1 галенита е с примеси на антимон и сребро.

Рудните минерали в изследваните препарати от зона 7 се отлагат в следната последователност: пирит → марказит → арсенопирит → галенит → сфалерит → халкопирит.

Последният стадий за находището е карбонатно-златен. Той е добре проявен в централния и източния участък, но в рудна зона 7 липсва. Нито макроскопски, нито микроскопски са открити златни агрегати. Рудните минерали под микроскоп са обикновено дребно до среднозърнести. Широко са проявени структурите на заместване и корозия. Минералите са предимно хипидиоморфни и ксеноморфни, като по-рядко се установяват идиоморфни структури. В рудна зона 1 преобладават идиоморфните и хипидиоморфните структури.

Като особености на минералния състав на рудна зона 7 могат да се посочат:

- С най-голямо присъствие се характеризират арсенопиритът и марказитът.

- Втори по разпространение са галенитът и сфалеритът. В направените микроспектрални анализи имат стехиометричен състав без примеси от други елементи.

- В рудна зона 7 не е наблюдаван барит, който е характерен за последния хидротермален карбонатно-златен стадий. Там тази парагенеза не е установена.

- В рудна зона 7 при микроскопските изследвания не е наблюдавано самородно злато.

- Пространствено ориентацията на рудна зона 7 спрямо главните рудни зони в находището е североизток-югозапад, а на останалите зони е изток-запад.

Според Събева (2015) електрум е отлаган през кварц-полиметалния етап, а злато – само в карбонатно-златния етап, но в настоящото изследване за първи път се доказва наличието на злато с висока пробност в минералните асоциации от кварц-полиметалния и кварц-пиритния стадий.

След оптичното изследване на рудните минерали от рудни зони 1, 2, 3, 5, 6 и 7 в находище „Милин камък“ можем да направим извода, че са отлагани дълго време. За това съдим по структурите на минералите и техните текстурни взаимоотношения.

Изведена е последователност на образуване на минералите (Табл. 16). Получените резултати от минераложките изследвания са обвързани с геохимичните изследвания. За тях са приложени различни статистически методи, като клъстер и факторен анализи. На база на всички получени резултати, както и на резултатите от проведените геофизични изследвания (по данни предоставени от „Трейс Рисорсиз“ ЕООД, 2016, по непубликувани данни), е предложен генетичен модел на образуване на находището.

Разпределението на отделните химични елементи е изследвано с помощта на едномерен статистически анализ. Използваните стойности на елементи Ag, Bi, Cu, Sb, Cd, Zn, Pb, As, Au, Mn, Mo, Ba, Be, Cr, Ni, W, Co, Fe, Ti, V, Ca и Mg са от анализирани проби на сондажна ядка, предоставени от „Трейс Рисорсиз“ ЕООД. С помощта на дескриптивната статистика са анализирани химичните елементи спрямо отделните зони. Част от тях показват ясна зоналност в разпределението си. Златото има най-високо средно съдържание в зона 6 и сходно в зони 2, 3 и 5. Големи разлики се появяват в рудна зона 1, където в западната част средните съдържанията са на половина спрямо източната част. Среброто е с най-високи средни съдържания в западната част на зона 1 и постепенно намаляват към останалите зони, като най-ниски са в зона 6. Арсенът е с най-високи съдържания в зона 6. В останалите рудни зони има сходен характер. Оловото е с най-високи средни съдържания в западната част на рудна зона 1, а в източната намаляват с малко над 4 пъти. Зони 2 и 5 имат сходни съдържания, докато към зони 3 и 6 стойностите му драстично намаляват. Цинкът има сходно геохимично поведение с това на оловото. Средните съдържания в западната част на зона 1 са най – високи, докато в източната част са 4 пъти по-ниски. В зона 5 средните съдържания са малко под половината спрямо зона 1 изток.

Табл. 16. Последователност на минералообразуване (с наклонен шрифт са новите описани минерали).

минерали	кварц-пиритов етап	кварц- полиметален етап	карбонатно- златен етап
Пирит	•	•	
Марказит	•	•	
Пиротин	•	•	
Арсенопирит	•	•	
Галенит		•	
Сфалерит		•	
Халкопирит		•	
Тенантит		•	
Тетраедрит		•	
Енаргит		•	
Борнит		•	
Ковелин		•	
Бурнонит		•	
<i>Селигманит</i>		•	
<i>Робинсонит</i>		•	
<i>Гратонит</i>		•	
<i>Йорданит</i>		•	
Самородно злато		•	•
Барит			•
Кварц	•	•	
Карбонати	•	•	•

Получените данни от дескриптивната статистика показват зоналност в разпределението на химичните елементи, която пряко зависи от минералният състав и се потвърждава от разпределението на минералните асоциации получени при минераграфското изследване.

С корелационни матрици са изследвани корелационните зависимости между химичните елементи за отделните рудни зони. Резултатите показват, че златото има положителна корелация с Ag, As, Bi, Cd, Cu, Pb, S, Sb и Zn и отрицателна корелация с Mg и Ca за участък източен от рудна зона 1. Това от минераложка гледна точка може да се обясни с наличие на сулфосолни минерали. В участък западен има положителна корелация на златото с As, Mn и Sb и отрицателна корелация с Mg и Ca. Тук преобладава минералната парагенеза на пирит-арсенопирит. Корелацията на златото с арсен за зона 1 е по-силна в източния участък, докато за останалите химични елементи тя е по-скоро умерена. По-силната корелация на злато с Mn в източната част на зона 1 е свързано с преобладаването на манганокалцит/родохрозит в рудните жили. Корелациите на

злато спрямо останалите химични елементи показват, че между As и Au в рудни зони 3, 5, и 6 има силна корелация, докато в рудна зона 2 корелацията е слаба. Най-ясно издържана корелация имат елементите в западната част на зона 1.

Според графиките за честотното разпределение всички елементи включени в изследването показват сходство в поведението. Те имат силно изразена положителна асиметрия и ясно изразена „опашка“ във високите стойности. Това води до ляво изтеглено разпределение и е характерно за жилните находища. Елементите, които асоциират със златото са свързани с хидротермалните процеси и етапите на рудообразуване, и са със значително по-високи съдържания в рудните зони. Mg и Ca имат обратна корелация. Тези елементи са характерни за родохрозитните жили и карбонатните минерали и са свързани с последния карбонатно-златен стадий на минералообразуване. Родохрозита е носител на Mg и е характерен за централните части на всички рудните жили, а Ca идва от карбонатните жили които се срещат в цялото находище. Това обяснява обратнопропорционалните зависимости на Au с Mg и Ca.

Изготвените хистограми на разпределение по злато и арсен за отделните рудните зони показват, че разпределението на злато е силно асиметрично и изтеглено наляво за рудни зони 2, 3, 5 и 6. За рудна зона 1 то е малко по-равномерно, но отново е асиметрично и изтеглено наляво.

Диаграмите на разсейване по злато, арсен и сребро имат слаба положителна корелацията и неравномерно разпределение. Зона 1 е с по-високо съдържание на злато и сребро. Това предполага, че част от златото и среброто са свързани генетично. Има и независими минерални фази, които съдържат сребро. За рудна зона 6 корелацията между златото и среброто е слаба. Тези данни описват процес на привнос или износ на елементи от системата. С най-добре изявена положителна асиметрия се отличават разпределенията на елементите, привнесени от наложен рудообразователен процес в централната част на находището.

Клъстерният анализ организира данните и ги обединява в групи. Всяка група съдържа подобни помежду си елементи. Резултатите графично са представени с помощта на дендрограма. Установят се взаимовръзки и сходства между елементите и тяхното пространствено и геохимично разпределение. Отделят се четири групи от елементи, като само две от тях са значими. Едната група е представена от елементите Ag, Bi, Cu, Sb, Cd, Zn, Pb, As, Au и Mn. Тя асоциира с хидротермалните процеси и сулфосолната минерализация. Другата група е на елементите Ca и Mg. Те маркират разпространението на родохрозитните жили и на по-късно наложената карбонатно-златна минерализация. Тези елементи са привнесени с наложените хидротермални промени.

Факторният анализ е използван за изява на геохимичните асоциации. Извършени са разлагания по 6 факторни оси. Част от асоциациите имат сходно пространствено разпределение.

Като начална стъпка е приложен методът на главните компоненти (PCA). При него са получени оси, които представляват линейни комбинации от отделните променливи. Променливите, които се корелират положително по между си са: Ag,

Zn, Pb, Cu и Cd; Fe и Co. Променливите, които се корелират отрицателно са Ca и Mg. Те са свързани помежду си, но са в противоположна посока на Ag, Zn, Pb, Cd и Cu. Това предполага, че когато Mg и Ca са високи Ag, Zn, Pb, Cd и Cu обикновено са с ниски концентрации и обратно. Получените резултати потвърждават данните от дендрограмата.

Следваща част от факторния анализ е R-методът. Той е използван за редуциране на размерността на пространството. Нормализирана „varimax“ ротация е използвана като практически ефект за допълнителното увеличаване на високите тегла във всеки един от факторите и намаляване на ниските съдържания.

Основната цел при обединяването на различни статистически методи в обща последователност е да се анализират геохимичните ореоли и геохимичните асоциации. Това дава възможност да се обвържат пространствените факторни оценки с химичните елементи и минералните асоциации. В резултат на прилаганите методи в находище „Милин камък“ са установени 6 факторни групи със сходно пространствено разпределение (Фиг. 117).

Фактор 1 е представя асоциация [Cd, Zn, Pb]. Тя е развита главно в най-западната част на рудна зона 1. Разпределението ѝ е там, където асоциациите на фактор 6 ([As] Au) Mn $\pm$ Fe - ([Mg] Ca) $\pm$ Fe са най-малко разпространени. От минераложка гледна точка тази група ясно маркира разпространението на минералите от кварц-галенит-сфалеритовата асоциация. При макроскопското описание на аншлифи от сондажна ядка в западните части на находището се срещат значително по-голямо количество оловно-цинкови минерали, които са носители на Cd, Zn и Pb. Тези химични елементи с по-ограничено разпространение в централните и източните части.

Фактор 4 отразява геохимичната асоциация ([Cu, Sb] Bi) + Ag, Pb $\pm$ As, Fe, Au, Ba, Zn. Тя има пространствено разпределение издължено по рудна зона 1, 2 и 3. Изявена е в централните и западните части, и продължава в дълбочина. Към останалите зони са по-слабо представени. Факторните тегла са по-високи в централните части на зона 1 и измерват променливите в отделните фактори, и показват дали участва силно или слабо във фактора. Колкото по-близо е стойността до ± 1 , толкова по-силна е връзката. Те са по-силно изразени в централните участъци на зона 1 и в дълбочина в сравнение с тези от фактор 6 ([As] Au) Mn $\pm$ Fe - ([Mg] Ca) $\pm$ Fe. Геохимичната асоциация ясно се маркира от разпределението на сулфосолните минералите, в които е възможно Au да бъде изоморфен примес. Групата на тенантит-тетраедрита са носители на Cu, Sb, Ag, As, Fe и Zn; селигманит-бурнонит на Cu, Sb, Pb и As; и новоописаните робинсонит и йорданит на Sb, Pb и As и гратонит на Pb и As. Au и Ba се свързват също така с последния карбонатно-златен стадий.

Фактор 5 представя геохимичната асоциация [Be, Ba] $\pm$ Mg, Fe, Ca. От минераложка гледна точка маркира минерали от последния карбонатен стадий с присъствие на барит. Барита е носител на Ba, карбонатите на Ca, а Fe идва от пирита, който се среща повсеместно. Останалите химични елементи са от вместващите скали.

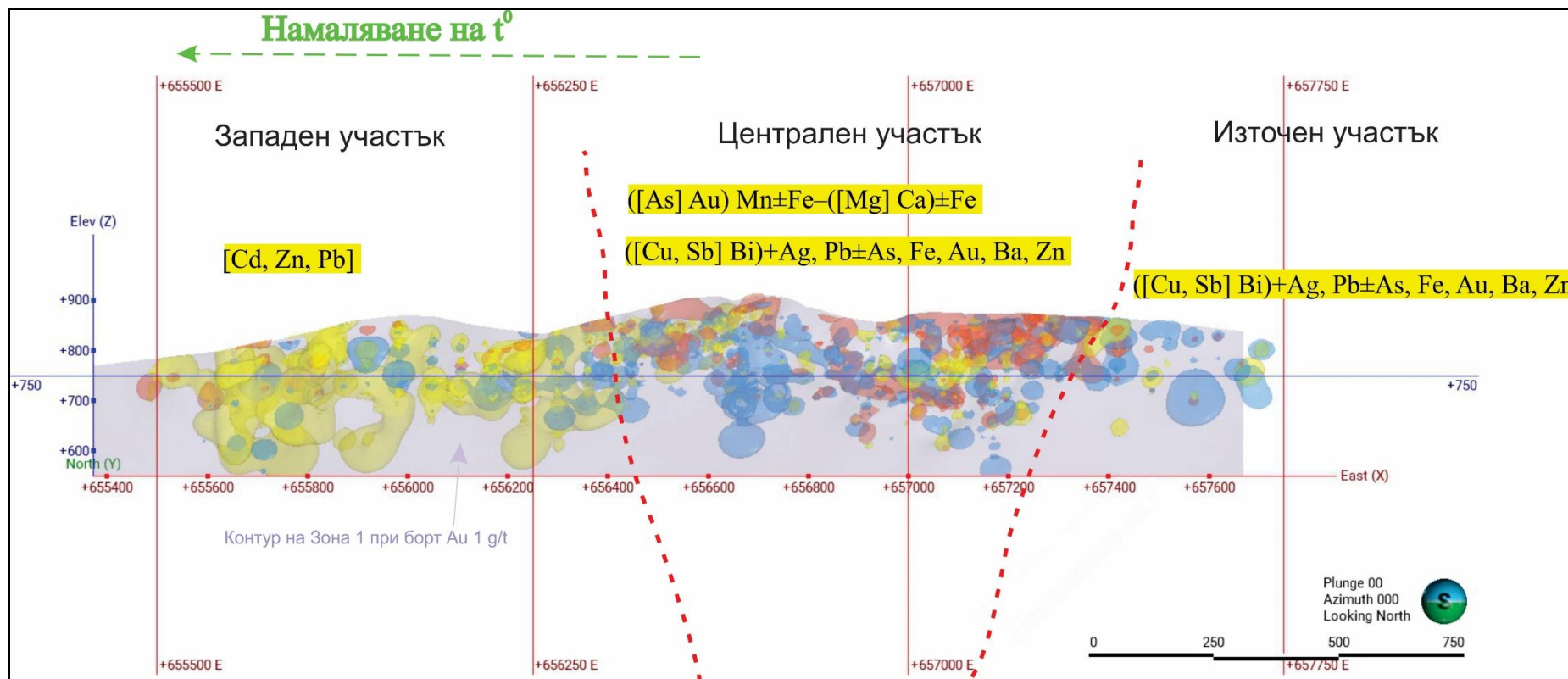
Фактор 6 отчита геохимичната асоциация $([As] Au) Mn \pm Fe - ([Mg] Ca) \pm Fe$. Тя представя основното рудно тяло и съвпада с най-високите съдържание на злато. Разпределението на асоциацията е по цялата рудна зона 1 както и зона 2, 5 и 6. От минераложка гледна точка групата включва препаратите, в които са наблюдавани по-едрият знатни агрегати, както и фино диспергираното невидимо злато в пирит (от валовите проби). As и Fe са от пирита и арсенопирита, които в централните и западните части, са главни рудни минерали. Вероятно в тях като изоморфен примес е и Au. Mn е от родохрозитните жили, чиято дебелина в тези части е значителна и от андезитобазалтовите скали. Ca е от калцитните прожилки.

3D моделирането на пространственото разпространение на елементите по сходство показва ясно, че асоциацията от фактори 1, 4 и 6 са свързани с хидротермалните рудообразователни процеси и са издържани в рамките на рудните тела. Наблюдава се и определена зоналност – асоциацията от фактор 1 се локализира основно в западните участъци на рудна зона 1 встрани от геохимичните асоциации отчетени от фактори 4 и 6, докато елементите от последните два фактора до известна степен пространствено се застъпват.

Резултатите от многомерния факторен анализ и 3D моделирането на факторните тегла отразяват геохимичните асоциации и тяхното пространствено разпространение. Установено е, че златото влиза в състава на две групи, а среброто на една. Асоциацията $[Au, As] Mn \pm Fe$, която е с отрицателна корелация с Ca и Mg от фактор 6, представлява главното рудно тяло. Тя съвпада с участъците с най-високите съдържания на злато. Със сходно пространствено разпространение на нея е $([Cu, Sb] Bi) Ag \pm Pb, Fe, Au, As$ асоциация от фактор 4. Тя ясно маркира асоциацията от кварц-сулфосоли-пирит-галенит-сфалерит. Асоциацията от фактор 1 $[Cd, Zn, Pb]$ следва разпределението на кварц-галенит-сфалерит. Приложените статистически методи, позволяват да се заключи, че единствено арсена може да се използва като надежден индикатор за присъствие на по-високи съдържания на злато в рудните интервали.

Геохимичната асоциация $([V, Ti] Fe, Co)$ представена от фактор 2, $[Ni, Cr]$ от фактор 3 и $[Be, Ba]$ от фактор 5 не показват ясна пространствена привързаност към нито една зона.

3D моделирането на пространственото разпределение на елементите ясно показва, че елементите от фактори 1, 4 и 6 са свързани с рудообразователните процеси и представляват рудните тела (Табл. 17). Наблюдава се известна пространствена зоналност. Асоциацията $[Cd, Zn, Pb]$ е разположена главно в западните части на рудна зона 1. От минераложка гледна точка се обяснява с галенит-сфалеритната минерализация, която е ясно изразена в западните части. В източната и централната част са геохимичните асоциации на $([Cu, Sb] Bi) + Ag, Pb \pm As, Fe, Au, Ba, Zn$ и $([As] Au) Mn \pm Fe - ([Mg] Ca) \pm Fe$. Минералите, които описват първата от тях са сулфосолните минерали на изоморфните редици на тенантит-тетраедрит и бурнонит-селигманит. Последните две асоциации донякъде се припокриват пространствено. Златото е участва в две факторни групи – отчетени от фактори 4 и 6. Свързва се с пирита, барита и сулфосолните минерали.



Фиг. 117. Обобщен модел в разрез на отделните геохимични фактори и разположението им в находище „Милин камък“

Табл. 17. Обобщение на получените резултати от минераложките и статистическите изследвания

Фактор	Геохимична асоциация	Локация; пространствена зоналност	Минерални асоциации
1	Cd, Zn, Pb	Западен участък на рудна зона 1, 2 и 5	Кварц-галенит-сфалеритова асоциация
2	([V, Ti] Fe, Co), – Ca	Източната и централната част на зони 1, 2, 3, 5 и 6	Среща се навсякъде сред лапилите туфи и дайки. Не показва пространствена привързаност към зоните.
3	([Ni, Cr] +Co	Западна и източна част на находището	Не показва пространствена привързаност към зоните.
4	([Cu, Sb] Bi)+Ag, Pb ±As, Fe, Au, Ba, Zn	Централната част на зона 1, 2, 3, 5 и 6, и продължава в дълбочина	Кварц-сулфосолна-пирит-галенит-сфалеритова асоциация; селигманит-бурнонит; йорданит; робинсонит и гратонит.
5	[Be, Ba], позитивна ± Mg, Fe, Ca	Цялото находище	Калцит-барит, вместиращи скали
6	([As] Au) Mn, ± Fe, –([Mg] Ca) ±Fe	Централната и източната част на зони 1, 2, 3, 5 и 6	диспергирано невидимо Au в пирит

VIII. ГЕНЕТИЧЕН МОДЕЛ НА НАХОДИЩЕ „МИЛИН КАМЪК“

Въз основа на направените в дисертацията минераложки и геохимични изследвания, може да бъде откроята ясна зоналност. В западната част от находището главните рудни минерали са галенит и сфалерит. Родохрозитните жили в рудните зони и сулфосолните минерали са характерни за централните и западните части. Минерали от групата селигманит-бурнонит и тенантит-тетраедрит са наблюдавани в централните части заедно с барит и високопробно злато. В рудна зона 7 сулфосолната минерализация е спорадична и липсва баритно-златния стадий. Енаргит и борнит се срещат единствено в сондажи от централните и северните части. От текстурните и структурни характеристики на минералите, минералните парагенези, геохимичните асоции и разпространението на химичните елементи е установено, че има ясно изразена зоналност. В западната част минерализацията е нискотемпературна, докато в централната и източната е среднотемпературна с присъствие и на високотемпературни минерали (Фиг. 117).

Находище „Милин камък“ е разположено между два големи меднопорфирни района: Панагорският руден район на изток и Тимошкият на запад. Сред горнокредните скали от Панагорския руден район са установени поредица от магматични системи от порфирни и епитермални находища, като Елшица – Влайков връх, Радка – Цар Асен и др. (Поров, 2001; Kouzmanov et al., 2009). По аналогия с тях може да се очаква също наличие на порфирна система, асоциираща с епитермалното находище „Милин камък“.

Още Канурков и др. (1960) установяват полиметални впръслечни орудявания. Предполагат, че има медна минерализация, която е изнесена при окислението. По-късно Ковачки и др. (1985ф), и Байрактаров и др. (1995ф) смятат, че орудяването в района на минералния извор „Желязната вода“ трябва да се разглежда като периферно.

Moritz et al. (2007) извършват изследвания на флуидните включения в кварц от брекчите. Те показват наличие на две основни фази: богати на пара и богати на течност. Някои включения имат различна соленост и температура на хомогенизация, което предоставя данни за условия на образуване от хидротермална система и висока температура. Установява, че кварцът с магматичен произход е образуван от първични магматични фази, а хидротермалният е формиран по-късно. Включенията в по-късно образуваната хидротермална кварцова фаза съдържат флуиди с наличие на CO_2 . Данните, които получават показват, че е налице рязък преход от високотемпературни условия към по-ниско температурни условия, това би могла до доведе до образуване на два типа минерализации – високосулфиден и умереносулфиден. Тези доказателства за описаните от Moritz et al. (2007) резултати дават основание да приемем, че са на лице два или повече източника на хидротермални разтвори.

От минераложка гледна точка наличието на минерала енаргит, е характерно за високо сулфидни находища. В северната част от находището в зона 4 и 8 Събева и Младенова (2016) описват медни минерали и алунит. При теренни проучвания около тези зони ясно се наблюдават вторични кварцити и кавернозни стуктури. В района на минерален извор „Желязната вода“ се намира литошапка представена от изветрителни лимонитни кори. Набогатяването на водата с желязо се дължи именно на това излужване от скалите.

Novakova et al. (2024) описват за пръв път калиева фелдшпатизация в по-дълбоките части находището. Типоморфните минерали за промяната се наблюдават в кластите на брекчираните скали, заедно с пропицитизация. Каверните в брекчите са запълнени от късни жилки от адулар, кварц, халцедон и Mn -карбонат, които са характерни за тази промяна. В план калиевата фелдшпатизация има североизточно-югозападно разпространение и съвпада с разломи ориентирани в същата посока. Ограниченото пространствено разпределение на калиевата фелдшпатизация вероятно се дължи на по-късна хидротермална промяна. В тези части се срещат минерални асоциации с по-висока температура, представена от енаргит. Това разпределение предполага, че калиевата фелдшпатизация е разположена близо до основния източник на

хидротермални разтвори. Novakova et al. (2024) и Moritz et al. (2007) предполагат, че е възможното наличие на меднопорфирно находище в дълбочина. Калиевата фелдшпатизация не е характерна за средно до нискотемпературни находища, а за порфирен тип орудявания.

Велинов (1967) описва алунинови вторични кварцити в района на находището. На терен тези скали се наблюдават северно от находището, където съвпадат с рудни зони 4 и 8. Crummu et al. (2001) също описват кварц-каолинит-алунинова парагенеза. Те описват също и енаргит-лузонитова рудна минерализация и я класифицират като „атипична“ за епитермално находище. Moritz et al. (2007) дискутират съпоставени високо- и нискосулфдни епитермални орудявания, които предполагат наличие и на по-високо температурна порфирна система в дълбочина.

Nikov et al. (2016) проучват хидротермално променените скали и показват сходни характеристики с други находища от Апусени-Банат-Тимок-Средногория магматичен и металожен пояс. Според тях алунитът е с магматично-хидротермален произход и стигат до извода, че в района на „Милин камък“ има характеристики на високосулфидна епитермална система. Находище „Милин камък“ е разположено в периферията на зоната и е описано като Au-Ag умерено сулфидно епитермално находище с локално развитие на високосулфидна минерализация. Вероятно ерозията е заличила до голяма степен обстановката в района от високосулфидните рудни концентрации.

Sabeva et al. (2017) изследват флуидните включения в среднозърнест кварц от рудна зона 1. Температурата, която отчитат е в диапазона от 238 до 345°C. Изследват също така и изотопите на сярата в пирита, като стигат до извода, че стойностите са близо до предполагаем магмен източник. Флуидите са с ниска до умерена соленост (от 3,7 до 6,6 wt. % еквивалент на NaCl) и предполагат епитермална среда и ниска до умерена соленост на рудообразуващите флуиди.

Lerouge et al. (2007) изследват стабилните изотопи и установяват, че pH е ниско и е близо до източника на хидротермална дейност.

В северната част на рудна зона 1 е наблюдаван пиротин. Образоването му често се свързва с понижена концентрация на сяра. Той се образува след марказита и пирита. Марказитът от своя страна се образува при ниско pH. Плочестия хабитус на марказита с множество празнини говори за трансформацията му в пиротин.

В по-ранни публикации свързани с изследвания на флуидните включения в кварца се дават сведения, че температурата им е в диапазона около 400°C, което също предполага наличие на порфирно тяло на дълбочина (Stoykov et al. 2007; Moritz et al. 2007).

По данните от детайлното проучване в находище „Милин камък“ е направена статистическата обработка, като са приложени различни методи за анализ. Получените резултати съвпадат с резултатите от предхождащите минераложки изследвания и се потвърждава зоналността в разпределението на елементите. На базата на задълбочен анализ в настоящата дисертация се предлага схематичен

генетичен модел на находище „Милин камък“. Основните етапи при изготвянето му са:

1. Налице са два типа минерализации – високосулфиден (представен в рудни зони 4 и 8, по данни от предишни изследвания) и умереносулфиден (в рудни зони 1, 2, 3, 5, 6 и 7). В непосредствена близост до тях на дълбочина се очаква да има порфирен тип орудяване по аналогия с находищата Елшица – Влайков връх, Радка – Цар Асен.

2. Предполага се развитие на щокверкова медно-молибденово-златна минерализация в дълбочина.

3. На лице е зона на интензивно киселинно излужване в рудна зона 4 и 8. Скалите са серицитизирани вторични кварцити. Тази хидротермална промяна съответства на кисело-сулфатния тип изменение и индикира въздействие на флуиди богати на H_2SO_4 , както и много кисела обстановка.

4. На лице е литошапка представена от лимонитни изветрителни кори в района на минерален извор „Желязната вода“, намираща се между зона 4 и зона 7.

5. Рудните минерали в зона 4 и 8 видими и макроскопски са представени от пирит и медни сулфиди: халкоцит, борнит, ковелин. Присъствието им е под формата на жили, прожилки и щокверк. На терена се наблюдават добре изразени коренни разкрития (Фиг. 18).

6. На лице е Брезнишка палеовулканска структура от централен тип.

На база изложените доводи е предложен модел за формиране на находище „Милин камък“. Като основа за схематичния модел са разгледани доста идентични модели. Използвана тук схема е на Sillitoe (1994), която е надградена с данните и изводите получени в настоящото изследване. Обстановката се обособява като вулканска постройка от централен тип, представена от Брезнишкият палеовулкан. Това е първият етап на образуване (Фиг. 118). Впоследствие се образува умерено сулфидна епитермална минерализация представена от рудни зони 1, 2, 3, 5 и 6 и високо сулфидна епитермална минерализация представена в зони 4 и 8.

Наличието на такъв магматично-хидротермален преход, запечатан от флуидните включения и много близкото разположение на двата типа минерализации е потвърждение за наличие и на телескопирана система (Фиг. 118 а). Този механизъм е пряко свързан с по-късния колапс на вулканската постройка на Брезнишкия палеовулкан и разрушаването на първоначалния вулкански конус (Sillitoe, 1994).

В по-късен етап (Фиг. 118 б) последва колапс на вулканската постройката и се образува телескопирана система. При нея в близост до щокверка се образуват две силно изтеглени епитермални минерализационни системи. Те са представени от високо сулфидна и умерено сулфидна минерализация. Наблюдаваните от Marinov et al. (2019) ясно изразени линеamenti са определени като част от радиално-концентричното разломяване на Брезнишката морфоструктура и са свързани с колапса на вулканската постройка. Това допълнително подкрепя становището изразено от Moritz et al. (2007) за телескопиране. Този механизъм на

телескопиране е потвърден и от флуидните включения, както и от типа на минерализация.

Моделът е надграден, като са използвани геофизични данни предоставени от „Трейс Рисорсиз“ ЕООД (Никова, 2016, по непубликувани данни). Те са извършени в района на находище „Милин камък“ през 2016 г. Използваните методи при геофизичните изследвания са на съпротивление (в син цвят на Фиг. 119) и предизвикана поляризация (в червен цвят на Фиг. 119). По тях се установяват ясно изразени аномалии в дълбочина. Ясно се очертава високосульфиден тип минерализация. Добавяйки тези данни към генетичния модел на Sillitoe (1994) виждаме, че под рудни зони 4 и 8 се обособява издължена и наклонена на юг аномалия, очертана на база резултатите по съпротивление. До нея има още една по-малка аномалия, получена по метода на предизвикана поляризация. Данните се потвърждават в зона 1, където по геофизични данни се наблюдава аномалия по съпротивление. Тази аномалия пространствено съвпада с локализацията на едропорфирни трахитови секущи и лавови тела разкриващи се непосредствено на юг от рудна зона 1.

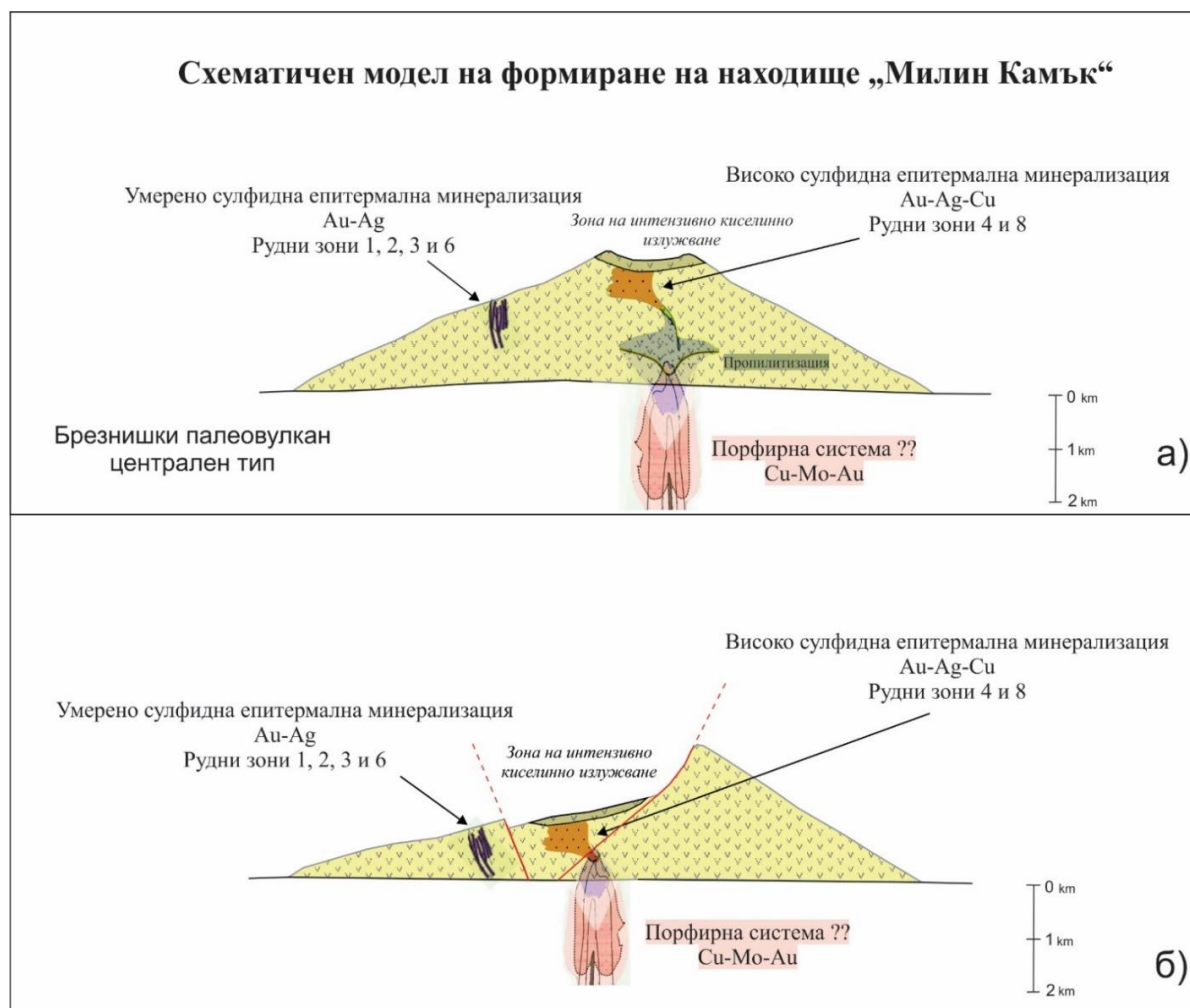
Тези изводи дават основание да предположим, че издължената и наклонена на юг аномалия по съпротивление и другата пространствено съвпадаща по предизвикана поляризация, вероятно се дължат на порфирен тип щокверк. Така, че се очаква в дълбочина да има предполагаема медно-порфирна система.

Скалите на Брезнишкия палеовулкан изграждат югозападното и североизточното бедро на Красавската синклинала. Постилат се от средната вулканогенно-седиментна задруга и пирокластитите на Люлинския палеовулкан. Покрити са от скали на Завалските вулкански центрове. На около 1 km южно от град Брезник се наблюдават субвулкански тела. Велев (2017) ги интерпретира като магмопроводящи канали (нек), които индикират малки гърла свързани с развитието на Брезнишкия палеовулкан. Те оформят верига от изометрични тела със североизток-югозападно направление. Характеризират се с елипсовидни очертания. Имат добре изразени концентрични и радиални пукнатини на изстиване (Велев, 2017). Този нек представлява телескопираната система в дълбочина (Sillitoe, 2010) на епитермалните минерализации и на порфирният щокверк. Заедно с това в резултат на колапс на вулканската постройка се получава пропадане и изместване на юг (Фиг. 120).

Като заключение, следва да се поясни причината за наклонения предполагаем тип щокверк на юг, показан на схематичния модел на находище „Милин камък“. В модела са отчетени геофизичните аномалии, както и фактът, че рудните зони се намират в близост до шарнира на южновергентната Красавска синклинала. Това предполага наличие на ротацията на юг, както на рудните зони, така и на предполагаемият щокверк.

Изследваната рудна минерализация е умереносульфидна и епитермална за зони 1, 2, 3, 5, 6 и 7. В източната част на зона 1 се появява и по-високо температурен минерал - енаргит. Рудните зони се локализируют южно от предполагаемата медно-порфирна система. На север от рудна зона 1 се

разполагат рудните зони 4 и 8. По литературни данни са дефинирани като високо сулфидни епитермални. Те се разпростират около широк пояс от проксимален и окологърлов фациес на Брезнишкия вулкан. Скалите са представени от бомбено-блокови и агломератови туфи. Тези зони ясно индигират, че високо сулфидният тип минерализация се разполага в близост до предполагаемия център на палеовулкана.

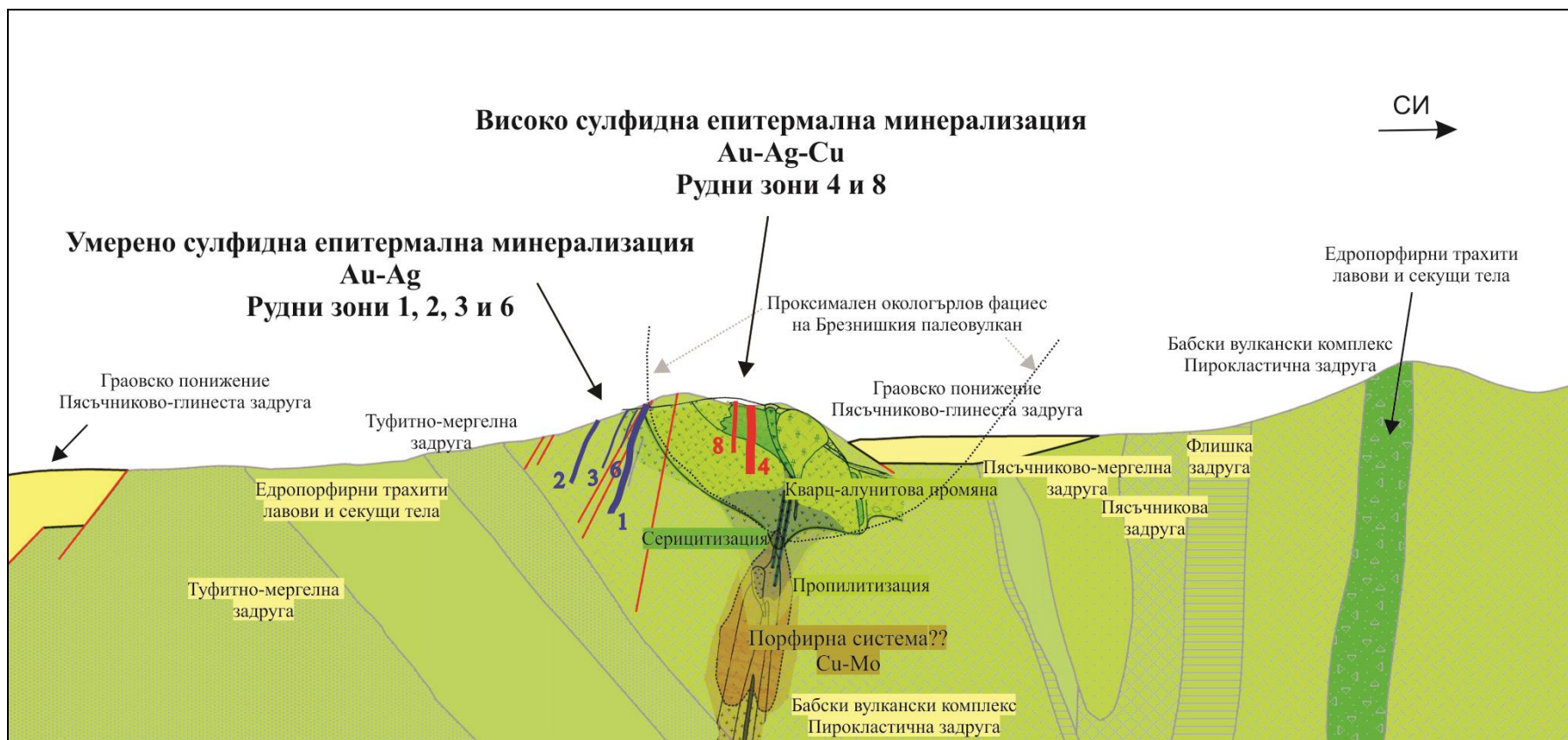


Фиг. 118. Схематичен модел на формиране на находище „Милин камък“: а) Обособяване на Брезнишка палеовулканска постройка; б) Телескопиране на епитермалните минерализации заедно с предполагаемия порфирен щокверк

Пространственото положение на високосулфидното орудяване по рудна зона и 4 и 8 е доказателство за генезиса на находище „Милин камък“. Те се намират най-близо до вулканския апарат на Брезнишкия палеовулкан и са генетично свързани с интрузивно тяло в дълбочина и прилежащата му порфирна система потвърдено с геофизичните изследвания. Високосулфидният тип минерализация се образува в близост до магмения източник. Всички останали изследвани рудни зони 1, 2, 3, 5, 6 и 7, които са разположени предимно по южните склонове на Бърдото и са доста по-отдалечени от центъра на вулканския апарат, са представени от умереносулфиден тип епитермално орудяване.



Фиг. 119. Генетичен модел на находище „Милин камък“ с наложени геофизични аномалии по съпротивление (в синьо) и предизвикана поляризация (в червено)



Фиг. 120. Генетичен модел на находище „Милин камък“

ПРИНОСИ НА АВТОРА

- Получени са нови данни по рудни зони 1, 2, 3, 5, 6 и 7 за състава на рудната минерализация в находище „Милин камък“. Определени са структурните и текстурните характеристики и са описани рудните минерали.
- В централните части на рудна зона 1 са описани нови минерали за находището: селигманит, йорданит, робинсонит и гратонит.
- Изучена е формата на присъствие на златото и са установени стадията през които се е отлагало.
- Изследван е минералният състав на рудна зона 7. До момента за тази зона няма публикувани данни. Описани са разликите в минералния състав на тази рудна зона в сравнение с останалите зони в находището.
- Изведена е хипотеза за минералообразователните процеси в рудна зона 7.
- Установени и описани са различията в количественото съотношение на минералите между отделните рудни зони.
- Направена е връзка между минералния състав на находището и отделените геохимични асоциации.
- Установена е зоналност в разпределението на главните рудни минерали, а също и в пространственото разпространение на установените геохимични асоциации.
- Изследвано е разпределението на различните елементи-следи в рудната минерализация по всички зони.
- Изяснени са геохимичните асоциации и пространственото разпределение на различни групи от елементи, характеризиращи се с известно сходство.
- Направени са 3D модели на отделени фактори (геохимични асоциации) и е установено, в кои от тях участва златото.
- Направено е сравнение между пространственото разпространение на геохимичните фактори спрямо рудните зони и рудните минерали.
- Предложен е схематичен генетичен модел на находище „Милин камък“ и са описани отделните етапи на формиране на находището.

БЛАГОДАРНОСТИ

Искрени благодарности към научните ми ръководители проф. д-р Страшимир Страшимиров † (2022) и доц. д-р Калин Русков за съдействието при подготовка на материала в дисертацията.

Сърдечно благодаря за допълнителните консултации и възможността да работя с гл. ас. Сергей Добрев † (2025) и проф. Стефка Приставова от МГУ и доц. Василка Младенова, СУ, без които тази работа нямаше да се осъществи.

Благодарности и към колегите от катедра ГППИ, които ми осигуриха подходящи условия за реализиране на досегашните изследвания по дисертационния труд. На ас. д-р Георги Лютов и на ас. д-р инж. Иван Маринов за съдействието при провеждане на част от специализираните анализи.

Огромна поклон за фирма Трейс Рисорсиз, по-специално на инж. Пламен Дойчев – ръководител на отдел Геоложки до 2023 г., както и на всички геолози и служители на фирмата, за любезното предоставяне на материали и съдействието в процеса на работата.

Благодаря и на колегите от Асарел Инвестмънт за полезните дискусии, съветите и моралната подкрепа.

Summary

Milin Kamak is gold–polymetallic epithermal deposit. The deposit is part of the Breznik ore field, located within the Western Srednogorie zone, and represents a fragment of the Apuseni–Banat–Timok–Srednogorie metallogenic belt. Its formation is related to the the Breznik paleovolcano and represent part to the third and final magmatic impulse of center during Upper Cretaceous magmatism. The host rocks are andesite–basalt dykes and hidrothermal breccias. The ore bodies are vein and are localized within fault structures.

The main objective of the study is to present new data obtained during detailed drilling between 2016 and 2019. These data contribute to a better understanding of the mineral composition of the deposit, the sequence of mineral formation, and the spatial grouping of elements based on newly acquired geochemical data.

New data have been obtained for ore zones 1, 2, 3, 5, 6 and 7 the composition of the ore mineralization at the Milin Kamak deposit. The structural and textural characteristics have been determined, and the ore minerals have been described. In the central parts of ore zone 1, minerals previously unknown for the deposit have been identified, including seligmannite, jordanite, robinsonite, and gratonite. The mode of occurrence of gold has been investigated, and it has been established that the gold is high-fineness or invisible and was deposited during all hydrothermal stages of the deposit.

The mineral composition of ore zone 7 has been studied in detail. Prior to this work, no published data existed for this zone. In ore zone 7, barite characteristic of the late hydrothermal quartz-barite stage has not been observed. This paragenesis is absent and native gold has also not been identified. A hypothesis regarding the mineral-forming processes in ore zone 7 has been proposed and it has been established that this zone has a different spatial orientation (northeast–southwest) compared to the main ore zones (east–west) of the deposit.

Using various statistical analyses, distinct geochemical associations have been identified and correlated with the mineral composition. A clear zonality is observed in the distribution of the principal ore minerals and in the spatial distribution of the identified geochemical associations. Cluster analysis was used to clarify the geochemical associations and their spatial distribution among different groups of elements characterized by a certain degree of similarity. Factor analysis enabled the construction of 3D models of the identified factors (geochemical associations). The identified factors are distributed along six axes with similar spatial patterns, as follows: **Cd–Zn–Pb association** (Factor 1), **([V, Ti], Fe, Co) – Ca association** (Factor 2), **([Ni, Cr] + Co association)** (Factor 3), **([Cu, Sb], Bi) + Ag, Pb ± As, Fe, Au, Ba, Zn association** (Factor 4), **[Be, Ba] association**, with a positive correlation with **± Mg, Fe, Ca** (Factor 5) and **([As], Au) – Mn ± Fe – ([Mg], Ca) ± Fe association** (Factor 6).

Gold is present in Factors 4 and 6, indicating the influence of at least two distinct geochemical factor and mineralization stages governing its distribution.

A schematic genetic model of the Milin Kamak deposit has been developed, and the individual stages of deposit formation have been described. The setting is a central-type volcanic edifice. A telescopic system is present, directly linked to the collapse of the volcanic structure and the destruction of the original volcanic cone.