

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	59	1	53-76	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
--	----	---	-------	---

УДК 551.24.031:553.06(497.11-11)

Оригинални научни рад

ПАЛЕОТЕКТОНСКО-МАГМАТСКИ ПРОЦЕСИ КАО ПРЕДУСЛОВИ МИНЕРАЛИЗАЦИЈЕ У КАРПАТО-БАЛКАНИДИМА ИСТОЧНЕ СРБИЈЕ

од

Предрага Николића* и Слободана Ђорђевића**

Међусобна условљеност и повезаност тектонских и магматских процеса у Карпато-балканидима источне Србије дала је бројне минерализације, као и значајна лежишта металних орудњења. Иако су тектоно-магматски процеси у овом делу Србије започели још у прекамбријуму и кроз више оделитих фаза трајали до савременог стања у развоју литосфере, највећи значај има алпски тектоно-магматски циклус. У овом циклусу су настала бројна лежишта бакроносних, олово-цинканих и других минерализација од економског значаја.

Кључне речи: тектонски циклуси, магматизам и минерализације, типови лежишта, хидротермални процеси, металне минерализације.

Геосинклинални простор Карпато-балканида источне Србије, чији је развој започео у прекамбријуму, одвијао се врло интензивно: разноврсна седиментација, чести прекиди и обнављања, промене у палеогеографском и батиметријском смислу и друга збивања, праћена су честим и по јачини различитим тектонским процесима и магматским активностима у чијој су функцији и појаве бројне минерализације и данас позната лежишта металних орудњења. Поред разноврсних литофацијалних продуката насталих у условима сталне изменљивости услова и режима седиментације, паралелно или удружено са њима настајали су бројни и дебели вулканогено-седиментни комплекси, или, пак јасно диференцирани вулкански продукти, а често и мањи и већи интрузиви, као најчешћи носиоци металних минерализација. Магматске интрузије и ефузије су довеле до појаве магматских тела скоро свих типова магми – од крајње киселих, до крајње базичних представника. Магматизам се одвијао у субморским, сублакустријским, или континентал-

* Институт за регионалну геологију и палеонтологију Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду, Каменичка 6, Београд.

** Технички факултет у Бору, Бор.

ним срединама, али увек као увод у тектонска збивања, или као пратилац истих, уз честа закаснела збивања на крају тектонских процеса. У источној Србији значајна пространства захватају магматске формације разних типова, које су извршиле метаморфне промене седимента, па и магматских стена старијих консолидација, тако да су ефекти магматске активности у овом делу Земље чешћи него у другим деловима европског континента.

ПОВЕЗАНОСТ И МЕЋУСОБИА УСЛОВЉЕНОСТ ТЕКТОНИКЕ, МАГМАТИЗМА И МИНЕРАЛИЗАЦИЈЕ КРОЗ ВРЕМЕ И ПРОСТОР

Проучавања тектонских и магматских процеса, а с тим у вези и минерализације на теренима источне Србије педвосмислено указују на међусобну повезаност и условљеност, где по правилу најпре долази до тектонских покрета и измена стања у кори, а затим, до продора магме, која непосредно или посредно врши минерализацију у стенама с којима је у контакту или кроз које се пробија. Према томе, сва три поменута процеса у литосфери чине јединство активности који се из мантила преносе на кору и у њој доводе до значајних измена стања.

Формирање ендегених лежишта минералних сировина такође је условљено врстом и интензитетом тектонске и магматске активности. Може се сматрати да тектонски режим претходи појавама магматизма и оруђења, јер у првом реду омогућава продирање магматских растопа и рудоносних раствора ка Земљиној површини дуж разломних деформација различитог типа. Размештај лежишта минералних сировина ендегеног порекла подчињава се, пре свега, тектонској и магматској контроли, која се манифестује на различите начине, а у зависности од генезе лежишта. То указује на повезаност тектоники, магматизма и оруђења у најширим оквирима, узимајући у обзир и фактор времена.

Пример узајамних односа и повезаности тектоники, магматизма и оруђења бакра хидротермалног порекла постоји у тимочкој магматској области Карпато-балканада источне Србије. Постојање хидротермалних бакроносних лежишта у овој области могуће је при најповољнијој комбинацији низа фактора који имају удела при просторној локализацији оруђења. Овде, пре свега, долази до изражаја утицај тектонских (структурних) и магматских фактора, при чему први отварају путеве за продор магматских растопа и изливање лавичног и пирокластичног материјала. Рудоносни хидротермални раствори генетски су у вези са диференцијацијом граптоидне магме и њеном консолидацијом у виду плутонита и дајкова за време ларамидске и пиринејске фазе алпске орогенезе. Кретање хидротермалних раствора ка површини доводи до постанка зоне хидротермално измењених вулканита и вулканокластита и до депоновања рудних минерала, тј. формирања лежишта бакра масивно-сулфидног и птокверкпо-импрегнационог типа.

Изражена дуготрајност деловања тектонских покрета у тимочкој магматској области упућује на закључак да они представљају основни узрок појаве магматизма и минерализације. Код односа између тектоники и магматизма запажа се директна повезаност са разломним поремећајима, јер се дуж

њих врше како изливања, тако и утискивања магматског материјала. Слични односи повезаности постоје између орудњења и мањих раседа или раседних зона, које омогућавају кретање рудоносних хидротермалних раствора и депоновање рудних минерала. Веза орудњења и магматизма посредно се манифестује преко постојања хидротермално измењених зона вулканита и вулканокластита у којима су смештена бакроносна лежишта и рудна тела.

Тектонски процеси су своје активности испољавали у одређеним временским интервалима, који су се смењивали са интервалима слабих покрета или фазама релативног мировања. У развоју литосфере издвајају се четири крупне орогенезе (тектонска циклуса), чија је активност имала регионално–планетарни карактер. Интензитет процеса, ширина захвата и степен деформација ранијих структура у литосфери пису истоветни код свих циклуса. Ипак, сматра се да је најмлађи тектонски циклус, познат као алпска орогенеза, најинтензивнији, широко распрострањен и са највећим степеном деформација у раније насталим структурама, чије деловање доводи до крупних промена у распореду копна и мора, као и у прекрајању старих и стварању нових структура у Земљиној кори. Ове копстатације су добрим делом релевантне, између осталог и због чињенице да су ефекти старих тектонских орогенеза деформисани и преструктурирани, али и због чињенице да су последице таквих деловања најчешће маскиране млађим покривачем и млађим структурама. С те стране најнеизвеснија је тектонска активност најстарије тектонске орогенезе, познате као бајкалска орогенеза. Како ова орогенеза пада у препалеозојско време, чији се продукти седиментације или не виде, или су само делимично присутни на површини Земље, а при томе најчешће трансформисани у метаморфне стене (шкриљце) у којима је материја крајње измењена, а фосилни свет (ако га је и било) потпуно уништен, то је схватљиво да су проучавања најстаријих делова литосфере (састав и структуре) доста непоуздапа. Отуда и много проблема и разних објашњења одређених елемената развоја литосфере у препалеозојском добу, па и почетком самог палеозоица.

Прва и најстарија орогенеза заочела је, према мишљењу већине истраживача, негде почетком или средином протерозоица, а трајала је до краја прекамбријума са могућим наставком у старијем палеозоику, односно камбријуму. Њој се приписује улога стварања првих копнених маса у саставу литосфере, као и подстицај за снажна магматска кретања на ширем пространству новонасталих геосинклинала. Тиме су тектонска кретања довела до стварања првих структура у литосфери, промена стања и односа у њој, као и стварању разломних путева за магматску активност на ширем простору у тим структурама. Како су фазу седиментације пратила и одговарајућа тектонска кретања и појава подводних разлома, то је разумљиво да су се у дужем току времена заједно са седиментима депоновале значајне масе магматских продуката, у почетку претежно ефузивног карактера. Као последица таквих збивања јављају се наизменична таложења седиментног и вулканског материјала, односно бројне серије и формације вулканогепо–седиментног састава. Интрузивни продори магме, који су могли да се јаве у том раздобљу развоја литосфере, задржали су се и консолидовали у дубљим де-

ловима, или су, ако их је било ближе површини Земље, временом еродовани. Тектонски процеси који су и даље били активни, као и сам магматизам, уз услове деловања два најзначајнија фактора метаморфизма (регионални и динамички) захватили су вулканогено–седиментне формације и снажио их трансформисали у ширу лепезу шкриљастих стена, пре свега у гнајсеве и амфиболите. Кретање магме, диференцијација елемената у њој, као и њеп контакт са најстаријим стенама из протерозоика, уз појаву продора хидротермалних раствора из плутонитских и субвулканских жаришта, условили су минерализацију у стеновитој средини, чиме је остварено јединство деловања ендегених процеса.

Поменути недостаци и немогућност проучавања свих последица таквог јединства процеса у литосфери, разлог су што је тешко са више прецизности рашчланити све параметре таквог јединства и издвојити ефекте тектонских, магматских и минерализаторских деловања, као и њихове интензитете, време активности, ширину процеса и међусобицу условљеност и редослед догађаја.

Јединство поменутих процеса условило је издвајање заједничких циклуса: а) најстарији–бајкалски, б) старопалеозојски–камбријски, ц) младопалеозојски–херцински и д) најмлађи алпски тетконо–магматски циклус који почиње крајем јуре (по некима и пре тога) и траје све до краја терцијара.

Несигурност у реконструкцији збивања за време другог, старопалеозојског циклуса, везана је углавном за почетак палеозоика, тако да се понекад говори о континуитету процеса приетих из протерозоика у камбријум. Међутим, у реконструкцији процеса са удаљавањем од старијег палеозоика односи су све јаснији, а реконструкција последица сва три процеса које обухватају херцински, а посебно алпски циклус, све сигурнија и поузданија.

Интервали релативног мировања тектоно–магматских процеса који се јављају између поменутих циклуса, трајали су релативно дуго и без јасних трагова сва три динамичка процеса.

Изучавањем поменутих процеса у кори источне Србије бавили су се бројни истраживачи и дали своје доприносе реконструкцији дубинских процеса на овом простору. Добрим делом таква гледишта и тумачења уграђена су у овом приказу. Овде се посебно мисли на радове групе аутора, објављене у оквиру едиције "Геологија Србије" (Анђелковић, 1975; Анђелковић и Стевановић, 1975; Петковић, 1976; Стевановић, 1977; Алексић, 1977; Алексић и Каленић, 1981), као и монографског дела С. Јанковића посвећеног рудним лежиштима Србије (1990) и П. Николића у вези са геологијом и минералним сировинама тимочке зоне источне Србије (1993).

У даљем тексту изнети су основни подаци за реконструкцију јединства тектонских, магматских и процеса минерализације и оруђнења на простору источне Србије, са посебним акцентом на алпски тектоно–магматски циклус и минерализације у вези с њим.

ОСНОВНЕ ОДЛИКЕ ТЕКТОНО-МАГМАТСКИХ ЦИКЛУСА У КАРПАТО-БАЛКАНИДИМА ИСТОЧНЕ СРБИЈЕ

Продукти магматске активности груписани су у магматске формације и везани су за одређене временске периоде у развоју коре Карпато–балканида, односно за геотектонске јединице у овом делу источне Србије. У том погледу на теренима Србије издвајају се четири групе формација:

Формације бајкалског тектоно-магматског циклуса

Циклус је трајао од средњег рифеја до границе са палеозоиком. У оквиру овог циклуса значајније место припада: а) вулканогено–седиментној формацији, која обухвата разне покриљце удружене са дијабазима, кератофирима, спилитима и кварцкератофирима, развијене на простору Дунава (Осаница, Текија, Сип) – амфиболитско–гнајсни комплекси, као и гранитоиди који су трансформисани у гнајсеве.

Посебно се истиче присуство вулканогено–седиментне формације покриљаца и метадијабаза са кератофирима у пределу Старе планине, као и у саставу поречко–белоречке структуре у оквиру Балканида и Бељанице у хомолско–кучајском простору, у којима се налазе појаве гвожђевитих минерализација (магнетит, хематит). Овом циклусу, такође припадају и вулканогено–седиментне формације са сидеритском минерализацијом на простору северног Кучаја, затим, интрузије габро–плагиогранита, такође на Кучају и на простору Бељанице, односно габро–перидотитски комплекс у горњем току реке Брњице ЈЗ од Добре, као и гранити (гнајс–гранити) Благојевог камена, Бољетинске реке и Старе планине.

Минерализације у степима протерозоику или се ређе јављају, или су млађег датума. Самим тим појаве металних минерализација у овом делу Србије немају посебну економску вредност – најчешће представљају спорадичне појаве које се углавном везују за већа магматска тела.

У старим структурама, односно у/уз старе магматске формације јављају се разне металне минерализације разних генетских типова за које се не може са сигурношћу рећи да су из састава првог циклуса – неке су везане за протерозонк, друге за протерозонк–старији палеозонк, а неке можда и за млађе активности, тако да се условно везују за овај циклус. Међу овима су:

- магматска лежишта и минерализације диференцијалног типа, условљена базичном магмом;
- вулканогено–седиментне минерализације везане за базичне изливе вулканита и зелене покриљце на простору Бељанице (магнетито–хематитска минерализација), односно на простору Кучаја, где се јављају сидеритско–хематитске минерализације.

Остаје чињеница да се у саставу старих терена с краја протерозоику и почетком палеозоику срећу разноврсне металне минерализације бајкалског и каледонског циклуса, али без могућности јасног разграничења у свим локалитетима појављивања. Међутим, неспорно је да се у старим теренима источне Србије срећу и минерализације временски везане за млађе циклусе,

који се јављају као последица накнадног деловања у старим и деформисаним структурама. Ово се посебно односи на херцинску, а још више на минерализацију из алпског циклуса.

Формације каледонског тектоно-магматског циклуса

Време активности циклуса пада између средњег камбријума и краја силура, односно доњег девона. Претежно су изграђене од вулканогепо–седиментних формација дијабаз филитоидног састава, које су трансформисане у фацију зелених шкриљаца. Овом циклусу неки прикључују и следеће формације: а) дијабаз–кератофирску формацију Инова (Стара планина) и Рудне главе, б) габро–перидотитску формацију Дели Јована и Заглавка (Стара планина), ц) граптодиорит–гранитску формацију у пределу Старе планине (Равно Бучје) и Горњапа, односно на простору Хомоља (Нересница, Брњица). Магматизам овог циклуса, који се одвијао у морској средини, добрим делом са елементима претходног магматизма, завршио се у средњем девону, када следи фаза издизања простора источне Србије, као и престанак интензитета магматске активности, све до стишавања процеса, чије се време протеже до горњег девона. У таквим условима ако је и било магматских кретања, она су могла да се јаве у језерској средини или на копну, али без видног учешћа у грађи коре, а још мање и у појави минерализација.

Формације херцинског тектоно-магматског циклуса

Обухвата период развоја коре од горњег девона до краја млађег палеозоика. Претежно обухвата киселе и базичне плутоните, међу којима су посебно запажени старији комплекси габро–перидотитског састава на простору Дели Јована и Старе планине (Заглавак), а затим и интрузије гранита из млађе фазе херцинског циклуса и то на простору Брњице, Нереснице, Горњапа, Плавне, Старе планине, односно Јање, Радичевца, Равног Бучја и Сувог Дола. Овде су и минерализације магнетита Рудне главе, Црнајке, као и (?) урана код Калне.

Од поменутих творевина посебно пажњу привлаче габроидни масиви Дели Јована и Заглавка, који представљају плутоните иницијалног базичног магматизма, изграђене у основи од габрова и блиских базичних магматита. Њихова површина захвата 255 km². Ова плутонитска тела леже у разноврсним кристалистим шкриљцима и често су праћена мањим телима ултрабазичних стена (ултрамафитима), у чијем саставу преовлађују дунити и сродне творевине, које су интензивно преображене у серпентините. У овим стенама налазе се и појаве хромита.

У херцинском циклусу који се временски везује за млађи палеозоик, вулканизам је слабо испољен. Ако и има ефузија оне су локализоване на мање просторе и углавном за језерске басене, тако да се продукти вулканских збивања углавном манифестују преко туфозног магеријала који се спорадично среће у поменутих језерским срединама. Самим тим, херцински магматизам је плутонитског карактера, заступљен на ширем простору

источне Србије и у више геотектонских структура.

Посебну особеност у источној Србији представљају продукти вулканизма на крају палеозоику (пермски посттектонски вулканизам). То су изливни рполита, дацита, андезита, базалта и трахита мањих диманзиоја и просторно изоловани у долини Бољетинске и Поречке реке, на југозападном ободу Дели Јована и у деловима Старе плаине (Вршка чука, Причевац, Топли дол, Дојкиначка река). Наведени вулкански продукти припадају тзв. субсеквентном вулканизму херцинске орогенезе.

За херцински циклус везана је слаба минерализација, при чему су нешто значајније појаве минерализација у структурама овог раздобља, које су временски везане за алпски тектоно-магматски циклус, што је уосталом честа појава. Овде се, пре свега, мисли на минерализацију гвожђа, као и бакра, односно урана у пермским црвеним пешчарима. Овој групи металних појава у старим херцинским структурама припадају и појаве молибдена, злата, сребра и волфрама, чији су хидротермални процеси везани за алпски циклус.

Формације алпског тектоно-магматског циклуса

Продукти овог циклуса стварани су углавном од горње креде до краја терцијара. После закаснелог пермског вулканизма пирокластичног типа, следи период релативног мировања, како тектонских, тако и магматских активности. Мање тектоно-магматске активности у тријасу и јури (локална кретања у источној Србији) крајем јуре се активирају на простору Карпато-балканида, које прати вулканизам базичног састава ограниченог пространства. Те активности на прелазу из јуре у креду су краткотрајне и ограничене на мањи простор, да би се тек у горњој креди, када паступају снажна тектонска кретања, појавио и снажан магматизам, најпре испољен преко вулканских ерупција у морским срединама, а затим, и преко плутонизма и то мање при крају мастрихта, а знатно више у целогену за време пиринејске фазе.

Тектонски покрети с краја горње креде наставили су се и кроз терцијар, условљавајући појаву бројних раседа и разлома крупних размера, као и појаву хоризонталних кретања све до павлачења. У таквим условима јавља се на граници ова два раздобља снажан магматизам, који је праћен видним минерализацијама. У том погледу овај циклус се одликује најширим спектром минерализација, све до стварања многих лежишта метала, не само у границама тимочке магматске области која захвата простор две тектонске јединице (тимочка и добродолско-грлишка), већ и шире у Карпато-балканидима, па и у другим геотектонским јединицама.

У алпском тектоно-магматском циклусу значајно место имају појаве углавном неутралних магматита између Дунава и Мајданпека, затим у тимочној еруптивној области (између Мајданпека и Књажевца), као и између Бучја (код Књажевца) и југословенско-бугарске границе (област Димитровграда).

Широко распрострањење ових творевина устаноовљено је у тимочној еруптивној области, где максимална дебљина вулканогено-седиментних творевина износи преко 1500 m, у чијем саставу преовлађује вулканокла-

стични материјал над лавичним продуктима.

Према времену формирања издваја се:

1) **ценомански вулканизам** – вулкански агломерати и туфови, као и изливи хорнбленда–андезита, хорнбленда–дацита, пироксен–биотит–андезита – углавном у источном делу вулканске области (Мајданпек, Бучје код Бора, западна падина Тупижнице);

2) **туронско–сенопски вулканизам** или тзв. тимоцитска асоцијација (хорнбленда–андезити, хорнбленда–биотит–андезити, тимоцити и пирокластични продукти) у највећем делу области;

3) **горњомастрихтско–палеогени вулканизам** – углавном у западном делу области распрострањена је тзв. андезит–базалтска и латитска асоцијација – у чијем саставу су претежно пирокластичне творевине, мањи изливи дебљине 5–10 m пироксен–андезита, пироксен–хорнбленда андезита и албитских трахита. Латитска асоцијација вулканита утврђена је углавном у јужним деловима тимочке еруптивне области (простор Злот–Бољевац–Бучје), у околини Кијажевца и Димитровграда (Доње Невље).

После поменутих вулканских фаза из горње креде (постоји могућност њихове активности и у копираним условима почетком палеогена) следи фаза ларамидско–пиринејског плутонизма који се манифестује између Злота и Јасикова, између В. Кривеља и Влаола, у широј околини Мајданпека, јужно од Бољевца, као и код Димитровграда. Појављује се у виду апофиза и апијалних делова плутонита киселог састава. У тимочној еруптивној области највећи плутонити су Ваља стрж, Сусула и Добро Поље. Њихов састав чине кварциорити, диорити, гранодиорити, монцоити и сијенити, као и одговарајуће жичне стене.

У риданско–крепољинској зони источне Србије познати су горњокредно–палеогени и неогени магматити представљени дацитско–андезитским и базалтоидним стенама у пределу Голубачких и Хомољских планина, Бељанице, Кучаја, Озрена и Сврљишких планина, а јављају се у виду излива, жица и субвулканских тела неправилне форме.

Као посебну особеност треба нагласити појаву пирокластита и вулканита у горњој креди (ценоман, турон–сенон и горњи мастрихт) и неогену источне Србије (туфови и туфити у раковобарском, заплањском, сокобањском, тимочком и јелашничком басену), без видних минерализација.

Минерализације алпског циклуса

Алпски тектоно–магматски циклус има пресудан значај за минерализације и орудњења у разним структурама Карпато–балканида источне Србије. Главна фаза образовања разних типова минерализације пада у време од краја креде, све до краја палеогена. Средиште минерализације од економског значаја везано је за тимочку магматску област у средишњем делу Карпато–балканида, тј. у два суседних зонама: тимочној на западу и добродолско–грлишкој на истоку, чије је пространство од Дунава и Румуније на северу, до југоисточних граница Србије са Бугарском.

На простору источне Србије С. Јанковић (1990) издваја (од запада па

исток) четири зоне минерализације: 1) риданско–крепољинску металогенетску зону, у којој је постанак ендегених лежишта контролисан горњокредно–ларамијским магматским интрузијама, затим, 2) хомољско–бељаничку металогенетску зону са познатим вулканогено–седиментним лежиштима која су повезана са базичним комплексима и жично–хидротермалним минерализацијама, генетски везане са граптоидним комплексима, 3) борску металогенетску зону са бакроносним минерализацијама превасходно хидротермалног порекла и 4) поречко–староплаинску металогенетску зону са слабим минерализацијама разних типова.

Поред поменутих минерализованих зона, срећу се и минерализације у Родопској маси, у граничном делу са Карпато–балканидима.

Основне металогенетске карактеристике поменутих зона су:

1. **Гранични део Карпато–балканида и Родопске масе** – на више места јављају се мање минерализације, као, на пример, код Каоне, Манастирице, као и код Босиљграда, где су појаве везане за фазију вулканогено–седиментног базичног комплекса старог језгра Балканског полуострва. У овим граничним деловима двеју крупних геоструктура, такође у делу који припада старом језгру, честе су вулканогено–седиментне стене у којима се срећу појаве Cu –минерализације, са појавом злата и шелита (Рановац–Каона), као и мања масивна лежишта пирита са већим масама кварцита с којима су минерализације повезане. У средњем делу додирног простора двеју поменутих структура на простору Буковика и Ражиња, такође су запажене мање појаве Cu –минерализације у вулканогено–седиментним стенама.

2. **Риданско–крепољинска зона** – Од више ендегених појава нешто већи значај имају скарновске минерализације магнетита (Ридан), затим, полиметаличка лежишта и појаве (Решковица), метасоматска (вулканогено–хидротермална) лежишта, пре свега Pb-Zn , које прате минерализације злата и сребра (Кучајна), мања лежишта и појаве антимонита (Осаница) које су у генетској вези са дацит–андезитима, као и бакроносне минерализације у Решковици. Ридњу и на више места у пермским црвеним пешчарима. У пермским црвеним пешчарима присутне су и ураноносне минерализације.

Све поменуте минерализације алпског циклуса у овој зони углавном се јављају као сиромашна лежишта у којима се у прошлости повремено одвијала експлоатација металичних минерализација, пре свега, олова и цинка.

3. **Хомољско–бељаничка зона** – У северном делу зоне, на простору од Дунава до Бељанице, у старопалеозојским вулканогено–седиментним комплексима базичног састава, срећу се бројне металичне минерализације међу којима је најпознатији рудоносни простор Благојевог камена у коме су у последње време обновљена истраживања злата и сребра у лежиштима Света Барбара и Грабовска река. Поред злата и сребра овде се среће и шелитска минерализација. Има мишљења да су неке минерализације на овом простору и преалпске

4. **Тимочка металогенетска зона.** Основне карактеристике укупне минерализације у овој зони, посебно бакроносних, огледају се у следећем:

Главна фаза минерализације везана је за почетак палеогена. Хидротермални раствори кретали су се дуж бројних раседних структура и у већ консо-

лидованим вулкапокластитима извршили низ промена, с којима се повезују и бакроносне минерализације у преко 50 измењених зона, посебно размештених између Мајданпека, Бора и Доброг Поља.

Најзначајније минерализације у тимочкој металогеијетској зони срећу се у тимочкој зони (у источном) и добродолско–грлишкој зони – у западном делу тимочке магматске области. Концентрације минералих парагенеза у тимочкој зони углавном се јављају у пределу Бора, затим, у ширем делу Мајданпека, на простору између Бора и Мајданпека, као и у ширем простору Црног врха. У добродолско–грлишкој зони орудњења су углавном везана за плутонитско–интрузивна тела Тодоровог потока, где се налази лежиште Велики Кривељ.

У поменутих зонама орудњења срећу се разни типови минерализације, међу којима су најзначајније:

а) **борска зона** непосредно условљена и повезана са борском дислокацијом у којој преовлађује

– **масивно-сулфидни тип** минерализације коме припада више лежишта и рудних тела, међу којима су "Чока дулкан", рудна тела "Тилва мика" (А, Б, Ц, Д, 1), затим, рудна тела И, Ј, Х, Л, Б (Ново окло), као и рудна тела "Шистек" и "Крпе". Главни минерали су ковелин, халкозин, енаргит, бориит и халкопирит;

– **штокверкно-импрегнациони тип** коме припадају рудна тела Тилва рош, Камењар, Брезаник, тело Ф и тело Ц, са главним минералима – ковелин, енаргит, халкозин, ређе и халкопирит, лузонит и тетраедрити; и

– **порфирски тип** – везан за дубље делове Борске реке и Борског потока са појавама пирита, халкопирита, бориита, молибденита и магнетита.

б) **мајданпечка зона** која се везује за мајданпечко–малокривељску дислокацију, обухвата више типова минерализације:

– **порфирски тип минерализације** – као главни тип орудњења на простору Мајданпека, углавном се манифестује као штокверкно–импрегнациони вид, при чему је у средишту зоне присутан штокверк, а по ободима зоне импрегнације. У самој зони минерализације издвајају се два рудопосна нивоа: у горњем (оксидационом) нивоу доминирају лимонит и малахит, а у доњем (цементационом) нивоу – халкозин и ковелин. Парагенеза мајданпечког лежишта обухвата халкопирит, пирит, молибденит и магнетит као главне минерале, са слабијим учешћем пирхотиита, борнита и, поред осталих, злата;

– **масивно-сулфидни тип** – са пиритом као главним минералом кога прате халкопирит, пирхотин, бориит, магнетит, хематит, сфалерит и, поред других, самородно злато. Пиритна тела садрже минерале бакра, злато и сребро;

– **скарновски тип** – присутан у ободним деловима рудоносне зоне на контакту магмата и мезозојских карбоната, где се магнетит јавља као главни минерал, уз појаву пратећих бакроносних и других минерализација;

– **оловно-цинкани тип** – најчешће прати порфирски тип Cu–Mo минерализације са појавом галенита и сфалерита као главних минерала.

Поменути типови минерализације срећу се како у самом Мајданпеку, тако и северно као и јужно, све до Чока Марина и Церове на југу.

ц) **Малокривељско-церовачка зона** – у простору северно од Бора, а јужно од крајњих делова мајданпечке зоне, налази се више минерализованих зона (Чока чурули, Киријидијски поток, Краку бугареску, Мали Кривељ) у којима су регистровани **жични тип** минерализације са пиритом и халкозином као главним минералима, затим, **масивно-пиритски тип** са пиритом и енаргитом као главним минералима, као и **цементациони тип**, као секундарни вид минерализације (оксидација и цементација), уз мање присуство **скарновске и штокверкно-импрегнационе минерализације**.

д) **Црновршке минерализације** – најбројније минерализације у тимочкој зони, углавном су у вези са активностима великог плутонитског тела Ваља стрж. У овом делу зоне минерализације су углавном порфирског типа, са мањим појавама скарновске минерализације уз обод тимочке зоне према карбопатима хомољског мезозоика. Све се оне могу груписати у три повезане минерализоване зоне–целине:

– **минерализације дуж златског раседа** (граница тимочке зоне са западним ободом) где преовлађује скарновски тип. Главни минерали су, поред бакра, магнетит, галенит и сфалерит. У овој зони налази се 7 лежишта Pb–Zn–Cu минерализације.

– **Минерализације у/уз плутонит Ваља стрж** – полиметаличне минерализације хидротермалног типа где доминирају Pb–Zn–Cu минерали са појавом злата и сребра непосредно су повезане са овим плутонитима.

– **Минерализације у вулканогено-седиментној средини дуж црновршко–савиначке дислокације** – зона са највећим бројем металичних лежишта (15), која се јављају од Јасикова и Думитру потока на северу, до Тилва њагре и Злота на југу. У овој зони доминирају бакроносни минерали, затим, хематит, магнетит, молибденит, сфалерит, галенит и други металични минерали, тако да се у целини може издвојити као полиметалични тип Cu, Pb–Zn минерализације.

е) **Минерализације јужно од Црног Тимока** – Мање значајне појаве у Савишцу, Марковом камену и око Доброг Поља и Бачевице, настале су у вези са хидротермалним процесима, где се бакроносни минерали јављају у незнатним садржајима.

ф) **Велиокривељска минерализација** – ова зона минерализације налази се источно од поменутих зона, а својим положајем је везана за добродолско–грлишку структурно–фацијалну зону. Главни вид минерализације је порфирски тип, чије су хидротерме везане за плутонитско–интрузивна тела, која су у периферним деловима условила и појаву скарновског типа минерализације. Присутне су и зоне оксидације (у вишим) и зоне цементације у нижим деловима лежишта. Главна је Cu–минерализација коју прати Pb–Zn минерализација, а од минерала најчешће се срећу магнетит, рутил, пирхотин, халкопирит, пирит, хематит, молибденит, борнит, ковелин, халкозин, азурит, енаргит и др., који су настали у три оделите фазе парагенеза.

Сводећи изнете податке на уопштене констатације о минерализацијама у тимочкој области, може се закључити да су:

– **порфирска лежишта:** Мајданпек, Церово, Велики Кривељ, Мали Кри-

вељ, Борска река и Ваља стрж на Црном врху;

– **масивно–сулфидна лежишта** са Pb–Zn минерализацијама: Бор и Чока Мариј;

– **скарновска лежишта** – Ваља сака; и

– **вулканска лежишта** Си са златом: Бор, Мајдапек и Велики Кривељ.

5. **Поречко-белоречка зона** Балканикума обухвата више полиметаличних минерализација од Мироча, преко Дели Јована, све до Старе планине на југу. Мање Fe минерализације углавном су везане за старије циклусе, као продукти диференцијације у плутонитским телима, или, пак, као скарновски продукти. Нешто више минерализованих појава је из састава алпског (можда и преалпског) циклуса, али ни оне пишу од већег значаја. Ове појаве су углавном хидротермалног порекла, а већи део њих је у вези са појавама златоносних кварцних жица око Дели Јована (Црнајка, Глоговица) и Старе планине. Овде се срећу и ураноносне минерализације у Калии, које се јављају уз граиит Јање.

* * *

Уместо закључка – Четири издвојена тектоно–магматска циклуса на теренима источне Србије испољила су се као временски повезани процеси, које су истовремено пратиле одговарајуће минерализације. Тектопске активности старијих циклуса су (што због млађих структура које их прекривају, што због прекрајања од стране алпског циклуса, уз значајна ерозиона разарања) недовољно испољене и дефинисане. Ипак, може се рећи да је све до депоња преовлађивао базични тип магматизма ефузивног карактера, који је заједно са метаморфитима дао низ дијабаз–мелафирских формација, тако да су и минерализације из тог доба углавном спорадичног значаја. У млађем палеозојку херцинска орогенеза побудила је снажна магматска кретања која су у две временске фазе условиле постанак габро–гранитоидних плутонита, уз појаву минерализације диференцијацијалног, скарновског и хидротермалног типа. Све ове минерализације, такође немају већу економску вредност.

Последњи циклус, који је уследио после дуже фазе релативног мировања тектонских и магматских активности (перм–креда), снажно је захватио простор Тетиса и у њему, посебно у делу Карпато–балканида, довео до крупних деформација у кори, стварајући сложене пликативне структуре, значајне дислокације и раседне зоне, чиме су створени услови за појачана магматска кретања. Поменути процеси су се нарочито испољили крајем креде и почетком терцијара. Магматизам је претежно испољен преко апдезитских ерупција, а минерализације које су уследиле у палеогену, а условљене хидротермалним растворима из плутонита прелазне магме, захватиле су шири простор старих и нових геоструктура. Највећи значај ових збивања везан је за две структурно–фацијалне зоне (тимочку и добродолско–грлишску) које су обједињене као тимочка магматска, односно тимочка Си–металогенетска зона.

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	59	1	53-76	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
--	----	---	-------	---

UDC 551.24.031:553.06(497.11-11)

Original scientific paper

PALEOTECTONIC-MAGMATIC PROCESSES AIDING MINERALISATION IN THE CARPATHO-BALKANIDES OF EASTERN SERBIA

by

Predrag Nikolić* and Slobodan Đorđević**

The interrelation and association of tectonic and magmatic processes in the Carpatho-Balkanides of eastern Serbia are responsible for numerous mineralisations, and significant metallic ore deposits. Tectono-magmatic processes in this part of Serbia began as early as in the Precambrian and continued through several divisions to the present state of the lithospheric evolution. The most important was the Alpine tectono-magmatic cycle, lead-zinc and other minerals were formed.

Key words: Tectonic cycles, magmatism and mineralisation, type of deposits, hydrothermal processes, metallic mineralisations.

The geosynclinal domain of the eastern Serbian Carpatho-Balkanides had its beginning in the Precambrian and an eventful evolution: diverse sedimentation, frequent breaks and resurrections, changes in paleogeographic and bathimetric terms, and other events, associated with frequent and different in intensity tectonic processes and magmatic activities that resulted in numerous mineralisations and presently known metallic ore deposits. The formation of diverse lithofacial products under the continuously varying conditions of sedimentation was paralleled or associated with the formation of numerous and thick volcanic products, and often smaller or larger intrusions as the commonest bearers of metallic mineralisations. Magma, intrusions and effusions led to the development of magmatic bodies of almost any magmatic type, from extremely acidic to extremely basic. Magmatism evolved in submarine, sublacustrine, or continental environments, always preceding, or accompanying, or often as a delayed event at the end of a tectonic process. Magmatic formations of different types, which af-

* University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Institute of Regional Geology and Palaeontology, Kamenička 6, Belgrade.

** Engineering Faculty of Bor, Bor.

affected the metamorphic change of sediments and even igneous rocks of older consolidations, have a large distribution in eastern Serbia. The resulting magmatic activity effects in this part of the Earth are commoner than elsewhere on the European continent.

ASSOCIATION AND INTERRELATION OF TECTONICS, MAGMATISM AND MINERALISATION THROUGH TIME AND SPACE

The studied tectonic and magmatic processes, and the related mineralisations, in eastern Serbia, indubitably indicate their association and interrelation. First in the tectonic movements and change in the crust, and then magma intrusion, which directly or indirectly mineralised the adjacent or intruding rocks. Hence, the three mentioned processes in the lithosphere are unified and progress from the mantle into the crust resulting in significant changes.

The formation of endogenic deposits of mineral ores is also affected by the type and intensity of tectonic and magmatic processes. The tectonic situation can be considered precedent to the magmatism and mineralisation, because it primarily provides ways to the ascending molten magma and ore-bearing solutions towards the Earth surface along fracture deformations of various types. The distribution of mineral deposits of endogenic origin is primarily subject to tectonic and magmatic control, which has various manifestations relative to the origin of the deposit. This also indicates the association of tectonics, magmatism and mineralisation on a large scale, including the time factor.

An example of the interrelation and association of tectonics, magmatism and copper mineralisation of hydrothermal derivation is found in Timok magmatic domain of the eastern Serbian Carpatho-Balkanides. Formation of hydrothermal copper-bearing deposits in this region was provided by a favourable combination of many factors involved in spatial mineral localisation. This primarily refers to structural and magmatic factors, the former opening ways for intrusion of melts and effusion of lava and pyroclastic material. Ore-bearing hydrothermal solutions are genetically associated with granitoid magma differentiation and solidification into plutonite and dikes during the Laramian and Pyrenean phases of the Alpine orogeny. Hydrothermal solutions ascending to the surface affect volcanic rocks and volcanoclastics, alter them and lead to deposition of ore minerals, that is the formation of copper deposits of massive-sulphide or stockwork-impregnation type.

The long duration of tectonic processes, and their effects, lead to the conclusions that they were principal cause of magmatism and mineralisation in the Timok magmatic domain. In the relationship of tectonic pattern and magmatism, a direct association is noted with the fault deformations, because extrusions and inclusions of magmatic material occur along the faults. Similar associations are present between mineralisation and minor faults or fault zones, which allow flow of ore-bearing hydrothermal solutions and deposition of minerals. The association of mineralisation and magmatism is indirectly manifested in the presence of hydrothermally altered volcanic rocks and clastics emplacing copper deposits and ore bodies.

Tectonic processes were active in some intervals of time, which alternated with the intervals of weak movements or relative quiescence. Four large-scale regional or planetary orogenies (tectonic cycles) are distinguished in the evolution of the Lithosphere. Intensity of processes, extent of events, and deformation degree of the older lithospheric structures were not uniform for each cycle. The newest tectonic cycle, known as Alpine orogeny, is considered the strongest, extensive and of the highest degree of deformation in the earlier formed structures which led to significant changes in land and sea configuration and remodelling old into new structures of the Earth's crust. These statements are relevant, among others for the fact that the effects of old orogenies were deformed and reconstructed, and also because the results of such events are generally masked by a newer cover and younger structures. The most uncertain in this aspect is the tectonic activity of the oldest orogeny, known as Baikalian orogeny. As this orogeny falls into the pre-Palaeozoic time, with the sedimentation products either invisible or only partly at the surface, and even then mainly transformed into metamorphic rocks (schists) of extremely altered material, and fossil life (if any) completely destroyed, the studies of the oldest parts of the lithosphere (composition and structure) are quite unreliable. Hence the many problems and various explanations of some of the lithosphere evolution elements during the pre-Palaeozoic and the early Palaeozoic.

The first and oldest orogeny began, in the opinion of many investigators, some time in the early or middle Proterozoic, and lasted to the late Precambrian or possibly into the early Palaeozoic, the Cambrian. It is ascribed the role of creating first land masses in the lithosphere and triggering strong magmatic movements in the general area of the newly formed geosynclines. Thus, tectonic movements led to the formation of first structures in the lithosphere, a change in the state and relationships in it, and formation of fault paths for magmatic activity in a large areas of these structures. Since a sedimentation has been followed by respective tectonic movements and submarine faulting, significant amounts of magmatic products, at first dominantly effusive, were alternating deposits of sedimentary and volcanic materials, or numerous series and formations of volcanogenic-sedimentary compositions. Intrusions of magma, which could occur at that stage of the lithospheric evolution, penetrated and solidified at depth or, if near the surface, got eroded with the time. Tectonic processes that continued to operate, and the magmatism itself, aided by two major metamorphic factors (regional and dynamic), affected volcanogenic-sedimentary formations and significantly transformed them into a broad variety of schistose rocks, primarily gneisses and amphibolites. Magma ascent, differentiation of its elements, its contact with the oldest Proterozoic rocks, and flood of hydrothermal solution from plutonic and sub-volcanic sources, all are responsible for mineralisation in rocks, in a unified action of endogenic processes.

The mentioned drawbacks and the impossibility to study all consequences of this unity of processes in the lithosphere are the reasons why it is difficult to identify more accurately all parameters of this unity and to individualise effects of tectonic, magmatic and mineralisation factors, their intensities, time of operation, scale of processes, and relationships and sequence of events.

Common cycles are distinguished on the basis of the unity of the mentioned processes, viz.: (a) the earliest Baikalian, (b) Early Palaeozoic, Cambrian, (c) Late Palaeozoic, Hercynian, and (d) the latest Alpine tectono-magmatic cycle which began in the late Jurassic (some think earlier) and ended in the late Tertiary.

The uncertainty in reconstructing the second, early Palaeozoic cycle refers to the beginning of the Palaeozoic; the continuity of the processes from the Proterozoic into the Cambrian is sometimes mentioned. However, the relationships become clearer, and reconstruction of three processes' effects, which include Hercynian and particularly Alpine cycles, are more certain and reliable.

Intervals of relative quiescence of tectono-magmatic processes between the mentioned cycles had relatively long durations without visible traces of the three dynamic processes.

The mentioned processes in the crust of eastern Serbia have been studied by many geologists who gave their contribution to the reconstruction of deep processes in this region. Most of their views and interpretations are observed in this review. This particularly refers to the papers written in coauthorship and published in *The Geology of Serbia* (Andjelković, 1975; Andjelković and Stevanović, 1975; Petković, 1976; Stevanović, 1977; Aleksić, 1977; Aleksić and Kalenić, 1981), a monograph by Janković (1990) on the ore deposits of Serbia, and Nikolić (1993) on the geology and mineral ores of Timok Zone, eastern Serbia.

A general information will be given in this paper for the reconstruction of the united tectonic, magmatic and mineralisation processes in eastern Serbia, with the particular reference to the Alpine tectono-magmatic cycle and the associated mineralisations.

GENERAL CHARACTER OF TECTONO-MAGMATIC CYCLES IN THE CARPATHO-BALKANIDES OF EASTERN SERBIA

Products of magmatic activities are divided into magmatic formations relative to historic periods of the Carpatho-Balkanides evolution, i.e. geotectonic units in this part of eastern Serbia. There are four groups of these formations in Serbia.

Formations of Baikalian Tectono-Magmatic Cycle

The Baikalian tectono-magmatic cycle lasted from the Middle Riphean to the Palaeozoic. Significant formations of the cycle are: (a) Volcanogenic-sedimentary formation, which includes varied schists associated with diabases, keratophyres, spilites, and quartz-keratophyres, developed in the Danubian area (Osanica, Tekija, Sip); (b) Amphibolite-gneiss complex, and (c) Granitoids transformed into gneisses.

Particularly notable is the presence of a volcanogenic-sedimentary formation of schists and metadiabases with keratophyres in Stara Planina region, and in the Porečka-Bela Reka structure of the Balkanides and Beljanica in Homolje-Kučaj area, which contain iron mineralisations (magnetite, hematite). Products of this cycle are also volcanogenic-sedimentary formations with siderite mineralisation in northern

Kučaj, gabbro–plagiogranite intrusions in Kučaj and Beljanica areas, gabbro–peridotite complex in the upper reaches of the Brnjica SW of Dobro, and granites (gneiss–granites of Blagojev Kamen, Boljetinska Reka and Stara Planina).

Mineralisations in Proterozoic rocks are less common, or are more recent and as such have not an economic value; there are mostly sporadic occurrences mainly associated with magmatic bodies.

Varied metallic mineralisations of different genetic types are developed in old structures, in/at old magmatic formations, which certainly seem to be products of first cycle, some associated with Proterozoic and others with Proterozoic–early Palaeozoic, and some even with younger events provisionally associated with this cycle. These include:

- Magmatic deposits and mineralisations of differential type, derived from basic magma;

- Volcanogenic–sedimentary mineralisations associated with basic volcanic extrusions and green schists in Beljanica area (magnetite–hematite mineralisation), and siderite–hematite mineralisations in Kučaj area.

There remains the fact that old formations of the late Proterozoic and early Palaeozoic include diverse metallic mineralisations of the Baikalian and Caledonian cycles, but their origin is not identifiable in all localities. It is indisputable, however, that mineralisation of younger cycles, the results of subsequent activities in old and deformed structures, are present in eastern Serbia. This particularly refers to the mineralisations of the Hercynian and, even more, the Alpine orogenies.

Formations of Caledonian Tectono-Magmatic Cycle

The events of this cycle are placed between the Middle Cambrian and late Silurian, Lower Devonian. Formations produced by this orogeny are dominantly volcanogenic–sedimentary, composed of diabase–phyllitoids, transformed into the green schist facies. The formations ascribed to this cycle are: (a) diabase–keratophyre Inovo (Stara Planina and Rudna Glava Formations), (b) gabbro–peridotite Deli Jovan and Zaglavak (Stara Planina) Formations, (c) granodiorite–granite formation in Stara Planina (Ravno Bučje) and Gornjani region, i.e. Mt. Homolje area (Neresnica, Brnjica). Magmatism of this cycle, which evolved in marine environment with elements of the preceding magmatism, ended in the Middle Devonian, before the rising of eastern Serbian land and slackening of magmatic activity until the abatement of the process which protraced into the Upper Devonian. Under the prevailing conditions, magmatic movements, if any, could occur in the lacustrine environment or on land, but without a visible part in the crustal structure, or even less in mineralisation.

Formations of Hercynian Tectono-Magmatic Cycle

The period of crustal evolution from the Upper Devonian to the end of the Late Palaeozoic includes dominantly acid and basic plutonites, among which are notable old complexes of gabbro–peridotites in Deli Jovan and Stara Planina (Zaglavak)

mountains, then also granite intrusions from a late phase of the Hercynian cycle in the areas of Brnjica, Neresnica, Gornjani, Plavna, Stara Planina, and Janja, Radičevac and Suvi Do. There are magnetite mineralisations of Rudna Glava, Crnajka, and ?uranium at Kalna.

Of the mentioned formations, particularly conspicuous are gabbroid massifs of Deli Jovan and Zaglavak, which are plutonic rocks of the initial basic magmatism, formed basically of gabbros and related basic magmatites, extending over a surface area of 255 km². These plutonic rocks are emplaced in varied crystalline schists, often with satellite smaller bodies of ultrabasic rocks (ultramafites), dominantly composed of dunite and related rocks, highly converted into serpentinites. These rocks include chromite occurrences.

The manifestations of volcanism are few in the Hercynian cycle, which is placed in the Late Palaeozoic. The extrusions, if any, are localised in small areas mostly of lake basins, so that products of volcanic events are mainly manifested in tuffaceous materials sporadically found in lacustrine environments. This indicates the plutonic character of Hercynian magmatism, widespread in eastern Serbia within several geotectonic structures.

Particularly characteristic in eastern Serbia are products of the late Palaeozoic volcanism (Permian post-tectonic volcanism). These are minor and isolated extrusions of rhyolite, dacite, andesite, basalt, and trachyte in the Boljetinske and Porečka River valleys, on the southwestern margin of Deli Jovan and parts of Stara Planina (Vrška Čuka, Pričevac, Topli Dol, Dojkinačka Reka) mountains. The mentioned volcanic products originate from the so-called subsequent volcanism of the Hercynian orogeny.

Mineralisations associated with the Hercynian cycle are weak, of some significance being only those in structures of this interval, which are associated with Alpine tectono-magmatic cycle, as usually is the case. It is meant here primarily the iron mineralisation, and that of copper, or uranium in Permian red sandstones. The group of metallic minerals in old Hercynian structures includes molybdenum, gold, silver and wolfram occurrences, originating from hydrothermal processes of the Alpine cycle.

Formations of Alpine Tectono-Magmatic Cycle

Products of this cycle range from the Upper Cretaceous to the end of the Tertiary. The delayed Permian volcanism of pyroclastic type was succeeded by a relatively calm period of tectonic and magmatic events. Minor tectono-magmatic activities in the Triassic and the Jurassic (local movements in eastern Serbia) revived in the late Jurassic in the Carpatho-Balkanides, and were associated with basic volcanism over a limited area. At the turn from the Jurassic into the Cretaceous, these activities were short and limited, preceding strong tectonic events in the Upper Cretaceous, and magmatism, first expressed in volcanic eruptions in marine environments and then plutonism in late Maastrichtian and more energetic in the Paleogene during the Pyrenean orogeny.

Tectonic movements of the late Upper Cretaceous continued through the Tertiary and resulted in numerous large-scale faults and fractures, and horizontal displacement up to nappes. At the boundary of the two periods, strong magmatism developed and the associated visible mineralisations. In this respect, this cycle is characterised by the widest variety mineralisation, formation of many mineral deposits in the Timok magmatic area proper which includes two tectonic units (Timok and Dobri Dol–Grlište), and even a larger region of the Carpatho–Balkanides including other geotectonic units.

A significant place in the Alpine tectono–magmatic cycle is taken by occurrences of natural magmatic rocks between the Danube and Majdanpek, in Timok eruptive area (between Majdanpek and Knjaževac), and between Bučje (near Knjaževac) and Yugoslav–Bulgarian border (Dimitrovgrad area).

A large extent of these products is recognised in Timok eruptive area, where volcanogenic–sedimentary formations have the greatest thickness of more than 1500 metres and are composed of volcanoclastic materials prevailing over lava products.

Divided by the time of formations, there are:

1. **Cenomanian volcanism**, volcanic agglomerates and tuffs, and flows of hornblende–andesite, hornblende–dacite, pyroxene–biotite–andesite, chiefly in the east of the volcanic terrain (Majdanpek, Bučje near Bor, Mt. Tupižnica western slope);

2. **Turonian–Senonian volcanism**, or timozite association (hornblende–andesite, hornblende–biotite, andesite, timozite, and pyroclastic products) in the most of the region;

3. **Upper Maastrichtian–Paleogene volcanism**, mainly in the west of the region, the andesite–basalt and latite association, composed dominantly of pyroclastic rocks and some small flows (5–10 m) of pyroxene–hornblende–andesite, and albite trachyte. A latite association of volcanic rocks is identified in the southern part of Timok eruptive region (Zlot–Boljevac–Bučje area), near Knjaževac and Dimitrovgrad (Donje Nevlje).

After the mentioned volcanic phases of the Lower Cretaceous (their presence under continental conditions is likely in the early Paleogene), there followed the phase of Laramian–Pyrenean plutonism, manifested between Zlot and Jasikovo, between Veliki Krivelj and Vlaole, in the general Majdanpek area, south of Boljevac, and near Dimitrovgrad. The manifestations have the form of tongues or apical parts of acid plutons. The biggest plutonic bodies in Timok region are those of Valja Strž, Susula and Dobro Polje. They consist of quartz diorites, diorites, granodiorites, monzonites, syenites, and accessory vein rocks.

In Ridanj–Krepoljin region of eastern Serbia, the known Upper Cretaceous–Paleogene and Neogene magmatic rocks are represented by dacite–andesite and basaltoid rocks in the Golubačke and Homoljske Mountains, Beljanica, Kučaj, Ozren, and Svrlijske Mountains, in the form of flows, veins and irregular subvolcanic rock bodies.

Characteristically, pyroclastic and volcanic rocks occur in Upper Cretaceous (Cenomanian, Turonian–Senonian, and Upper Maastrichtian) and Neogene formations

of eastern Serbia (tuffs and tuffites in Rakove Bare, Zaplanje, Sokobanja, Timok, and Jelešnica basins), without visible mineralisations.

Mineralisations of Alpine Cycle

The Alpine tectono-magmatic cycle has the main significance for mineralisations and ore deposits in various structures of the eastern-Serbian Carpatho-Balkandes. The principal phase of various types of mineralisation was from the end of the Cretaceous through the Paleogene. The centre of mineralisation of economic value is in Timok magmatic domain in the central Carpatho-Balkanides, that is in two adjoining zones: Timok in the west and Dobri Dol-Grište in the east, which extend from the Danube and Romania in the north to the southeastern Serbian-Bulgarian border.

In eastern Serbia, Janković (1990) separates (from west to east) four zones of mineralisation: (1) Ridanj-Krepoljin metallogenetic zone, where the formation of endogenic deposits is controlled by Upper Cretaceous Laramian magmatic intrusions; (2) Homolje-Beljanica metallogenetic zone with known volcanogenic-sedimentary deposits associated with basic complexes and vein-hydrothermal mineralisations genetically related with granitoid complexes; (3) Bor metallogenetic zone with copper mineralisations primarily of hydrothermal derivation; and (4) Porečka-Stara Planina metallogenetic zone with varied mineralisations.

Additionally to the mentioned zones, mineralisations are present in the Rhodope Mass, at its border with the Carpatho-Balkanides.

Principal metallogenetic characteristics of the mentioned zones are:

1. Border area between the Carpatho-Balkanides and the Rhodope Mass. Small mineralisations in places, such as those at Kaona, Manastirica, and near Bosilegrad, where the occurrences are associated with the volcanogenic-sedimentary facies of the basic complex in the old core of Balkan peninsula. This border area of two large structures, also the part of the old core, includes volcanogenic-sedimentary rocks which bear Cu-mineralisation and some gold scheelite (Ranovac-Kaona), and accessory small massive pyrite deposits with quartzite masses. In the middle of the contact area, at Bukovik and Ražanj, minor Cu-mineralisations in volcanogenic-sedimentary rocks have also been noted.

2. Ridanj-Krepoljin zone. The endogenic occurrences of some significance are skarn mineralisation of magnetite (Ridanj), then multiphase ore deposits and occurrences (Reškovica), metasomatic (volcanogenic-hydrothermal) deposits primarily of Pb-Zn accessory to gold and silver mineralisations (Kučajna), minor deposits and occurrences of antimonite (Osanica) in genetic association with dacite-andesites, and cupriferous mineralisations at Reškovica, Ridanj and several places in Permian red sandstones also bear some uraniferous mineralisations.

All the mentioned mineralisations of Alpine cycle are poor deposits, some of which, primarily lead and zinc, were worked in the past.

3. Homolje-Beljanica zone. North in the zone, from the Danube to Mt. Beljanica, old Palaeozoic volcanogenic-sedimentary complexes of basic rocks bear many

metallic mineralisations. The best known is the area of Blagojev Kamen, where explorations have been resumed for gold and silver in the deposits of Sveta Barbara and Grabovska Reka, where also scheelite mineralisations are present. Some of mineralisations in the zone are believed pre-Alpine.

4. **Timok metallogenetic zone.** General characteristics of mineralisation in the zone, those of copper in particular, are the following:

The main phase of mineralisation is placed in the early Paleogene. Hydrothermal solutions moved along the numerous faults and altered the solidified volcanoclastics. Cupriferous mineralisation in more than fifty altered zones, between Majdanpek, Bor and Dobro Polje, are associated with this hydrothermal process.

Most significant mineralisations in the Timok metallogenetic zone are located in the Timok zone (east) and the Dobri Dol–Grlišće zone (west). Concentrations of mineral parageneses in the Timok zone are mainly in Bor and the general Majdanpek areas, between Bor and Majdanpek, and in general Crni Vrh area. In the Dobri Dol–Grlišće zone, mineralisations are associated with plutonic–intrusive bodies of Todorov Potok, where Veliki Krivelj deposit is located.

Mineralisation types in the mentioned mineralisation zones are various, to mention the most significant ones:

(a) **Bor zone**, directly controlled and connected with the Bor dislocation, where the prevailing types are:

- **massive-sulphide** – deposits and ore bodies including Čoka Dulan, ore bodies of Tilva Mika (A, B, C, D, 1), ore bodies I, J, H, L, B (new gallery), and ore bodies of Šistek and Krpe. Essential minerals are covellite, chalcocine, enargite, bornite, and chalcopyrite;

- **stockwork-impregnation** – ore bodies of Tilva Roš, Kamenjar, Brezanik, body F and body C, with the essential minerals: covellite, enargite, chalcocine, rarer chalcopyrite, luzonite, and tetrahedrite; and

- **porphyric** – deep parts of Borska Reka and Borski Potok with occurrences of pyrite, chalcopyrite, bornite, molybdenite, and magnetite.

(b) **Majdanpek zone**, connected with Majdanpek–Mali Krivelj dislocation, where several types of mineralisation are developed.

- **porphyric type**, as the prevailing mineralisation in Majdanpek area, is found in stockwork–impregnations; a stockwork is centrally situated in the zone with satellite impregnations on its margin. In the mineralisation zone itself, two ore levels are present: upper (oxidation) level of dominantly limonite and malachite, and lower (cementation) level of chalcocine and covellite. The paragenesis of Majdanpek deposit includes chalcopyrite, pyrite, molybdenite and magnetite as essential minerals, and lower amounts of pyrrhotite, bornite, and gold;

- **massive-sulphide type**, with pyrite as the essential mineral and accessory chalcopyrite, pyrrhotite, bornite, magnetite, hematite, sphalerite and, among other, native gold. Pyrite bodies contain copper minerals, gold and silver;

- **skarn type** is present on the margin of mineralisation zone, at contact of magmatic and Mesozoic carbonate rocks, where magnetite is essential mineral and ac-

cessories are cupriferous and other mineralisations;

- **lead-zinc** type is a common accessory to the porphyric type of Cu–Mo mineralisation with galena and sphalerite as the essential minerals.

Mineralisations of the above types are found in Majdanpek, and north and south of it to Čoka Marina and Cerova.

(c) **Mali Krivelj-Cerova zone.** North of Bor and south of the Majdanpek zone, there are several mineralisation zones (Čoka Čuruli, Kiridžijski Potok, Kraku Bugarescu, Mali Krivelj) where **vein type** mineralisation is registered with pyrite and chalcocine as essential minerals, **massive-pyrite** type with pyrite and enargite as essential minerals, and **cementation type** as secondary mineralisation (oxidation and cementation), and some **skarn** and **stockwork-impregnation** mineralisations.

(d) **Crni Vrh mineralisations** are the commonest in Timok zone, largely affected by the Valja Strž plutonic body. Mineralisations are mainly of the porphyric type, with minor occurrences of skarn marginally on the Timok zone to the adjacent Mesozoic carbonate rocks of Homolje. All these can be divided into three mineralisation zones/units:

- **Mineralisations along Zlot fault** (Timok zone boundary with western margin) where skarn is prevailing. Apart from copper, essential minerals are magnetite, galena, and sphalerite. There are seven Pb–Zn–Cu deposits.

- **Mineralisation in/at Valja Strž plutonic body** are multiphase mineralisations of hydrothermal type, with dominant Pb–Zn–Cu minerals and gold and copper occurrences in direct contact with plutonic rocks.

- **Mineralisations in volcanogenic-sedimentary rocks** along Crni Vrh–Savinac dislocation form fifteen metallic mineral deposits from Jasikovo and Damitru stream in the north to Tilva Njagra and Zlot in the south. Cupriferous minerals are prevailing, followed by hematite, magnetite, molybdenite, sphalerite, galena, and other metallic minerals, thus accounting for multiphase Cu, Pb–Zn minerals.

(e) **Mineralisations south of Crni Timok River.** Less significant occurrences at Savinac, Markov Kamen and near Dobro Polje and Bačevica, resulted from hydrothermal processes, with copper-bearing minerals in uneconomical concentrations.

(f) **Veliki Krivelj mineralisation** is a zone easternmost of the mentioned zones, connected with Dobri Dol–Grlišće structural–facial zone. The prevailing type of mineralisation is porphyric, hydrothermally associated with plutonic–intrusive bodies which peripherally introduced skarn mineralisation. The presence is registered also of oxidation zones (in higher) and cementation in lower parts of deposits. The essential mineral is Cu, and Pb–Zn, with accessory magnetite, rutile, pyrrhotite, chalcopyrite, pyrite, hematite, molybdenite, bornite, covellite, chalcocine, azurite, enargite, etc., formed in three separate paragenetic stages.

Summarising the given information into a general statement of mineralisations in imok region, the following can be inferred:

- **Porphyry deposits** are: Majdanpek, Cerovo, Veliki Krivelj, Mali Krivelj, Borska reka, and Valja Strž on Mt. Crni Vrh;

- **Massive sulphide deposits** with Pb–Zn mineralisations are Bor and Čoka

Marin;

- **Skarn deposits** is Valja Ska; and
- **Volcanic deposits** of Cu with gold are Bor, Majdanpek, and Veliki Krivelj.

5. **Porečka-Bela Reka zone** of the Balkanicum includes several multiphase mineralisations from Miroč to Deli Jovan to Stara Planina in the south. Minor Fe mineralisations are generally associated with the old cycles, as differentiation products in plutonic bodies, or as skarn products. There are more occurrences from Alpine (possibly also pre-Alpine) cycle, but without significance. These occurrences are mostly of hydrothermal origin, and many of them are associated with the auriferous quartz veins near Deli Jovan (Crnajka, Glogovica) and Stara Planina. There are few uraniferous mineralisations at Kalna, adjacent to Janja Granites.

*

*

*

Instead of Conclusion. The four tectono-magmatic cycles identified in eastern Serbia are manifested as continuous processes, accompanied by respective mineralisations. Tectonic events of the older cycles are inadequately expressed and defined (due to coverage by younger structures or reshaping in Alpine orogeny, aided by significant erosion). It may be stated, however, that extrusive basic magmatism prevailed until the Devonian, and produced metamorphic rocks and many diabase-melanic formations; hence the sporadic significance of mineralisations of that time. In the late Paleozoic, Hercynian orogeny initiated massive magmatic movements which, in two intervals, resulted in the formation of gabbro-granitoid plutonic rocks and differential, skarn and hydrothermal, mineralisations. Neither of these mineralisations has the economic value.

The last cycle, after a long period of relative quiescence in tectonic and magmatic events (Permian-Cretaceous), strongly affected the Tethyan realm and led, in the Carpatho-Balkanides in particular, to large-scale deformations in the crust, formation of complex folding structures, significant dislocations, and fault zones, providing thus conditions for magmatic movements. These processes were particularly operative in the late Cretaceous and early Tertiary. Magmatism was expressed in the Paleogene by hydrothermal solutions from plutonite of transitional magma, affected a large area of both old and new geosstructures. The greatest importance of these events is associated with two structural-facial zones (Timok and Dobri Dol-Grište), united into the Timok magmatic, or Timok Cu-metallogenetic zone.

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Алексић В. (ур.) (=Aleksić), 1977: Геологија Србије. Метаморфизам.– Завод за регионалну геологију и палеонтологију РГФ, књ. III/2, 282 с., Београд.
- Алексић В. и Каленић М. (ур.) (=Aleksić and Kalenić), 1981: Геологија Србије. Магматизам.– Ibid., књ. III/1, 293 с., Београд

- Анђелковић М. (ур.) (=Andjelković), 1975: Геологија Србије. Стратиграфија – Мезозоик.– Ibid., књ. II/2, 368 с., Београд.
- Анђелковић М. и Стевановић П. (ур.) (=Andjelković and Stevanović), 1975: Геологија Србије. Стратиграфија – Прекамбријум и Палеозоик. – Ibid., књ. II/1, 147 с., Београд.
- Јанковић С. (=Janković), 1990: Рудна лежишта Србије. Регионални металоженетски положај, средине стварања и типови лежишта, 1–748, Београд.
- Николић П. (=Nikolić), 1993: Тимочка зона источне Србије. Геологија и минералне сировине.– Монографија 278 с., Београд.
- Петковић К. (ур.) (=Petković), 1976: Геологија Србије. Тектоника.– Завод за регионалну геологију и палеонтологију РГФ, књ. IV, 505 с., Београд.
- Стевановић П. (ур.) (=Stevanović), 1977: Геологија Србије. Стратиграфија – Кенозоик. – Ibid., књ. II/3, 442 с., Београд.