

РОЛЯТА НА ДЪЛБОЧИННАТА ХИПЕРГЕНЕЗА ЗА ФОРМИРАНЕ НА КОМПЛЕКСНИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Маргарита Токмакчиева

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; tokmakchievi@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Зоните на дълбочинна хипергенеза се развиват на голяма дълбочина, при повишено значение на температурата, налягането и рН. Минералообразуването протича под влияние на подземни води с висока химическа активност. Изучаването на зоните на дълбочинната хипергенеза допълва нашата представа за формиране на находищата. За медните находища от Панагюрско-Етрополския руден район е характерна активната дорудна, междурудна и следрудна тектоника. В дълбочина се формират зони на разломяване с различна мощност, което е предпоставка за формиране на зони на дълбочинна хипергенеза. В тях среброто, златото, паладия, платината и други благородни метали отчетливо се концентрират в епигенетични комплексни минерализации. Съдържанията на злато достигат до 40 g/t, сребро над 52 g/t, високи са съдържанията на телур, бисмут, платина, паладий и др. В минералната парагенеза участват минерали на благородни метали, самородно злато, самороден телур и др. Те са образувани от системи, които са обогатени на телур, злато и сребро при субсолидоносни процеси при температури по-ниски от 210°C, а вероятно и по-ниска. Златото и другите благородни метали се утаяват при рязко спадане на налягането, намаляване на солеността на разтворите и на тяхната температура. Това активизира кристализацията, която протича при непостоянни окислително-редукционни условия. В силно разломените зони и близо до повърхността минералообразуването протича под влиянието на богати на кислород води. Счита се, че това е един от активните стимулатори за отлагане на злато и благородни метали при разпада на техните комплексни съединения. Необходимо е да се направи преоценка на орудяванията от гледна точка на дълбочинната хипергенеза. Това може да доведе до възобновяване на търсещите и проучвателните дейности в потенциални райони за разкриване на нови комплексни минерални суровини.

THE ROLE OF DEEP HYPERGENESIS FOR FORMING COMPLEX MINERALIZATIONS

Margarita Tokmakchieva

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" 1700 Sofia; tokmakchievi@abv.bg

ABSTRACT. The zones of deep hypergenesis develop at great depth, higher temperature, pressure and pH. Metal formation is carried out under the influence of underground waters with high chemical activity. Studying the zones of deep hypergenesis brings to enriching our knowledge of deposits formation. Active pre-ore, inter-ore and post-ore tectonics is typical for copper deposits of ore region of Panagurishte and Etropole. Faulting zones of different capacity are being formed in depth which is a prerequisite for deep hypergenesis zone formation. In them silver, gold, palladium, platinum and other noble metals are clearly concentrated in epigenetic complex mineralization. Gold content reaches 40 g/t, silver content is over 52 g/t and tellurium, bismuth, platinum, palladium etc. contents are high as well. Noble metal minerals, native gold, native tellurium etc. take place in the mineral paragenesis. They are formed of systems concentrated with tellurium, gold and silver under subsolid bringing processes under temperatures lower than 210°C and probably lower. Gold and other noble metals precipitate at sharp pressure decrease, solution salt decrease and their temperature. That activates crystallization which takes place under changing oxidizing and reduction conditions. Mineralization is carried out under the influence of high oxygen containing waters in highly faulted zones and close to the surface. It is accepted that this is one of the active stimulators for gold and noble metals deposition when their complex compounds break down. It is necessary to re-estimate the mineralization from deep hypergenesis point of view. That could bring to renew the exploration activities in potential regions for revealing new complex mineral raw materials.

Въведение

Терминът "хипергенеза" е предложен от А. Е. Ферсман през 1922 година, като в него включва процесите, които водят до образуване на корите на изветряне, седиментните и други екзогенни образувания. Екзогенните процеси са много разнообразни, което се дължи на активната миграция и концентрация на химичните елементи в зоната на хипергенеза. Минералообразователните процеси протичат при ниски и относително невисоки налягане и температура. Това е причината за образуване на много разнообразни нови минерални

видове. До сега най-често на тези процеси се противопоставяха ендегенните хипогенни минералообразователни процеси, които протичат в дълбоките участъци на земната кора при много високо налягане и температура.

Добивът на минерални суровини и дълбокото сондиране през последните десетилетия ни представят огромен фактологичен материал, който до голяма степен промени нашите понятия за строгото разделяне в земната кора на зони на ендегенните и екзогенни проявления. Те попълниха нашето познание за развитието на зони на

хипергенеза на голяма дълбочина. През последните години все повече се срещат научни публикации за развитие на зони на хипергенеза на голяма дълбочина при повишено значение на температурата, налягането и pH. Според Черников (2001) минералообразуването протича под влиянието на подземни води с повишено съдържание на хлор, натрий и калций в условията на възстановителни и по-рядко окислителни условия. За тези зони се използва термина зони на дълбочинна хипергенеза. Подземните води в тях имат много висока химическа активност.

Минералообразуването в зоните на дълбочинна хипергенеза се противопоставя на приповърхностните екзогенни процеси, поради различните физико-химични условия и има свои типоморфни особености, които могат да служат като критерий за определяне на типа минералообразователен процес. Зоните на дълбочинна хипергенеза се различават от зоните на катагенеза при седиментогенните процеси. Билибин и др. (1991) описват разнообразни комплексни орудявания с гигантски запаси на уран, ванадий, полиметални с благородни метали и др., които са образувани при дълбочинни хипергенни процеси.

Според Черников (2001) за развитието на дълбочинните зони на хипергенеза съществена роля играят вместилищата скали, тектониката и характера на ендеогенното минералообразуване. Трябва да се отчита и геоложкото време на развитие на изучаваните участъци от земната кора, през което се формират съвремените приповърхностни зони на окисление, зони на вторично сулфидно набогатяване и древни зони на хипергенеза. В участъците на налагане на тези процеси се формират най-богатите на благородни и други метали руди.

В световната литература зони на дълбочинна хипергенеза са описани за Кривойрожкия басейн. Според Белявцев и др. (1972) зоната на дълбочинна хипергенеза се разполага под площно развитата кора на изветряне. Минералообразуването протича в алкална и слабоалкална среда при повишена температура и увеличено съдържание на хлор и натрий, при наличие или слабо отсъствие на свободен разтворим кислород в подземните води и отсъствие на органично вещество. Минералообразуването при дълбочинната хипергенеза се характеризира с асоциации от типоморфни минерали или с минерали с типоморфни свойства. Според Черников (2001) в зони с високо хидростатично налягане и наличие на водопроницаеми структури метеорните води могат да циркулират в дълбочина на няколко хиляди метра от повърхността, където минерализацията в тях достига до 50 g/l. Причината за инфилтрацията на метеорните води на такава голяма дълбочина е свързана с геоложката история на развитие на земната кора.

При дълбочинни условия редица минерали взаимодействат с метеорните води, при което настъпва извличане и преотлагане на голямо количество химични елементи и образуване на нов комплекс от типоморфни минерали. Мащабите на минералообразуването зависят от процесите на извличане и преотлагане на елементите. Характерно е формирането на комплексни орудявания, богати на благородни метали. Процесът протича в продължително геоложко време. Минералого-

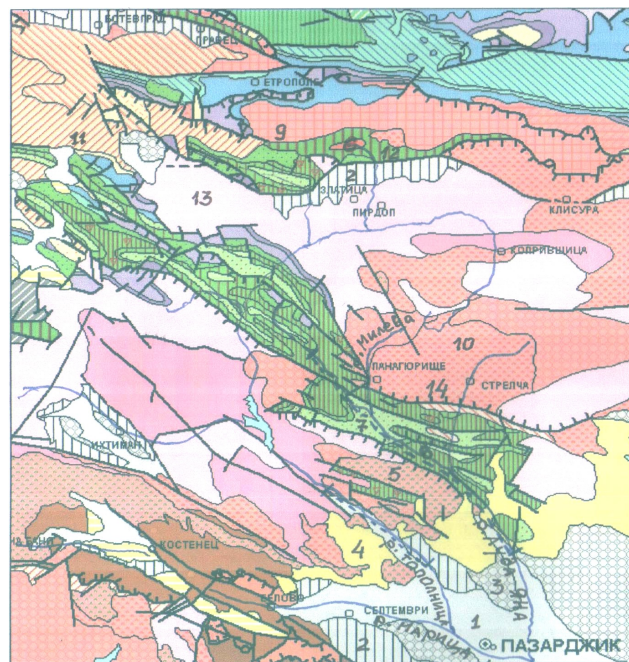
геохимичната зоналност е сходна на описаните в литературата процеси на минерало- и рудообразуване в зони на дълбочина хипергенеза.

У нас няма публикации или обобщителни работи, в които да се разглеждат минераложките особености на зоните на дълбочинна хипергенеза и много често тези процеси се смесват с нискотемпературно хидротермалните. Изучаването на зоните на дълбочинна хипергенеза допълва традиционната представа за формиране на находищата.

Ролята на дълбочинната хипергенеза за формиране на комплексни минерализации с благородни метали в състава на медните находища от Панагюрско-Етрополския руден район

Първото основно положение е геоложкят строеж на района и неговото тектонско развитие

Панагюрско-Етрополския район (фиг. 1) е част от Средногорската структурно-металогенна зона, която според Бончев (1955) е мобилна младоалпийска постройка, разположена на хетерогенна основа. Това е оказало влияние на мобилизацията на дълбочинните участъци на земната кора, на горната мантия и на част от базалтовия слой.



Фиг. 1. Част от Геоложка карта на България, 1:500000, Чешитев и др., 1989: Кватернер: 1 – алувиални образувания; 2 – пролувиални образувания; 3 – алувиално-пролувиални образувания; Неоген: 4 – теригенни седименти; Креда: Горна креда: 5 – интрузивни магмени скали; 6 – субинтрузивни гранодиоритови порфирити; 7 – флишки задруги; 8 – вулканоген-седиментна здрдуга; Карбон: 9 – Старопланински гранодиорит; 10 – “Южнобългарски” гранити; Ордовик: 11 – аргилити; Докамбий-Ордовик: 12 – метаморфозирани аргилити; Докамбий: 13 – гнайси; 14 – разсед и отсед

По мнението на Богданов (1987) през горнокредния тектоно-магматичен цикъл медните орудявания в района се формират в условия на интензивни блокови движения,

съпроводени с нагъвателни и разривни деформации. Те са продукти на вулканогенния и интрузивно-субвулкански магматизъм.

По-ранните изследвания на автора потвърждават, че за скалите от алпийския комплекс е характерна геохимична спецификация (Токмачиева, 1994), която потвърждава парагенетичната връзка на меднопиритните находища Елшица, Радка, Красен, Челопеч и други с горнокредните вулкани, на субвулканските скали с медно-порфирните находища – Цар Асен, Асарел и други, и на интрузивните кисели до среднобазични скали с медно-молибденово-порфирните орудявания – Елаците и Медет. Медните находища в района са образувани при различни геоложки условия, което се е отразило на тяхната необикновено висока продуктивност на благородни и редки елементи. Последните са привнесени от високотемпературни флуиди с мантиен произход, което се потвърждава от изотопният състав на сярата и на други елементи.

За медните находища от района е характерна активната дорудна, междурудна и следрудна тектоника. Поради това в дълбочина се формират зони на разломяване с различна мощност. Вместващата скала е силно тектонски обработена. С дълбоките сондажи такива зони се проследяват до 800 m от земната повърхност. Някои от тектонските пукнатини са запълнени от глина и стрита минерална маса и екранират. Други тектонски зони са свободни и в тях циркулира вода. Границите на разнородни скални маси са също тектонски натрошени и податливи към инфилтрация на води.

Второто основно положение е формирането при дълбочинната хипергенеза на типоморфни минерални асоциации и на комплексни минерализации с благородни метали

В литературата се срещат много публикации за съществената миграция на златото и на редица редки елементи в кислородна обстановка и при епигенетични процеси, при което се формират комплексни орудявания. Според Билибин и др. (2001) асоциацията на благородните метали със сулфотелуриди, бисмут и др. свидетелствува за формирането на рудите в резултат на съчетаване на дълбочинни и приповърхностни процеси, които са довели до концентрации на метали. Среброто, златото, паладия, платината и др. отчетливо се концентрират в епигенетични орудявания, формирани при процесите на дълбочинна хипергенеза. Епигенетичната акумулация на благородните метали според Шмариович и др. (1992) е характерно при инфилтрационното рудообразуване, мигрирайки в кислородна обстановка под формата на комплексни съединения и отлагайки се при възстановителни условия в бариерни зони под формата на самородни елементи. Последователността на отлагането им при понижено Eh в близка до неутралната среда е паладий-сребро-селен-злато + рений.

Златото и благородните метали в състава на медните находища от района се отлагат през главните стадии на хидротермалното минералообразуване (Petrunov et al., 1992, Strashimirov, et al., 2003., Tarkian et al., 2003). Техните минерали се установява в състава на главните рудни минерали. В пирита и халкопирита съдържанието на

злато е от 0.4 до 3 g/t (находища Елшица, Радка, Красен); от 1 до 5 g/t (находище Челопеч), от следи до 1 g/t (находища Цар Асен, Асарел, Медет) и от следи до 9 g/t за находище Елаците. В борните съдържанията на злато варират от 1 до 50 g/t за медно-пиритния тип находища и от следи до 20 g/t за находище Елаците. В главните рудни минерали от нах. Челопеч тенантит и енаргит съдържанието на злато е от 5 до 20 g/t. Изследванията върху температурата на хомогенизация на газовотечните включения потвърждават еволюцията на флуидите, които в началото на рудообразуване са с висока солева концентрация и алкалност. При висока температура над 400°C от високосолевите разтвори наред с рудните минерали се отлага “невидимо злато” с размери до няколко микрона т.е. “субмикроскопично”. Тази минерална фаза злато се образува сред пирита и халкопирита. Основната маса злато в състава на медните находища в района се отлага сред сулфидите като ултрамикроскопично до микроскопично. Ранната генерация злато е в състава на пирита, а по-късната (микроскопична) в състава на халкопирита. Златото е сингенетично с вместващите го сулфиди. За находище “Челопеч” се установява, че захватът на финнодисперсното злато се осъществява и при разкristализация на златосъдържащи сложни по състав гели, предимно сулфиди на желязото. По-ранните изследвания показаха, че златоносният пирит от това находище е с характерни метаколоидни структури на агрегатите (Tokmakchieva, 2001).

По време на междурудната тектоника минералите са подложени на катаклаза и прекристализация. Интензивно тектонски обработените рудовместващи скали създават благоприятни условия за проникване на последващите разтвори и тяхното смесване с хладни метеорни води. Флуидите са с ниска соленост и температура от 150 до 210°C. Под въздействието на нискотемпературни разтвори настъпва миграция на златото по микропукнатини. То се концентрира в зони на дислокация в жилки, които разсичат халкопирита и другите медни сулфиди и са замествени от борнит (фиг. 2).

Комплексните минерализации от зоните на дълбочинна хипергенеза в състава на всички медни находища в района се характеризират с богат минерален състав и високи съдържания на злато и благородни метали (Tokmakchieva, Pazderov, 1995).

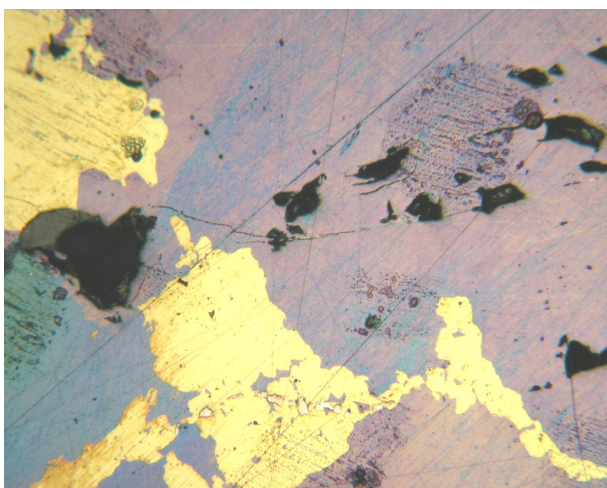
Тези минерализации се установяват под формата на ядки в силно тектонски разломени зони. Описанието на минералния им състав е направено в редица публикации (вж. Токмачиева, 1999). Изследваните минерализации са локално развити в близост до зони на разломяване, проследени в дълбоки сондажи до 850 m от съвременната повърхност. За тези участъци е характерна продължителна катаклаза на скалния масив и активизиране в края на хидротермалната дейност на единични разломи. В минералния състав присъства борнитът, който замества халкопирита.

Отложеното при дълбочинната хипергенеза при по-ниска температура злато е с по-големи размери до “видимо” в микроскопа. То е разположено в междузърновите

пространства на сулфидните минерали или в зони на дислокация на минерали – тенантит, кварц и пирит. В по-малки количества е кварца. Борнитът е водещия минерал и е концентриран в отделни гнезда и компактни маси. Замества халкопирита и пирита (фиг. 3-4).

В комплексните минерализации от зоните на дълбочинна хипергенеза се установява тенденция на уедряване на златинките. Формата на минералното злато е неправилна до заоблена. В късните комплексните минерализации се среща злато в дендрити и октаедрични кристали.

В ранните по-високотемпературни минерални парагенези златото е разположено в сулфидните минерали, по пукнатини в халкопирита и пирита, а в понискотемпературните е дислоцирано на границата борнит/халкопирит (фиг. 2 и 4); борнит/хесит; борнит/калиев фелдшпат; халкопирит/магнетит; сфалерит/халкопирит. Размерите на златото са от 5 до 10 микрона в състава на пирита, от 5 до 30 микрона в състава на халкопирита и другите медни сулфиди и от 10 до 300 микрона разположено на границата на сулфидните минерали. В комплексните минерализации от зоните на дълбочинна хипергенеза се наблюдават жилки от злато, които сечат сулфидните минерали и са заместени от борнит. Дебелината им е до 1 mm, а дължината до 10 mm.

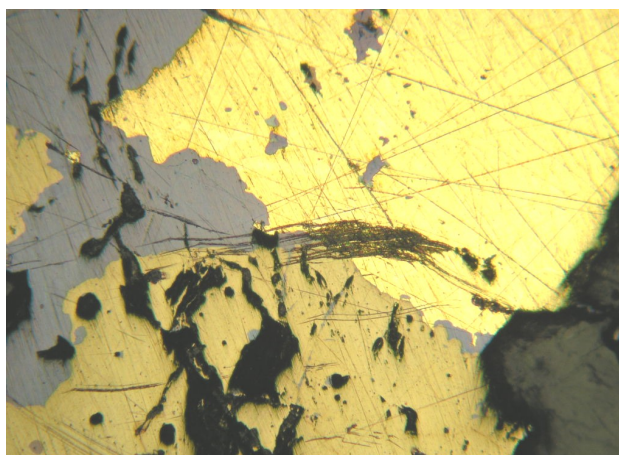


Фиг. 2. Аншлиф от комплексна минерализация от зоната на дълбочинна хипергенеза от находище "Радка". Жилка от злато (яркожълто), заместено от борнит (лилаво) и неруден минерал; видимото поле в микроскопа е 1.4 mm

В такива комплексни минерализации съдържанията на злато достигат до 40 g/t, сребро над 52 g/t, високи са съдържанията на телур, бисмут, платина, паладий и др. В минералната парагенеза участват хесит, нагиагит, алтаит, тетрадимит, самороден телур. Те са образувани от системи, които са обогатени на телур, злато и сребро при субсолидоносни процеси при температури по-ниски от 210°C, а вероятно и по-ниска. Концентрацията на злато е в зависимост от степента на сложност в състава на сулфидните агрегати, с които то асоциира. Сложните полиминерални агрегати са по-богати на злато в сравнение с простите.



Фиг. 3. Находище "Елаците": комплексна минерализация от зоните на дълбочинна хипергенеза



Фиг. 4. Аншлиф от същия образец от фиг. 3: находище "Елаците" – борнит (сиво), халкопирит (тъмно жълто), злато (ярко жълто); видимото поле в микроскопа е 1.4 mm

Изводът е, че в ранните стадии на рудообразуване златото едновременно кристализира със сулфидните минерали. Предполага се, че освен сингенетичното на сулфидните минерали злато, част от него може да се образува и от остатъчни разтвори. В последствие златото може да кристализира отделно от другите минерали или да се формира като последващ разпад на твърди разтвори. Тук е малко вероятна едновременната кристализация на златото със сулфидите. Тук миграцията на златоносните разтвори се осъществява предимно по пукнатини, на границата на минералните зърна и мозаечни блокове, а също и по дислокации и структурни канали. Отложеното през по-ранните стадии на минералообразуване финнодисперсно злато се многократно прегрупирва, поради което локално възникват високи концентрации от злато и се отлагат уедрени частици самородно злато. Тези явления протичат и при прекристализацията на сулфидните минерали по време на междурудната тектоника и при последващото постъпване на нови притоци от метеорни води. Така всички едри образувания от "видимо" злато се образува при дълбочинната хипергенеза. При тях златото се утаява при рязко спадане на налягането, намаляване на солеността на разтворите и на тяхната температура. Това активизира

кристализацията, която протича при непостоянни окислително-редукционни условия, особено в силно разломените зони и близо до повърхността, където минералообразуването протича под влиянието на богати на кислород вадозни води. Счита се, че това е един от активните стимулатори за отлагане на злато и благородни метали при разпада на техните комплексни съединения.

Третото основно положение е типоморфизмът и характерни минераложки особености на някои минерали

В комплексните минерализации от зоните на дълбочинна хипергенеза минералите на благородните метали се наблюдават под формата на включения сред халкопирита и по-рядко сред борнита. Златото се разполага в междузърновите пространства на сулфидните минерали или под формата на прожилки. Характерно в случая е, че среброто, медта и живакът се разпределят твърде неравномерно сред златото, като от центъра на златинките към тяхната периферия намалява съдържанието на живак и сребро и нараства това на медта (Токмакчиева, 1994). Някои от включенията имат силно удължена форма. Изследванията на съдържанието в различните им участъци говорят за непостоянен състав на химичните елементи в тях.

Повишеното количество на телура и по-ниската активност на сярата е характерен белег за среда с по-висок окислителен потенциал, което потвърждава още един път, че в зоните на дълбочинната хипергенеза минералообразуването протича под въздействие на хладни (метеорни) води. Значителна роля играе откритостта на системата в близост до активизирани разломи. Процесите на самоочистване и преотлагане са особено интензивни сред високосулфидните компактни руди, които съдържат по-високо количество редки елементи и благородни метали (Цонев, 1986).

В парагенеза с комплексните минерализации от зоните на дълбочинна хипергенеза се наблюдават агрегати от калиев фелдшпат, едролюспест биотит и кварц. Характерно е и отлагането на значителни количества от глинести минерали, които заместват серицита.

Четвъртото основно положение е съотношението на зоните на изветряне и зоните на дълбочинна хипергенеза

Зоните на изветряне имат площно развитие в дълбочина до 60-250 m. Минералообразуването в тях протича в пределите на зони на аерация или в горните участъци на зони на активен водообмен, където циркулацията на подземните води съдържат свободен разтворим кислород и други газове с атмосферен произход. В дълбочина тези води окисляват сулфидите и други минерали. Много от химичните елементи преминават в разтворима форма и в друга валентност. Свободният кислород постепенно се изразходва и водите имат възстановителен характер. При възстановителни условия се формират зоните на вторично сулфидно набогатяване. Така в общи черти се формират приповърхностните зони на хипергенеза. Кората на изветряне е свързващото звено между ендегенните минерализации и разкритията на земната повърхност.

За зоната на изветряне на медно-молибденово-порфирните находища Елаците (Етрополско) и Медет типоморфните минерали са хематит, хематолит, гьотит, лепидокрокит, малахит, халкоцит, ковелин, джърлеит, молибдит, хризосола, сферосидерит, минералната разновидност "спекуларит". Типоморфните минерали хематит, минералната смес "лимонит", каолинит, хидрослюди, халуазит, тенорит, куприт, халкантит, халкоцит, ковелин, джърлеит, магхемит, минералната разновидност "спекуларит", мартит, злато, мед, брошантит, тенардит, антлерит са характерни за медно-порфирните находища и рудопроявления Асарел, Цар Асен, Петелово и Влайков връх (Попово дере). За железосулфидна генетична група с представителни находища Елшица, Радка, Красен и Челопеч са характерни типоморфните минерали хематит, минералната смес "лимонит", гипс, халцедон, анилит, ярозит, злато, сяр, халотрихит, стипци, халкоцит и ковелин (Токмакчиева, 1994).

Зоните на дълбочинна хипергенеза се разполагат под зоните на изветряне. В дълбочина водообменът е забавен. Характерни са процесите на хидратация и разтваряне на минералите, сорбцията и обмените реакции, преотлагането на веществото. В зони с висока проницаемост активността на водообмена е висока и е възможно да протекат процеси на дълбочинно окисление. Физико-химичните условия на минералообразуване се отличават от приповърхностните. Поради това се формират минерални асоциации, които се отличават от посочените по-горе в зоните на изветряне. Като типоморфни минерали можем да изведем борнита, глинестите минерали, а в състава на комплексните минерализации множество минерални фази на благородните метали с непостоянен състав.

Заключение

Процесите на дълбочинна хипергенеза играят съществена роля при минерало- и рудообразуването и формирането на комплексни минерализации, богати на благородни метали. Дълбочинните хипергенни минерализации заемат закономерно място в профила на минералого-геохимичната зоналност на находищата. Те са определящи за формирането им. Резултатите от тези изследвания способстват за търсене на орудявания и оценката на техния комплексен характер.

За разкриване на зоните на дълбочинна хипергенеза е необходимо използването на глобални, регионални и локални фактори, а също и на комплексни геохимични и минераложки методи. Изучаването на дълбочинната хипергенеза допълва познанието ни за минералообразуването. В нашата литература се срещат редица факти за нискотемпературни процеси, при които се отлагат късни минерални асоциации с високи съдържания на злато. Необходимо е да се направи преоценка на тези орудявания от гледна точка на дълбочинната хипергенеза. Това може да доведе до възобновяване на търсещите и проучвателните дейности в потенциални райони за разкриване на нови комплексни минерални суровини.

Литература

- Белявцев, Я. Н., Ю. М. Епанко. 1972. К вопросу о генезисе железных руд Криворожского железорудного бассейна. – В: *Материалы семинара рудных геологов железорудной промышленности*. Киев, Наукова думка, 49-58.
- Билибин, Т. В., Е. К. Мельников, А. В. Савицкий. 1991. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии. – *Геология рудных месторождений*, 33, 6, 3-13.
- Богданов, Б. 1987. *Медните находища в България*. С., Техника, 287 с.
- Бончев, Е. 1955. *Геология на България*. С., Наука и изкуство, 234 с.
- Токмакчиева, М. 1994. *Минерален състав, геохимични особености и генезис на медните минерализации от Панагюрско-Етрополския руден район*. С., АСИ-ООД, 458 с.
- Ферсман, А. Е. 1953 (1922). *Геохимия России*. Вып. 1. – В: *Избранные труды. Том II*. М., АН СССР, 9-104.
- Цонев, Д. 1986. *Първичен минерален състав и минералообразователни процеси в находищата Радка и Елшица, Централно Средногорие*. Автореферат. С.
- Черников, А. А. 2001. *Глубинный гипергенез, минерало- и рудообразование*. М., Росс. Академия наук, 98 с.
- Шмарович, Е. М., Б. И. Натальченко, К. Г. Бровин. 1992. Поведение благородных металлов при инфильтрационном рудообразовании. – *Изв. Росс. АН, Серия геол.*, 9, 121-132.
- Petruncov, R., P. Dragov, H. Neikov, Ts. Iliev, N. Vasileva, V. Tsadov, S. Dunakov, K. Doncheva. 1992. Hydrothermal PGE-mineralization in the Elatsite porphyry copper deposit (the Sredna Gora metallogenic zone, Bulgaria). – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 45, 4, 32-40.
- Strashimirov, S., B. Bogdanov, K. Popov, R. Kehayov. 2003. Porphyry Systems of the Panagyurishte ore Region – In: *Cretaceous Porphyry-Epithermal Systems of the Srednogorie Zone, Bulgaria* (Eds. B. Bogdanov, S. Strashimirov). *Soc. Econ. Geol., Guidebook Ser.*, 36, 47-78.
- Tarkian, M., U. Hünken, M. Tokmakchieva, K. Bogdanov. 2003. Precious-metal distribution and fluid-inclusion petrography of the Elatsite porphyry copper deposit, Bulgaria. – *Mineralium Deposita*, 38, 261-281.
- Tokmakchieva, M. 2001. Mineralogy of gold from ore deposits in Central Sredna Gora area. – *Ann. Univ. Mining and Geology*, 43-44, Part I, Geology, 73-78.
- Tokmakchieva, M., R. Pazderov. 1995. Mineral paragenesis of white metals in the composition of Elatsite deposit. – *Геология и минерални ресурси*, 5, 16-20.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Минералогия и петрография", ГПФ