

РЕЦЕНЗИЈА
НА ДОКТОРСКАТА ДИСЕРТАЦИЈА СО НАСЛОВ „ПОВЕЌЕФАЗНО
МОДЕЛИРАЊЕ НА ОРУДНУВАЊЕТО ВО БОРОВДОЛСКИОТ БАКАРЕН
ПОРФИРСКИ СИСТЕМ” ОД М-Р ЛАЗАР ЃОРЃИЕВ, ПРИЈАВЕНА
НА ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ,
УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ ВО ШТИП

Наставно-научниот совет на докторски студии на Кампус 2 при Универзитет „Гоце Делчев” во Штип на својата 54. седница (електронска), одржана на 14.10.2020 год., донесе Одлука бр. 0206-509/4, од 14.10.2020 год., со која се формира Рецензентска комисија за оценка и одбрана на докторската дисертација со наслов „Повеќефазно моделирање на оруднувањето во Боровдолскиот бакарен порфирски систем”, пријавена и изработена од кандидатот м-р Лазар Ѓорѓиев, дипл. инж. геолог, во состав:

- **проф. д-р Орце Спасовски** – претседател (Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев”, Штип);
- **проф. д-р Виолета Стефанова** – член (Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев”, Штип);
- **проф. д-р Горан Тасев** – член (Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев”, Штип);
- **проф. д-р Тодор Серафимовски** – ментор и член (Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев”, Штип);
- **проф. д-р Матеј Доленец** – екстерен ментор и член (Наравнословнотехнички факултет, Универзитет во Љубљана, Словенија).

Комисијата во наведениот состав, по прегледување на докторската дисертација, го поднесува следниов

ИЗВЕШТАЈ

Структура на трудот

Докторската дисертација е презентирана на 304 страници и ги содржи следните делови: Вовед; Преглед на литературата; Цел на истражувањето; Методи на истражувачката работа; Главни металогенетски единици во Република Северна Македонија и Кенозојска металогенија на нејзиниот источен дел; Регионална геотектонска поставеност на рудниот реон Бучим-Дамјан-Боров Дол во рамките на Балканскиот геодинамички модел; Морфоструктурни карактеристики и размери на рудниот реон Бучим-Дамјан-Боров Дол, Геолошка градба и терциерен магматизам во рудниот реон Бучим-Дамјан-Боров Дол; Интегрално моделирање на бакарното-порфирско наоѓалиште Боров Дол; Генеза на бакарното-порфирско наоѓалиште Боров Дол; 3Д моделирање на бакарното порфирско наоѓалиште Боров Дол; Заклучок и Користена литература. Докторскиот труд содржи 135 графички прилози (слики) и 25 табели. Користената литература брои 69 библиографски единици.

Предмет и цели на истражувањето

Истражувањето во овој докторски труд за свој предмет и цели има научно засновани, ефикасни и детални проучувања на карактеристиките на геолошките средини во кои е сместено бакарното порфирско наоѓалиште Боров Дол, да се воочат и поблиску да се дефинираат регионалните контролни фактори и просторната разместеност на рудната минерализација од аспект на магматогениот критериум (генетска и парагенетска поврзаност на терциерниот магматизам и рудната минерализација), структурниот и литолошкиот критериум. Согледувањето на процесите кои доведуваат до одлагање на бакарната порфирска минерализација во наоѓалиштето Боров Дол и објаснувањето на основните карактеристики на хидротермалните рудоносни раствори е истражувано и потврдено преку одредбата на потеклото на матичната магмата, потеклото на рудните метали, потеклото на водата од која се образувани хидротермалните рудоносни раствори,

одредбата на механизмите на мобилизација на рудните метали од примарните извори, должината и условите на транспортирање на рудните компоненти, квантификација на минералните фази настанати од рудоносните флуиди, одредба на стабилноста на издвојувањето на минералните асоцијации и битните карактеристики на склопот (структури и текстури). Исто така, посебно внимание било посветено на одредбата на вертикалниот и хоризонталниот распон на рудната минерализација, вертикалната и латералната зоналност на минералните асоцијации и контролни фактори на таа зоналност, а секако и појави кои го следат создавањето на наоѓалиштето (хидротермалните алтерации, дискolorацијата и сл.). Секако, со една ваква докторска дисертација се отвораат низа нови прашања кои и понатаму остануваат отворени, што бара да се продолжи со истражувачката работа на ова наоѓалиште.

Методологија на истражување

Методите на истражување во оваа докторска дисертација се засноваат на докази преку добиени, теренски, лабораториски и кабинетски информации. Овие податоци се расчленети, со цел да се потврди или отфрли поставената хипотеза. Методолошкиот пристап при обработката на земените материјали со теренските истражувања коинцидира со однапред дефинираната технологија по која се вршени истражувањето и проучувањето на земените материјали. Како што веќе посочивме во делот на опробувањето применетата аналитика е во непосредна зависност од потребите за неопходните информации за кои се врши комплетната постапка на истражување и проучување. За добивањето на информациите за потеклото на магмите се користени геохронолошки методи од редот на $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и Sr/Nd со кои се добиени податоци за потеклото на магмите, а K/Ar и Ar/Ar методите биле користени за добивање на податоци за староста на карпите и оруднувањето. ICP-AES и ICP-MS се геохемиските методи со кои биле одредени ретките елементи и елементите на ретките земји (REE). Поларизационите студиски микроскопи од типот Leica со сопствена дигитална камера и софтверска поддршка, како и студискиот скенинг електронски микроскоп (тескан) биле користени за дефинирање на минералната асоцијација во наоѓалиштето. Рендгено-структурните испитувања биле користени за дефинирање на типовите на алтерации, додека проучувањето на гасно-течните инклузии било извршено на апаратура LINKAM THMS 600 која овозможува податоци за хомогенизација и декрепитација, вклучувајќи го и составот на рудоносните флуиди. Испитувањето и проучувањето на стабилните изотопи е вршено на современи масени спектрометри PE SCIEX Elan 6100 DRC ICP-MS. 3D моделирањето на оруднувањето во наоѓалиштето Боров Дол ќе се врши со специјализирани софтверски програми од типот на Target 3D, развиен за Target за ArcGIS системот. Во целокупниот период на изработка на докторскиот труд била користена најновата академска литература, при што прегледот на литературата во овој труд се заснова на последните академски истражувања во оваа област.

Анализа на одделните делови од докторската дисертација

Докторската дисертација под наслов „Повеќефазно моделирање на оруднувањето во Боровдолскиот бакарен порфирски систем” од кандидатот м-р Лазар Ѓорѓиев е конципирана на научна основа и како што рековме е содржана во 11 основни поглавја и уште голем број на континуирано градациски подредени потпоглавја кои се во функција на појаснување на добиените резултати и нивната научна оправданост. Првиот дел од докторската дисертација се однесува на просторното и временско дефинирање на положбата на наоѓалиштето Боров Дол во рамките на покрупните геотектонски и металогенетски единици во рамките на регионалниот истражуван геолошки склоп. Врз основа на добиените научни сознанија од спроведените истражувања на просторот на наоѓалиштето Боров Дол е потврдена неговата припадност во контактните делови на Српско-македонскиот масив и Вардарската зона, односно неговата металогенетска припадност на зоната Леце-Халкидики која е во рамките на крупната Српско-македонска металогенетска провинција. Од основните геолошки фактори кои влијаат на просторниот распоред на порфирската бакарна минерализација во наоѓалиштето Боров Дол кандидатот

ги дефинирал поставките на морфоструктурната анализа, потоа литофацијалните фактори и секако магматскиот фактор кој го вклучува развојот на Терциерниот магматизам на просторот на рудниот реон Бучим-Дамјан-Боров Дол со кого парагенетски се поврзани порфирските минерализации на бакар во наоѓалиштето Боров Дол. Палеогените туфни седименти само ја дополнуваат геолошката градба на теренот и ја чинат спецификата на екран за рудоносните раствори, кои на просторот на наоѓалиштето Боров Дол одиграле и важна улога за просторното разместување на рудната минерализација.

Покрај регионалните и локални геолошки структурно-металогенетски фактори кои придонеле за дефинирање на просторниот распоред на минерализацијата на локалноста Боров Дол, посебен придонес при истражувањата на кандидатот чинат неколку базни столбови кои научно ја исфундирале оваа докторска дисертација. Геохемиското моделирање го чинат еден од првите столбови кои ја даваат дистрибуцијата на главните и придружни метали латерално и вертикално во просторот каде што се сместени порфирските бакарни орудувања. Користењето на современиот софтвер Surfer на компанијата Golden Software овозможи моделирање на податоците и дефинирање на модел на дистрибуција на бакарот и златото со можност за проценка на сегашната состојба и оцена на потенцијалноста на деловите кои досега не беа зафатени со базните истражувања и најновите истражувања на Боров Дол.

Проучувањето на типовите на алтерации со примена на најсовремените методи на истражување од редот на дифракциони податоци придонеле да се изврши моделирање на типовите на алтерации во наоѓалиштето Боров Дол и истите да се искомпарираат со слични истражени наоѓалишта во регионот и светот. Корелативните врски се со висок степен на импакт, а добиените модели за наоѓалиштето Боров Дол по првпат ја даваат сликата за експанзијата на рудоносните и придружни постмагматски раствори на еден поширок ореол на расејување околу оруднетиот простор.

Минералните асоцијации се дефинирани преку проучувања на новите достапни материјали, преку најновите дупчења, а испитувани со скенинг електронски микроскоп. Даден е придонес во дефинирањето на нови минерални фази. Изработен е модел на парагенетско групирање на главните и придружните минерали кои го сочинуваат орудувањето во наоѓалиштето Боров Дол, а одделните констатации и заклучоци дадоа и директен придонес во дефинирањето на генетскиот модел на наоѓалиштето.

Проучувањето на стабилните изотопи, гасно-течните инклузии, елементите на ретки земји, во комбинација со изотопите на стронциумот и геохронолошките податоци за основните стенски комплекси претставуваат подлога за изработка на генетскиот модел, за што беа користени и соодветни нови технологии на испитувања на истражувања, испитувања, анализа и пресметка со интерпретација на добиените податоци. Проучувањето на различните типови на детерминирани инклузии особено дефинирање на високотемпературните инклузии во кои се измерени температури преку 500°C и висок салинитет дадоа информација дека рудоносните раствори во комбинација со искалкулираните притисоци водат потекло од длабина нешто поголема од 2 km со висок степен на растворливи компоненти во себе и еволуција низ средини кои го збогатиле системот со CO₂ и овозможиле дополнителна миграција на главните и придружните компоненти до местото на нивното депонирање, каде што и денес ги наоѓаме. Дефинираниот генетски модел претставува исклучителен придонес во науката базирана на веродостојни примероци земени од различни нивоа во наоѓалиштето Боров Дол, а испитувани со најсовремени методи во лабораториите во земјата и во аналитичките центри во Канада, Норвешка, САД, Велика Британија и др.

Финален дел на спроведените истражувања претставуваат 3D моделирањата на податоците од сите досегашни истражувања во порфирското бакарно наоѓалиште Боров Дол, каде што беа применети современи софтверски пакети од редот на Move 3D софтверот на компанијата Midland Valley, како и софтверскиот пакет Vulcan на компанијата Maptek, кои овозможиле 3D димензионален преглед на орудувањата во наоѓалиштето Боров Дол со посебно ставен акцент на дистрибуцијата на бакарот и на златото во третиралиот минерализиран простор. Ова се недвосмислено први вакви податоци за наоѓалиштето Боров Дол кои неспорно отвораат и нови видувања и нови сознанија за евентуални

понатамошни истражувања на овој потенцијален простор како вертикала така и по латерала.

Заклучни согледувања и препораки

Врз основа на теренските истражувања, прегледот на најновата литература од областа, користените аналитички, односно инструментални методи кои се користат во геологијата од кандидатот при истражувањата предмет на оваа докторска дисертација насловена „Повеќефазно моделирање на орудувањето во Боровдолскиот бакарен порфирски систем” може да индицираат повеќе заклучоци. Имено, потврдено е дека порфирската минерализација на бакар во рудното наоѓалиште Боров Дол е просторно и генетски поврзана со терциерни вулкански интрузиви кои во временската рамка од 27.0 до 24.0 Ма се пробиле на површината. Потоа, своја потврда добил и фактот дека орудувањето во Боров Дол е во вид на прстен околу ситнозрниот амфиболско-биотитски стерилен андезит, а орудувањето просторно е сместено во крупнозрнестите сиво-бели андезити. Комплексните минералошките испитувања потврдиле дека како главен рудоносен минерал се јавува халкопиритот, по кој следуваат серии на сулфиди и сулфосоли. Испитувањата на стабилните изотопи на сулфур ($\delta^{34}\text{S}$ од $-7,52$ до $+0,72\%$ со просечна вредност од $-2,24\%$) потврдиле дека рудната минерализација претежно има ендегено потекло. Одредбата на потеклото на рудните метали и нивната еволуција во хидротермалните системи од магмата до местото на орудување било овозможено со резултатите од анализите на стабилните изотопи на јаглерод ($\delta^{13}\text{C}$ во опсег од $+16,82$ до $+21,72\%$) и на кислород ($\delta^{18}\text{O}$ во доменот од $-6,31$ до $+0,04\%$), а што е протолкувано како показател на магматските хидротермални флуиди со изразено влијание на метеорската вода. Температурите на орудување на главните минерални парагенези биле утврдени со анализа на флуидните инклузии и истите се во опсег од 500 до 600°C (оксидна минерализација Fe-Ti), $400-490^\circ\text{C}$ (преципитација на пирит и халкопирит), потоа $360-320^\circ\text{C}$ и пониски од овие (за доцните минерални асоцијации на бизмутинит, енаргит, пецит и на други минерали). Флуидните инклузии, исто така, дале информација за карактерот на транспортот на рудните компоненти кој најверојатно се одвивал преку водните флуиди во вид на хлоридни комплекси и многу ретко преку сулфатите и карбонатите. Еволуцијата на терциерниот магматизам и потеклото на магмата се дефинирани со резултатите добиени при анализата на изотопните соодноси на $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ($0,706584-0,706811$) и изотопните соодноси на $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ($0,512480-0,512497$) кои го потврдуваат мешањето на магмата, односно контаминацијата на континенталната кора, односно помешување на астеносферските растопи со метасоматизирана магма, што ја отвора можноста за постоење на субдукционен лаковит магматизам. На крајот од овој дел сакаме да потенцираме дека во овој труд е направена и проценка на порфирските минерализации на бакар во наоѓалиштето Боров Дол преку тродимензионално моделирање на геологијата, деформираните структури и геохемиската распределба на елементите од интерес со помош на софтверските пакети од редот на Target 3D, развиена за Target за ArcGIS системот, за да се добие еден подобар увид на рудно-генетските процеси и истражувачкиот потенцијал.

Научен придонес на истражувањето

Моделирањето на наоѓалиштата на минерални суровини претставува тренд во денешни услови како на светско така и на домашно ниво. Трендот на мултифазно моделирање на рудоносните процеси е значаен уште во фазата на најраните проспекциски истражувања, бидејќи за да се спроведат успешни геолошки истражувања во делот на наоѓалиштата на минералните суровини неопходно е дефинирање на генетскиот тип на орудувањето од што најнепосредно зависат и новите методологии и технологии за бараната минерална суровина. Геолошките модели на тектониката на теренот, моделите на алтерациите на карпите, моделот на геохемиските и геофизичките проучувања се во директна функција на моделирање на морфолошкиот тип на орудување, на моделирањето на рудоносните процеси, ја скратува вертикалната рамка на дефинирање на просторниот распоред на рудната минерализација. 3D моделирањата се тренд во денешното осознавање на просторното генетско и временско разместување на орудувањето во времето и

просторот. Повеќетафазното моделирање кое ги вклопува во себе геохемиските модели, геофизичките модели, моделите на хидротермалните алтерации, генетскиот модел и 3D моделот за целокупното наоѓалиште Боров Дол се вредностите на оваа дисертација која на научната фела ѝ нуди еден сосема нов пристап во истражувањето и проучувањето на наоѓалиштата од ваков тип.

Исполнетост на законските услови за одбрана на докторската дисертација

Кандидатот м-р Лазар Ѓорѓиев ги има објавено следниве научноистражувачки трудови:

- Gjorgjiev, L., Serafimovski, T., Jovanov, K., (2020): 3D modeling of the Borov Dol porphyry copper deposit, Republic North Macedonia. *Geologica Macedonica*, Vol. 34, No. 1, pp. 69–84.
- Gjorgjiev, L., Rogan-Šmuc, N., Serafimovski, D., Dolenc, M. (2019): Contribution to the widening and confirmation of the mineral association in the Borov Dol ore deposit, based on SEM analysis. *Geologica Macedonica*, Vol. 33, No. 2, pp. 99–109.
- Serafimovski, T., Tasev, G., Strmić Palinkaš, S., Palinkaš, A. L., and Gjorgjiev, L., (2016): Porphyry Cu mineralization related to the small Tertiary volcanic intrusions in the Bučim ore deposit, Eastern Macedonia for ore-forming processes. *Geologia Croatica*, Vol 69/1, pp. 89-101.
- Gjorgjiev, L., Serafimovski, T., Filev, K., Tasev, G., (2016): Overview of the natural parameters from the geological-economical evaluation of the Borov Dol ore deposit, Republic of Macedonia. Third Congress of Geologists of Republic of Macedonia 2016, Struga. Special editions of *Geologica Macedonica*, No. 4, pp. 621-628.
- Serafimovski, T., Christidis, C., Serafimovski, D., Tasev, G., Ligovski, M., Ivanovski, I., Gjorgjiev, L., (2016): 3D modeling of some copper deposits in the Republic of Macedonia. Third Congress of Geologists of Republic of Macedonia 2016, Struga. Special editions of *Geologica Macedonica*, No. 4, pp. 605-612.
- Filev, K., Serafimovski, T., Gjorgjiev L., Tasev, G., Mitev, M., Stojanov, M., (2016): The Vrshnik ore body a positive example for exploration, exploitation and filling in the Buchim copper mine, eastern Macedonia. Third Congress of Geologists of Republic of Macedonia 2016, Struga. Special editions of *Geologica Macedonica*, No. 4, pp. 613-618.

Апликативен придонес

Спроведените теренски, лабораториски и кабинетски истражувања придонесоа преку предметната докторска дисертација да се дефинираат многу значајни прашања поврзани со создавањето и просторното разместување на бакарните оруднувања на просторот каде е локализирано наоѓалиштето Боров Дол. Воедно добиените нови сознанија за геохемиските, геофизичките, минералошките, хидротермалните алтерации, генетските модели и 3D моделирањата отворија нови видови како за оруднувањата така и за иднината за насочување на новите доистражувања на овој простор, а добиените графички модели можат да послужат и како терк при истражување на вакви слични простори со евентуална потенцијалност на порфирска бакарна минерализација.

Начин на пишување и изнесување на материјата

Тука сакаме да потенцираме дека пишување на докторски труд е процес кој е стандардизиран со основните постулати на создавање на научно дело. За чин на пишување на докторскиот труд кандидатот се подготвува за време на целокупните студии во кои се вклучени и соодветни дисциплини за обука во таа насока и совладување на стручната и научната методологија. Текстот на предметната докторска дисертација технички коректно е обликуван. Дисертацијата е напишана во согласност со образложението наведено во пријавата на темата, а секако е во согласност и со насоките дадени во работното упатство за изработка на трудови (проектни задачи, дипломски, специјалистички, магистерски и докторски) од студентите на Универзитетот „Гоце Делчев“ во Штип (ОМДС.РУ. 01, Вер. 2). Кандидатот пишувањето на докторскиот труд го извел фазно и континуирано, при што

акцептирал неколку значајни поглавја кои влегуваат во структурата на трудот, а непосредно се зависни од текот на аналитичките истражувања и добивањето на оперативните податоци. Кандидатот уште при поставувањето на целите и методолошкиот пристап за изработка на оваа дисертација покажал не само желба за реализација на едно успешно научно дело од доменот на наоѓалиштата на минерални сировини, туку и постави високи норми со реализација на сите истражувања во рамките на докторската дисертација. Редовно биле следени научните фази во текот на истражувањата чии патокази биле теренските истражувања, лабораториските испитувања и кабинетските обработки на податоците при што се користени современите софтверски пакети применети при повеќефазните моделирања на наоѓалиштето Боров Дол. Како последица на таа етапност денес имаме докторска дисертација која на најсовремен начин ги има дефинирани поставените цели и наоѓалиштето Боров Дол, го воздигна во редот на светски дефинираните рудни наоѓалишта со прикажаните најнови повеќефазни модели. Како што веќе и на неколку наврати напоменавме кога се образложуваа и главните постигнувања на дисертацијата и овде уште еден пат ќе акцентираме дека дисертацијата продуцираше многу нови информации кои до денешен ден беа непознати за наоѓалиштето или пак добар дел на постарите податоци комбинирани со поновите истражувања продуцираа еден сосем нов приказ кој наоѓалиштето Боров Дол го издигна на едно повисоко ниво, гледано од научен аспект.

Конзистентност на деловите во рамките на целината

Дисертацијата во форма и обем како што е завршена ги содржи сите формални, практични, законски и научни елементи кои со право ја вбројуваат во новонастанато научно дело. Таа ги содржи сите атрибути на еден современ научен труд кој е продукт на фазни обработки на податоците почнувајќи од историскиот бекграунд, преку реализација на теренските истражувања, испитувањата во современите лабораториски центри, интерпретацијата со примена на современите софтверски пакети, до компилација и креација на податоците кои овозможува повеќефазно моделирање на наоѓалиштето Боров Дол. Притоа се користени и библиографските податоци согласно со практикувањето и нивното значење во прегледот и компилирањето на сите досегашни и најнови податоци за наоѓалиштето Боров Дол.

ЗАКЛУЧОК И ПРЕДЛОГ

Комисијата за оценка и одбрана на докторската дисертација со наслов „Повеќефазно моделирање на орудувањето во Боровдолскиот бакарен порфирски систем“, изработена од кандидатот м-р Лазар Ѓорѓиев, донесе заклучок дека истата претставува оригинално научно истражување, со значајни резултати и препораки. Презентируваниот материјал во докторската дисертација и спроведените научни и практични истражувања, анализи и дискусии, врз кои се темелат заклучните согледувања и препораки од кандидатот, претставуваат значаен придонес во научната литература која ја третира истражуваната проблематика, односно лежиштата на минерални сировини од овој тип.

Врз основа на горенаведеното, Комисијата има чест да му предложи на **Наставно-научниот совет на докторски студии на Кампус 2** да ја прифати позитивната рецензија на докторската дисертација со наслов „Повеќефазно моделирање на орудувањето во Боровдолскиот бакарен порфирски систем“, изработена од кандидатот м-р Лазар Ѓорѓиев и да одобри јавна одбрана на истата.

РЕЦЕНЗЕНТСКА КОМИСИЈА

Проф. д-р Орце Спасовски – претседател, с.р.

Проф. д-р Виолета Стефанова – член, с.р.

Проф. д-р Горан Тасев – член, с.р.

Проф. д-р Тодор Серафимовски – ментор и член, с.р.

Проф. д-р Матеј Доленец – екстерен ментор и член, с.р.