

## РЕЦЕНЗИЯ

от проф. д-р Цвета Станимирова Иванова, Софийски Университет „Св. Кл. Охридски“,  
Геолого-географски факултет, Катедра „Минералогия, петрология и полезни  
изкопаеми“

на дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ по научна специалност „Петрология“, професионално направление 4.4. Науки за Земята на тема *„Околорудни хидротермални изменения на скалите от медно-порфирно находище Елаците“* представен от магистър **Християна Василева Георгиева**.

**Процедура.** Настоящата рецензия е изготвена на базата на решение на Първото заседание на Научното жури, утвърдено със заповед № РД-38-658/15.12.2023 г. на Ректора на Софийски университет „Св. Климент Охридски“, провело се на 22.12.2023г. (Протокол 1). Християна Василева Георгиева е завършила висшето си образование в Геолого-географски факултет на Софийски Университет „Св. Климент Охридски“ - бакалавърска степен в специалност Геология през 2012 г. и магистърска степен по МП Геохимия през 2014 г. Със Заповед № РД-20-220/26.01.2015г. е зачислена за редовен докторант по професионално направление 4.4. Науки за земята, научна специалност „Петрология“ към катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“, ГГФ, СУ „Св. Кл. Охридски“ със срок на обучение 3 (три) години. В рамките на установения срок, съгласно представените документи, докторантът е положил всички изпити, включени в индивидуалния учебен план. В законовия срок със Заповед № РД-20-443/19.02.2018 г., докторантът Християна Георгиева е отчислена с право на защита. На 28.11.2023 г., дисертационният труд е предложен за защита на заседание на катедрен съвет на катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“, разширен със Заповед на Ректора № РД-38-624/22.11.2023г. На заседанието са присъствали 9 (девет) хабилитирани лица с компетентност по темата на дисертацията.

Според представените документи, докторантът отговаря на изискванията на ЗРАС в Република България и Правилника за приложението му за придобиване на ОНС „Доктор“.

**Характеристика, критични бележки и препоръки на дисертационния труд.** Представената за рецензиране дисертация е от професионално направление 4.4. Науки за Земята, докторска програма „Петрология“. Тя е с обем 320 страници, в които са включени основен текст, цитирана литература, приложения от графични (карти) и таблични типове. Основният текст е структуриран в „Увод“, десет глави с научното съдържание, и завършва с със „Заклучение и изводи“ и глава „Приноси“. Организацията на дисертационния труд е прегледна, различните глави на текста следват логично една след друга и позволяват да се проследи връзката между всяка една от тях. Това също така улеснява читателите да възприемат в пълнота написания текст. Общото впечатление от текст, фигури, графики и снимки е добро, те са четими и информативни, не се установява излишно и самоцелно представяне на данни. Единствено, приложението с праховите дифрактограми е слабо четимо, поради дребния шрифт. Ненужно повторение на

поднесената информация се установява в глави I.3 и III.2. Прегледът на терминологичните бележки от глава I.3 би било логично да се прехвърли към „Общи бележки, геология и изученост на находище „Елаците“ (глава III.2), като по този начин ще се спести повтарянето на едни и същи данни. Много е удачно включването на глава „Терминологични бележки...“ поради различните подходи и схващания, които съществуват в литературата относно начина по който трябва да се изучават и представят хидротермално променените скали. Единствената сериозна забележка към организацията на труда е, че при микроскопските описания на хидротермално променените скали няма данни за вида и химичния състав на минералите. За да се ориентира читателя е необходимо да се „прескочи“ към глава „Минераложки и геохимични особености на вторични минерали“, а след това и към Приложение 2, като при подобно прелистване често се губи нишката.

**Актуалността** на проблема проличава в главите „Въведение“ и „Терминологични бележки...“. Там са изброени нерешените досега проблеми, касаещи еволюцията на находище „Елаците“, така и новите данни, придобити в хода на експлоатацията на находището при откриването на нови хоризонти. Въз основа на това са очертани и няколкото основни задачи на труда:

1. Пълно охарактеризиране на хидротермалните промени – *вид, интензитет и обхват*.
2. Установяване на *геохимичните и минерални характеристики* на всеки вид промяна.
3. Определяне на *еволюцията на хидротермалния флуид*, довел до образуването на промените в находището.

Доколкото по точка 2 данните са много оскъдни или напълно липсват (състав на нерудните минерали от променените зони), то можем с пълна сигурност да заключим, **че представената работа е с актуална тематика.**

Използваната **методика** е подбрана правилно с цел да се отговори на поставените въпроси и задачи, като последователността на приложените методи е оправдана. Прави впечатление, че няма самоцелно заложен аналитични дейности. Използвани са няколко аналитични метода и апарати за валови проби, като това гарантира контрол на достоверността на резултатите. Направените изследвания на изотопите на въглерода, кислорода и сярата допринасят за изработването на модел на еволюцията на находище „Елаците“.

Аналитичните дейности са описани в пълнота, с изключение на анализите на минералите. Там не са споменати подробности относно условията на анализиране (напрежение, продължителност на сесията, дали са използвани стандарти, метод на корекция и нормализация). Като цяло би било удачно при използване на различни апаратури да се упомене кой анализ от коя апаратура е получен.

Представянето на **научните резултати** е в основата на работата, като то е направено в няколко глави: „Теренни наблюдения“, „Петрографска характеристика на хидротермално променените скали“, „Минераложки и геохимични особености на вторични минерали“, „Привнос-износ на елементите.....“ (глава VII), „Физико-химични условия на образуване....“ и „Леки изотопи на вторични минерали“.

Теренните наблюдения са разделени на две части: едната е за сравнително свежите и непроменените хидротермално скали, а по-подробната и обемна е за променените хидротермално скали. Описанията на скалите са подробни, точни и илюстрирани с много и висококачествени снимки. Теренните описания на непроменените скали включват старопалеозойските нискометаморфни скали от фундамента, скалите от Веженския плутон и тези от Елашкия дайкоподобен интрузив. Докато при описанието на интрузивните разновидности са цитирани авторите дали подробната характеристика на тези магмени тела, то за нискометаморфните разновидности няма такива. От което може да се допусне, че пълното описание на нискометаморфният разрез с различните скални разновидности е дело на автора. Когато се описват скалите от фундамента би трябвало да се спомене те към коя официална единица се отнасят.

Теренните описания на хидротермално променените скали са подробни, дават се главните ареали на разпространение на тези скали, върху какви фащиални разновидности са проявени. По-целесъобразно би било, ако това описание се обедини с главата „Петрографска характеристика на хидротермално променените скали“, като по този начин се свържат макро и микро-особеностите на скалите.

В главата „Петрографска характеристика на хидротермално променените скали“ се разглеждат както досега известните типове промяна, така и новоустановените за находището Са-метасоматоза, Na-Ca промяна, Na-Ca-K-силикатната промяна. Микроскопските описания са много добри и подробни, богато илюстрирани със снимков материал. Недостатък в описанията е липсата на данни за съставите на минералите, изграждащи променените фацисии. Работата щеше да спечели, ако в отделените до момента фацисии на промяна се постави разграничение какво е известно/описано и какво ново е добавено от докторанта.

На стр. 62 при описанието на Са-скарни се отбелязва, че андалузитовите порфиروبласти са изцяло заместени, но не се споменава от какво.

При описанието на Са-метасоматоза и Na-Ca промяна не става ясно въз основа на кои белези се отделя единия от другия тип промени. Например, за епидозитите (стр. 63) и за Na-Ca площна промяна и амфиболовите жили (стр. 68 и 69) е цитиран един и същ минерален състав: кварц, амфибол, плагиоклаз, епидот ± рудни минерали и хлорит, като липсват сравнителни данни за съставите на плагиоклазите и амфиболите от двата типа промени. При Na-Ca-K- силикатна промяна се споменава за образуване на обилен албит, обикновено дребнозърнест и в основната маса. Как е установено наличието на албит, като при анализите на минералите е показан плагиоклаз със състави олигоклаз - андезин?

При кварц-адулар-карбонатната промяна са изброени широк кръг карбонатни и зоолитови минерали. Те са установени при предходни изследвания или са резултат на настоящите изследвания? Ако е второто, коя точно дифрактограма от Приложение 2 ги онагледява?

В глава „Минераложки и геохимични особености на вторичните минерали“ са разгледани съставите и някои характеристики на нерудните хидротермални минерали. Това е особено ценна част от дисертационния труд, защото досега тази важна характеристика на находище „Елаците“ не е била систематично изследвана. Извършена е много голяма по обем работа, анализирани са не само типоморфните минерали за всеки тип промяна, но и някои характерни акцесори като титанит, циркон, апатит и рутил.

Всички минерали са разгледани по една и също схема, което улеснява възприемането на информацията. Тя включва:

1. Кратко описание на минерала в различните фащиални разновидности
2. Класификационни характеристики
3. Химични особености и вариации в съставите въз основа на анализите от Приложение 2
4. Геохимични особености, представени на харкерови, хондрит-нормирани и многокомпонентни диаграми.

По т. 1 описанията са добри, изброени са важни особености, без да се дават излишни подробности, като тези описания допълват петрографските характеристики на скалите, описани в предходните глави. При класифицирането на минералите (т. 2) има известни непълноти. При по-голямата част от минералите са цитирани класификационните диаграми и публикациите за тях, но например за зеолитите и гранатите няма подобни сведения, коя точно схема на класификация е използвана. При класификациите на биотитите са цитирани два колектива (Deer et al. 1991; Rider et al 1998), като по-правилно би било да се остави последният. Амфиболите са класифицирани съгласно схемите на Leake et al., 1997 и Hawthorne et al., 2012. Правилно е да се използва само една, и то по-новата класификационна схема, за да не се получат разминавания в наименованията на минералните разновидности. За всички минерали са преизчислени атомните формулни единици със правилно подбрани нормализиращи фактори. При описанието на химичните особености на минералите (т. 3) са показани съставите им и преизчислените формулни единици в Приложение 2, като понякога те са нанесени на класификационни диаграми. При подбирането на представителни анализи се забелязват някои слабости, изразяващи се в недостатъчна критичност към качеството на анализите. То се изразява в ниска сума на оксидите, неспазване на стехиометрията на минералите, неравномерно разпределение на катионите по позиции – недостиг в едни и излишък в други. Например при представяне на резултатите за биотити има анализи с  $K_2O < 8,5$  wt. %. Какво ни говори това? При резултатите на безводните минерали като плагиоклази и калиеви фелдшпати има анализ със сума на катионите 5,23 и 5,18 атома на формулна единица. Те могат ли да се приемат за представителни и да участват в обсъждането на научните резултати? При представяне на анализите на епидот масово се забелязва излишък на силиций над 3 атома на формулна единица. Това възможно ли е за този минерал?

За обсъждане на геохимичните характеристики на минералите (т. 4) са направени анализи на елементите-следи чрез метода на LA ICP-MS, построени са харкерови, хондрит-нормирани и многокомпонентни диаграми. Доколкото подобни сведения за хидротермални минерали в България са епизодични, то може да се приветства подобно пълно охарактеризиране на минералния състав на променените зони в находище „Елаците“. Допълнителен плюс е систематичността на проведените анализи, като са представени данни за всички минерали за които има направени и микросондови изследвания. Геохимичното характеризирание е извършено въз основа на широк набор от елементи-следи, които са еднакви за всички минерали. В тази връзка не би ли било по-разумно да се стесни кръга на анализирания елементи, като по този начин да се повиши аналитичната точност и достоверност на анализите? Например какви геохимични изводи могат да се направят въз основа на елементи като B, Be, Cs, Th, U, Hf, Tl, Ta, Pb, W, които

са винаги около или под границата на откриваемост в минерали като слюди, амфиболи, пироксени, хлорити, епидоти, гранати, карбонати, фелдшпати? При представянето на геохимичните анализи би трябвало да се отстранят тези анализи, при които резултатите са под границата на откриваемост и данни от тези анализи не бива да се използват на хондрит-нормираните и многокомпонентните диаграми (получават се доста непрегледни празни полета). При сравняването на резултатите от микросондовите анализи и тези от лазерната аблация понякога се забелязват различия от порядъци в получените съдържания. Например в плагиоклазите от албитовите жили ВаО е  $\sim 0,6$  wt. % (анализ от микросонда), а съдържанието на Ва е 200 - 1000 g/t. (анализ от лазерна аблация), а от кварц-серицитовата промяна ВаО е  $\sim 0,4 - 0,5$  wt. % и Ва е 20 – 100 g/t. Кои данни са достоверни и съответно използвани на многокомпонентните диаграми?

Валовият състав на скалите и главните химични белези на хидротермалните промени са разгледани в глава VII. Там е обоснован подхода за използване на различни критерии за разграничаването на хидротермално променените скали: диаграми за привнос-износ на компонентите, изчисляване на „Индекс на промяната“, проследяване на Rb/Sr отношение, разпределението на елементите следи на диаграми. Използването на различни методи, всеки един от тях със специфични приноси, гарантира всестраниното разглеждане на метасоматичните промени. Това ни показва, че докторантът е вникнал надълбоко в проблематиката на метасоматичните промени, трудностите свързани с тяхното изучаване и световните тенденции в тяхното разрешаване! Данните, използвани при всички тези методи, са нови и придобити в курса на работата. Прави впечатление, че и тук, подобно на геохимичните данни за минералите, е използван един твърде широк набор от елементи. Това подсигурава всеобхватност на получената информация, но и води до някои практически затруднения – снижаване нивото на границата на откриваемост и достоверност на резултатите. Например, вместо данни за Та и Hf, биха могли да се интерпретират само данните за геохимичните им двойници Nb и Zr. Много широк набор от елементи – In, Hg, Cd, Tl, Ru, Rh, Pd, Pt, Au, Ag, Te, Sb, As, V, Bi са с много ниски съдържания, често под границата на откриваемост. Данните за тези елементи не се коментират никъде в текста, а също така не намират място на различните геохимични диаграми. В този случай не става ясно защо въобще те са анализирани и какво е тяхното място в настоящият труд?

Основната тежест на разсъжденията и изводите се базира на глава VII.1. Там на диаграми са онагледени поведенията на широк набор от елементи. Направени са изводи кои от тях са привнесени и кои изнесени от скалите в находище „Елаците“ при различните метасоматични промени. Това е един безспорен принос на работата, защото балансът на компонентите е направен систематично за всички видове промени, а също така и за двете основни скални разновидности в находището – гранодиоритите на Веженския плутон и горнокредните монцодиорити. Освен изводи за привнос-износа на компоненти, в работата се дава задълбочено и аргументирано обяснение с изчезването и появата на кои именно минерални фази е свързано това. Това е особено важно защото се явява свързващата нишка между *състав на протолита – хидротермален флуид – наблюдавана парагенеза*. Във връзка с това възниква един въпрос: какво е калиевото съдържание на К-силикатно-филитовата промяна? При микроскопското описание на този вид промяна е описано, че водещо е промяната на биотит в хлорит и отчасти в

серицит. По-слабо са засегнати фелдшпатите, като тяхната промяна е превръщането им в серицит. На диаграмите привнос-износ се вижда, че при порфирировите разновидности калият или запазва своите съдържания (кварц-монцодиоритови) или се изнася от скалата (гранодиоритовите), като подобно е и поведението на геохимичните му двойници – рубидий и барий.

В глави VII.2 и VII.3 са разгледани други геохимични критерии за разграничаване на различните типове промени и се затвърждават изводите направени в предходната глава. На диаграмите от тези две глави много ясно проличават векторите на промените в химичните състави от свежи към променени скали. Това не е постигнато в следващата глава VII.4 тъй като имаме много припокриващи се състави и не става ясен вектора на промяната в различните фациални разновидности. Единствено аргилизитовите промени се открояват много ясно.

При определяне на физико-химичните условия на хидротермални промени (глава VIII) са използвани много широк набор от геотермометри, барометри и оксиметри за определяне на точните параметри. Прави впечатление критичния подход при сравняване на резултатите на различните от методи и внимателната им интерпретация. В глава IX са представени резултатите от анализите на леки изотопи – сяра, въглерод и кислород. Данните от „Елаците“ са сравнени с такива от други находища или със земни резервоари. Данните за изотопи на сярата показват магматичен произход, докато тези за кислорода несъмнено сочат за метеорен произход. При коментиране на изотопите на въглерода се посочва техния несъмнен метеорен произход. Въз основа на какво се счита, че въглеродните изотопи са с подобен генезис? На диаграмата резултатите от „Елаците“ са много близко да анализите от карбонатити и диаманти, възможно най-ювенилните източници на Земята.

Всички аналитични данни са **обсъдени и обобщени** в глава X. В нея е трасирана еволюцията и **разработен модел** на магматично-хидротермалната система в находище „Елаците“. Получените данни и изводи в хода на настоящите изследвания са сравнени с такива от предишни публикации, а също така и с широк набор от чуждестранни находища. Прави впечатление солидната аргументация, базирана на множество експериментални изследвания.

Дисертацията завършва със **заклучения и изводи** в които стегнато и аргументирано са дадени главните резултати от дисертационния труд. В посочените **приноси** се посочват научните резултати, с които се обогатява нашата литература. Така посочените приноси могат да се допълнят и с още един – обвързването на *минералния и химичен състав на протолита – характер на хидротермален флуид - наблюдавани метасоматични изменения*.

**Публикации и автореферат.** Представените документи по конкурса показват, че кандидатът е публикувал част от резултатите в 9 публикации, от които 3 публикации в Review of the Bulgarian Geological Society и 6 абстракта от различни конференции (2 в Геонауки, 2 на годишните конференции Goldschmidt, 2 в proceedings на CBGA), с което покрива националните и институционалните минимални изисквания за придобиване на образователна и научна степен „доктор“ по професионална направление 4.4. Науки за земята и научна специалност „Петрология“.

Авторефератът отразява напълно предоставените в докторската теза резултати, интерпретации и изводи.

**Заключение.** В обобщение на всичко това можем да кажем, че представеният за рецензиране труд е актуален, с много добре насочени задачи. Приложен е комплексен подход за решаване на набелязаните задачи, с изпълнението на множество дейности. Това показва, че докторантът владее широк инструментариум за постигане на целите. Излагането на резултатите и дискутирането на данните показват съвременно ниво на познание, съчетано с критичната им интерпретацията. Не се наблюдават „подхвърлени и висящи във въздуха“ неподкрепени твърдения. Това дава увереност, че докторантът може и за в бъдеще да работи самостоятелно и да продължи своята научна кариера на високо ниво. **Въз основа на това категорично считам, че Християна Василева Георгиева заслужава получаване на научната и образователна степен „доктор“ и ми дава основание убедено да препоръчам на членовете на Научното жури да присъдят образователната и научна степен „Доктор“ на магистър Християна Василева Георгиева, докторант към катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“, СУ „Св. Кл. Охридски“ по научна специалност „Петрология“, професионално направление 4.4. Науки за земята.**

Дата: 6.02.2024 г.

Изготвил рецензията:

проф. д-р Цвета Станимирова