

## РЕЦЕНЗИЯ

за дисертационния труд на **Ралица Николаева Събева** на тема

*“Златно находище Милин камък, Западно Средногорие:*

*хидротермално променени скали, минерален състав, генезис”*

за получаване на ОНС “доктор”,

(научна специалност 01.07.13. Геология и проучване на полезни изкопаеми)

Рецензент:

Проф. д-р Стр. Страшимиров

Представеният ми за рецензия дисертационен труд е в обем 180 стр., включително 71 фигури, 23 таблици и 271 заглавия цитирана литература. Изложеният материал е структуриран в 8 глави, увод и изводи, а в края на дисертационния труд са отразени и вижданията на авторката за приносите, които се правят с настоящата разработка.

Следва да се подчертае, че избраната тема е актуална, предвид на интензивните проучвателни работи, които бяха проведени в последните няколко години в района на находище “Милин камък” и очакванията за скорошното му допроучване и предстояща експлоатация на рудите от това находище.

Основната цел на дисертационния труд е фокусирана върху характеристиката на вместващите и хидротермално променени скали от находището, веществения състав на орудяването, с по-специален акцент върху химизма на пирита и разпространението на златото и среброто в рудите, изследването на флуидните включения в кварца, както и на изследвания за изотопния състав на сярата. Въз основа на посочените изследвания в края на дисертационния труд е предложен генетичен модел на рудообразователните процеси в находище Милин камък.

За изпълнение на тези задачи е подбрана методика, включваща разнообразен спектър от наблюдения и аналитични изследвания, осъществени със съвременна методика и апаратура в лабораториите на СУ “Кл. Охридски”, МГУ “Св. Иван Рилски”, ГИ и ЦЛЕХИТ при БАН, както и във водещи лаборатории в известни университетски и научни центрове в Австрия (Институт за Науки за Земята при Университета в гр. Грац) и Великобритания (лабораторията Iso-Analytical Limited, гр. Крю). Използван е на практика почти целия инструментариум от съвременни методики и апаратури за изследване на минералите, влизаци в състава на хидротермалните промени и орудяването, като сканираща електронна микроскопия, рентгеноспектрален микроанализ, лазерна аблация и масспектрометрия в индуктивно свързана плазма, изотопни изследвания, термобарогеохимични изследвания, класически мокър силикатен анализ, рентгенофазов анализ и конвенционална микроскопия в проходяща и отразена светлина.

Материалът за изследванията е набиран в продължение на няколко години, от 2007 г., когато докторантката започва работа като стажант-геолог към “Трейс Рисорсиз” ЕООД, проучваща в този период находището. Опробвани са 12 сондажа, като в три от тях проби са вземани в интервал от 3 – 5 m, а от останалите са подбирани проби по преценка на докторантката. Набирането на материал за изследване е осъществявано и от канали и повърхностни разкрития на терена. В работата не е отбелязан общия брой и разпределението на образците от съответните проучвателни изработки, но като се има в предвид обема на проведените изследвания, може да се приеме, че изходният материал е достатъчно представителен за постигане на поставените в дисертацията цели.

В началото на дисертационния труд докторантката представя данни за геоложката и металогенна позиция на изследвания обект. Разгледана е накратко еволюцията в схващанията за характера и произхода на Средногорската металогенна зона, като е обърнато внимание на съвременните хипотези за формиране на зоната и нейната металогенна специализация. Накратко са разгледани геоложкия строеж и тектонските особености на района на находището и е приведена сравнително по-подробна геоложка характеристика на самото находище Милин камък.

В отделна глава са разгледани позицията на опробваните сондажи и методиката на проведените изследвания, като са указани условията за провеждане на конкретните анализи използвани в процеса на работата.

В глава 4, докторантката привежда собствени изследвания на вместващите скали и хидротермално променените скали от находището. Направените силикатни изследвания характеризират по състав вместващите скали на границата базалт-трахибазалт (съгласно диаграмата на Le Maitre et. (1989). По отношение на хидротермалните промени, в работата са отразени известните до момента данни, публикувани от Велинов (1967, 1970) и Круми и колектив (2001). В своите изследвания, докторантката се придържа към подхода на Каназирски (2011) при класифициране на хидротермалните промени. Последователно са разгледани пропилитизацията, като са изведени два фациеса – хлорит-карбонат-епидотов и хлорит-карбонат-епидот-актинолитов, серицитизация, умерена аргилизация, интензивна аргилизация, както и преходен (смесен) тип – пропилито-серицитов тип. Минералите присъстващи в така описаните промени са описани подробно на базата на микроскопски изследвания, като техните особености и взаимоотношения са документирани с подходящи микрофотографии.

В заключение на петрографските изследвания, докторантката прави извода за вероятна обвързаност на хидротермалните промени, характерни за преход между умерено сулфидния и високосулфидния тип орудяване.

Към тази част препоръчително би било, освен микрофотографиите да се приложи и схема за евентуалното пространствено разпределение на двата типа хидротермална промяна и зоните, където те са развити.

В глава 5 са съсредоточени голяма част от собствените изследвания на докторантката, имащи за цел да охарактеризират орудяването в находище Милин камък.

В началото на тази глава са разгледани установените структури и текстури на рудите, като е направен кратък преглед на смисъла на термините “структура” и “текстура” и са посочени разликите в използването им в англо-саксонската и руската геоложка литература.

За нуждите на своите изследвания докторантката е приела класификацията на Исаенко (1983), съгласно която отделя 8 типа текстури и 9 типа структури в рудите от находището. Те са описани подробно, като са посочени техните характерни особености, илюстрирани с подходящи примери от находището.

В отделна подточка е направен коментар на проявените в находището етапи и стадии на минералообразуване. Доколкото в предходни изследвания, динамиката в рудообразователните процеси в находището не е дискутирана, то наблюденията и изводите, които прави докторантката в това направление са определен нейн принос в изучаване на рудообразователните процеси в находището. Тя отделя два етапа – хидротермален и супергенен, като в рамките на ендеогенното минералообразуване се обособени три отделни стадия – кварц-пиритов, кварц-полиметален и карбонат-златен. През хидротермалния етап се формират общо 17 рудни и три нерудни минерала. От рудните минерали по-широко разпространение имат пиритът, галенитът, сфалеритът, халкопиритът и фазите от тенантит-тетраедритовата редица са с второстепенно разпространение, а останалите се срещат рядко. Приложена е и схема за тяхното образуване. От направените описания на стадиите и приложената схема остава открит въпроса – отделните стадии разделени ли са от вътрешно-рудни тектонски движения, водещи до напукване на вече образуваните стадии и спояването им с минералите от следващия стадий или не? В последствие в текста са приведени примери за корозия на едни минерали от други, но добре би било и в тази част да се направи малко по-подробен коментар на въпроса за наличието на интратрудни движения.

Установената медна парагенеза (стр. 58) в сондаж №10105 в рудна зона №8 е една интересна находка, за която обаче, няма достатъчно данни – как тя се вписва в схемата за последователността на минерализация в находището и къде е нейното място по време на минераобразуването? Докторантката се е въздържала от по-пространен коментар за появата на тази парагенеза, поради отсъствието на взаимоотношения с останалите минерали, но би могло все пак да изкаже някакви предположения за възможния механизъм на нейното образуване и връзката и с останалото орудяване.

След като е постулирана последователността на рудообразуване, в дисертационната работа се дава пространно описание на особеностите на отделните рудни минерали. Тук докторантката демонстрира уменията си да характеризира специфичните особености в появата на отделните рудни минерали, като илюстрира с подходящи снимки направените наблюдения. При описанието на пирита, марказита и пиротина са приведени съображения относно механизма на трансформирането на пиротина в марказит и възможната промяна на марказита в пирит.

Галенитът и сфалеритът са описани подробно, като са приведени и резултати от количествен рентгеноспектрален анализ за наличието на елементи-примеси в тях.

Галенитът предизвиква интерес като един от носителите на включения от електрици и телуриди. Прави впечатление спорадичното присъствие на сребро – елемент, който “традиционно” се установява в галенита, тук вероятно свободното сребро в разтворите е “уловено” в електрицима, поради което съдържанието на елемента в галенита е твърде оскъдно в малкото случаи, които са установени при микросондовите анализи.

Сфалеритът също така е описан доста подробно, като е направен необходимия коментар за наличието на халкопиритова емулсия в него и е посочена възможността за едновременно отлагане на сфалерита и наблюдаваните в него включения от халкопирит. Сфалеритът е характеризирани като представител на нискожелезистия тип, отбелязан е и другия

характерен елемент-примес за сфалерита – кадмия, който е установен в ниски съдържания само в някои от пробите.

В три от анализите на сфалерит е установено и злато, но тук в текста докторантката се е въздържала от коментар - дали това се дължи на микровключения от самородно злато под повърхността на сфалерита или елемента е включен в решетката на минерала? (Този коментар е направен в следствие на стр. 133).

При описанието на рудните минерали е отделено необходимото внимание и на фазите от тенантит-тетраедричната редица (стр. 70). Получените данни от микросондовия анализ ги характеризират като цинкови тенантити, съгласно критериите на Комисията за нови минерали и минерални имена към ММА. Макар и не с първостепенно значение, тези фази представляват интерес като носители и на злато и на сребро, както може да се види от приложението анализи.

В работата са първи път се доказва и наличието на бурнонит, отбелязан (но недоказан) в изследванията на Круми и колектив от 2001.

Определен принос на докторантката са и установените за първи път в находището телуриди – хесит, петцит и алтаит, които тясно асоциират с електричната в изследваните образци. Докторантката се е запознала с редица съвременни публикации за присъствието на телуриди в различни по генезис златни находища (стр. 74). Тук би било полезно да се добави известен коментар - установените от докторантката находки в Милин камък - по какво си приличат или различават от описваните в цитираните публикации телуриди и каква е тяхната позиция в рудообразователния процес в други златни находища. В приведените фотографии на стр. 75 Фиг.5.9. б и г – мащабът на снимките е трудно четим и не позволява да се прецени размера на анализирания зърна.

Носител на злато в находището (макар и в ниски съдържания) е и стибнитът описан в последния руден стадий.

В тази част са коментирани подробно и съпътстващите орудяването нерудни минерали – кварц, карбонати и барит.

В супергенният етап са установени минерали от копиапитовата група – копиапит и ферикопапит, както и гипс, епсомит, ярозит, железни оксиди и хидроксиди и манганови оксиди, като са приведени данни от рентгенофазовия анализ.

Към тази част имам следната препоръка – независимо, че носителите на злато и сребро в следствие в текста са подробно коментирани, за яснота на изложението, може би е трябвало да бъдат споменати съвсем накратко и при описанието на минералите от ендегенния етап.

Минералният състав на отделената медна парагенеза е описан самостоятелно след характеристиката на минералите от супергенния етап в находището. Тук са установени пирит, марказит, халкопирит, халкозин, борнит и ковелин, както и идентифицираните при микросондовите анализи енаргит, гиирит и спинокопит. Последните два минерала са сравнително редки в природата и тяхното установяване също така е определен принос на докторантката в детайлното описание на рудната минерализация от находището. В частта посветена на медната парагенеза не става съвсем ясно - халкозинът и останалите медни сулфиди дали са образувани в резултат на по-късни процеси или са с ендегенен произход? За борнита е изказано предположение за вторичен произход на базата на наблюдаваните структури (стр. 88), но за останалите липства категоричен коментар. В края на тази част (стр. 88, последния параграф) е добавено едно твърде общо заключение, че медните сулфиди

характерни за парагенезата се установяват и в медните находища от Панагюрския район, като се цитира Мориц и колектив от 2004, без да се конкретизира за кои типове са по-характерни и резултат на ендеогенно или екзогенно минералообразуване са тези минерали.

Следващите две глави 6 и 7 представляват определен съществен принос на докторатката в изучаване на рудната минерализация в находище Милин камък. Използвайки удачно метода на лазерната аблация с масспектроскопия в индуктивно свързана плазма, в работата тя привежда резултатите от 113 анализа на пирит в 11 аншлифа от находището. Тези анализи позволяват да се получи една детайлна представа за съдържанието на елементи-примеси в пирита и да се отговори на редица въпроси, свързани с присъствието на злато в пирита. Отделени са две разновидности пирит – “чист” пирит и пирит, богат на елементи-следи. За втората разновидност са направени необходимите корелации и са изчислени коефициентите на корелация (Табл. 6.3). Правят впечатление по-високите стойности на корелационните коефициенти между Au-Sb, Au-Ag, Au-Mn, Pb-Ag, Pb-Sb и други, посочени и коментирани в текста. Към тази част е направен и доста задълбочен коментар на формата на присъствие на установените при анализа елементи в пирита, като са посочени елементи, които са структурно свързани в кристалната решетка на пирита (Co, Ni, Se, Te, As, Cu). На базата на посочените по-горе анализи са отделени елементи, вероятно присъстващи под формата на микровключения в пирита. Специално внимание е обърнато на възможностите за присъствие на микровключения от фино злато или златни телуриди, но наличните данни не позволяват да се направи категоричен извод по този въпрос.

В отделна точка са коментирани особеностите на третата разновидност пирит - медсъдържащия пирит установен в медната парагенеза, който по своя химизъм се различава от останалите две разновидности пирит в находището.

Направени са съпоставки за различията в химизма на централните части и периферията на изследваните зърна. Интересно би било да се направи и съпоставка на особеностите на типовете пирит от различните дълбочини в сондажите – дали те се различават по елементи примеси (следи) или не?

Като цяло и тази част от работата е развита на много високо ниво, което показва, че докторантката е успешно навлязла в осмислянето на тази сравнително нова за страната методика, като умее критично да оценява получените данни и да прави необходимите изводи.

В глава 7 докторантката подробно се спира на въпроса за формите на присъствие на злато и сребро в находището, доколкото тези два елемента определят и икономическата ценност на рудата в Милин камък. Задълбочено са коментирани особеностите на златото установено в два от рудните стадии, като е подчертана по-ниската пробност на златото от по-рано отложената полиметална парагенеза на кварц-полиметалния стадий. Във втората генерация пробността на златото се повишава до характерната за самородното злато. Специално внимание е отделено на въпроса за т.н. “невидимо злато”, като докторантката проследява възникването на този термин през тридесетте години на миналия век до най-новите публикации в съвремението. Въз основа на проведените изследвания се заключава, че в находище Милин камък има проявление на невидимо злато, структурно-свързано злато, както и на микровключения от злато, заедно с други минерали в пирита.

Макар и по-рядко злато се установява и в минерали като сфалерит, тенантит и хесит.

Изследванията за присъствието на злато в медната парагенеза са по-оскъдни предвид на ограниченото количество материал за изследване в тази парагенеза.

По подобен начин са структурирани и изследванията за носителите на сребро в рудите от находището. Освен двата сребърни минерала хесит и петцит, които обаче са в ограничено количество, като основен носител на сребро се посочва електрумът, където съдържанията му достигат до над 20 – 21 тегл. %. Галенитът в изследваните образци се характеризира с общо взето ниско съдържание на сребро, елементът е установен също така в тенантита, бурнонита, пирита и алтаита.

Глава 8 е посветена на генезиса на находище Милин камък. Тук в началото се прави преглед на характеристиките на епитермални находища, като се отделят генетични типове различни епитермални находища. Може би по-правилно е в случая да се говори за разновидности, защото като цяло епитермалните находища са с хидротермален генезис, в които се отделят високо, ниско или умереносулфидни типове, но докторантката е възприела широко използваните от съвременните автори определения, така че това не е недостатък на работата. В отделна подточка е развит въпросът за формата на миграция и отлагане на златото, където докторантката отново демонстрира отлично познаване на съвременната литература по тези въпроси.

За изясняване на генетичния модел на находището са проведени и изследвания на флуидни включения в минералите, като е отбелязано, че в находище Милин камък включенията, изследвани в кварца са твърде редки. Измерените температури по метода на хомогенизация на газово-течни включения определя находището в характерния за епитермалните находища температурен диапазон на образуване. Проведените криометрични изследвания маркират ниски солености в границите 6.6 – 3.7 тегл. % NaCl еквивалент, което също така е типично за епитермалните находища на злато. Независимо от сравнително неголемия брой изследвани включения, получените резултати обогатяват картината за физикохимическите условия на отлагане на рудите и показват старанието на докторантката да овладее една полезна методика за изучаване на рудните находища.

Главата за генезиса се допълва удачно и от проведените изотопни изследвания на сярата, с които се определя предимно магмен произход на сярата в хидротермалните разтвори отложили орудяването и отсъствие на данни за по-активно участие на метеорни води в системата.

В заключение е предложен генетичен модел на рудообразуването в находище Милин камък, в който са включени данните, получени в хода на изследванията и коментирани в предходните глави на дисертационния труд. Като основа за генетичния модел е взет модела предложен от Антонио Арибас в 1995 г. за формиране на находища от този тип. Направен е извод, че в находището има частична проява на високосулфидния тип орудяване (рудна зона №8), маркирана от интензивно аргилизираната зона с присъствие на кварц, каолинит, алунит и APS минерали. В останалите зони (№№ 1, 2, 4 и 6) се предполага формиране на умереносулфиден тип орудяване. Генетичната обвързаност на двата типа е възможна и както

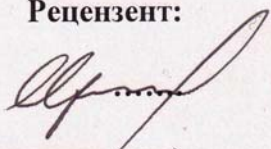
справедливо отбелязва докторантката окончателното дефиниране на въпроса изисква и допълнителни изследвания в бъдеще. Няма съмнение, че нейната работа е една отлична основа, систематизираща данните, получени до настоящия етап от изследване на находището, които могат да бъдат използвани успешно в следващите етапи от проучването на рудната минерализация.

В заключение, в работата е направена синтез на получените резултати и са изведени основните изводи от нея, касаещи хидротермалните промени и особеностите в минералогията и геохимията на рудната минерализация. Бих искал специално да отбележа и акуратния и прегледен вид, в които е поднесена дисертационната работа, точния и професионално издържан език, с които се излагат получените данни и умението да се ползва необходимата съвременна литература.

Претенциите на авторката за приноси в дисертационния труд са обобщени в 7 точки, които напълно отговарят на изложеното в текста на работата и се приемат от рецензента.

Авторефератът на дисертационната работа е изготвен съгласно изискванията и напълно отразява същността на проведените изследвания.

**В заключение, искам да подчертая, че представеният дисертационен труд от Ралица Николаева Събева напълно отговаря на изискванията за докторска работа. Докторската теза представя Събева като една оформена изследователка, със собствен стил, запозната добре със съвременните тенденции в областта на изучаване на минералния и веществен състав на находищата, овладяла модерните методики за изследването им и умееща да обобщава получените данни в логически обосновани заключения, поради което рецензентът препоръчва на Уважаемото Научно жури да и бъде присъдена научната степен “доктор”.**

Рецензент:  
  
(проф. д-р Стр. Страшимиров)

01.03.2015 г.  
София