

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	61	1	419-433	Београд, децембар 1997 Belgrade, Decembre 1997
--------------------------------------------------	----	---	---------	---------------------------------------------------

УДК 553.07:550.814(497.11-12)

Оригинални научни рад

## СТРУКТУРЕ РУДНИХ ПОЉА БЛАГОДАТ И КАРАМАИНЦА ПРЕМА ПОДАЦИМА ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ

од

Бошка Стајевића\*

Подручје југоисточне Србије је део кристалина Српско-македонске масе у оквиру кога су се, током геолошке еволуције одвијали активни тектонски, тектоно-метаморфогени и тектоно-магматски процеси са орудњавањем. Као резултат тих процеса образована је једна структурно-геолошка и металогенетска целина дефинисана као рудна зона. У раду се даје уопштена анализа руптурног склопа јужног дела те зоне, у оквирима полиметалничних рудних поља Благодат и Караманица, на бази даљинске детекције односно фотогеолошке анализе аеро снимака. Уз најчешће линеарне рунтуре, издвојен је и низ прстенастих морфоструктурних облика насталих динамиком магматогених процеса и метаморфизма. Обзиром да ињективне рунтуре и структуре, уз тектонске, имају улогу контролног фактора у локализацији бројних ендогених, али и метаморфогених орудњења, добијени резултати могу да буду од значаја при даљим прогнозно-металогенетским изучавањима локалних рудоносних средина како на нивоу рудне зоне тако и полиметалничних рудних поља Благодат и Караманица.

**Кључне речи** даљинска детекција, аерокосмички снимци, рунтуре, прстенасте структуре, морфоструктуре, магматизам, метаморфизам, орудњавање, металогенија, прогноза, рудна зона, рудно поље, рудно лежиште.

### УВОД

Последњих година се у оквиру геолошких пројеката истраживања рудоносних средина Србије, посебно рудних реона-зона и поља знатног степена истражености, врши ревизија геолошких података и то кроз употребу новијих или непримењиваних метода. При томе, чине се покушаји сагледавања пекних нових елемената контроле значајних како за прогнозу и проналажење, тако и за истраживање лежишта и орудњења. У том погледу посебно је значајан елемент контроле како у смислу регионалног утицаја на нивоу локализације рудног реона-зоне и рудних поља, тако и локалног позиционирања лежишта и рудних тела. У склопу метода морфоструктурне анализе, анализа сателитских (1:500.000) и аеро (1:50.000) фотооснова, методом даљинске детекције, је први корак са циљем да се уоче нови, потврде или редифинишу постојећи, пре свега, руптурни и морфоструктурни елементи регионалног и локалног руптурног склопа. Овим приказом се у најопштијим цртама презентирају резултати фотогеолошке анализе аеро снимка у

домену јужног дела терцијарне рудне зоне Бесне Кобиле, посебно полиметаличних рудних поља Благодат и Караманица.

## ОПШТИ ПОДАЦИ

Анализираћи простор налази се источно од Јужне Мораве до граничног појаса са Бугарском и Македонијом. Простире се јужно од Власинског језера и обухвата планинску област Вардешка, Бесне Кобиле и Љуката, на површини од преко 500 km<sup>2</sup>. Геотектонски, он припада централном јужном и југоисточном делу Српско–македонске масе у коме су присутне таксономски различите форме тектоногенних, тектоно–магматогених и тектоно–метаморфогених регионалних и локалних структура. Геолошку подлогу ове средње чине старопалеозојски, делом и протерозојски кристалисти покривци. У току геолошке еволуције, од протерозоика а нарочито током кенозоика, у оквиру магматогено–метаморфогених процеса образовани су значајни гранитоидни (гранитски и гранодиоритски) плутогено–вулканогени комплекси стена и пратећих епидогених оруђења. Старији, предеонски гранитоидни комплекс, обзиром да представља гворевину тектоно–метаморфогених процеса, потенцијално није директан носилац епидогених оруђења (гранитоиди Босилеграда, Јарешника, Божице и Доганице). С друге стране, терцијарни гранитоидни плутогено–вулканогени комплекс даје печат металогенији овога простора (сурдулицки гранодиорити, дацити–андезити и кварцлатити са бројним оруђењима Pb–Zn, Mo (Cu, W, Fe) и др. Према постојећим металогенетским шемама овај простор припада тзв. "Благодат–осоговском рудном рејону" (Јанковић, 1982), односно "рудном рејону Бесне Кобиле" (Јанковић, 1990), у оквиру кога је издвојен већи број у основи полиметаличних рудних поља. Са становишта сировинске потенцијалности најзначајнија су рудна поља Благодата и Караманице, и Мо (Cu) рудно поље Манкатице. Поред тога у ову средину уклапају се и рудна поља Лисне и Љубате са метаморфогеним лежиштима фосфата и графита, као и бројне појаве Fe у метаморфитима горњег (власинског) комплекса.

Геолошке карактеристике овога сложеног комплекса проучавали су бројни аутори са различитих аспеката: петролошко–петрографских (Илић, 1939, 1940, 1950, 1954; Павловић, 1957; Вуковић, 1955, и др.), геолошко–структурних (Димитријевић и Дракулић, 1958; Димитријевић, 1959; Петковић В., 1932; Петковић К., 1932, 1937; Марић и Маринковић, 1957; Павловић, 1959, 1962; Petrović, 1965; Марковић и др., 1976 и др.), рудногеолошких и геохемијских (Милованиновић, 1946; Милованиновић и Илић, 1953–54; Стангачиловић и Костић, 1954; Šuvački, 1960; Jović, 1978; Marić, 1970; Smejkal, 1957; Simić i Jović, 1973; Mitrović, 1993; Јанковић, 1990; Simić, 1993, 1994, 1995, 1996; Омаљев, 1996 и др.) Најпотпунији општи прикази геолошке грађе, међутим, су у оквиру ОГК: лист Власотице К34–45, 1:100.000 (Petrović i dr., 1973) и лист Трговиште са Радомирком К34–75, 1:100.000 (Babović i dr., 1977). Од радова из домена употребе морфо–структурне анализе при регионалним металогенетским и неотектонским испитивањима треба поменути резултате групе аутора (Јанковић и др., 1981), по којима је овај простор представљен као један постсредњи неогени свод "Благодат–осоговски рудни рејон" са две штерне куполне морфо–структурне форме које контролишу регионалну позицију полиметаличних и цирконско–полиметаличних оруђења. Новије резултате анализе рудног склона на бази даљинске детекције приказали су Marković i

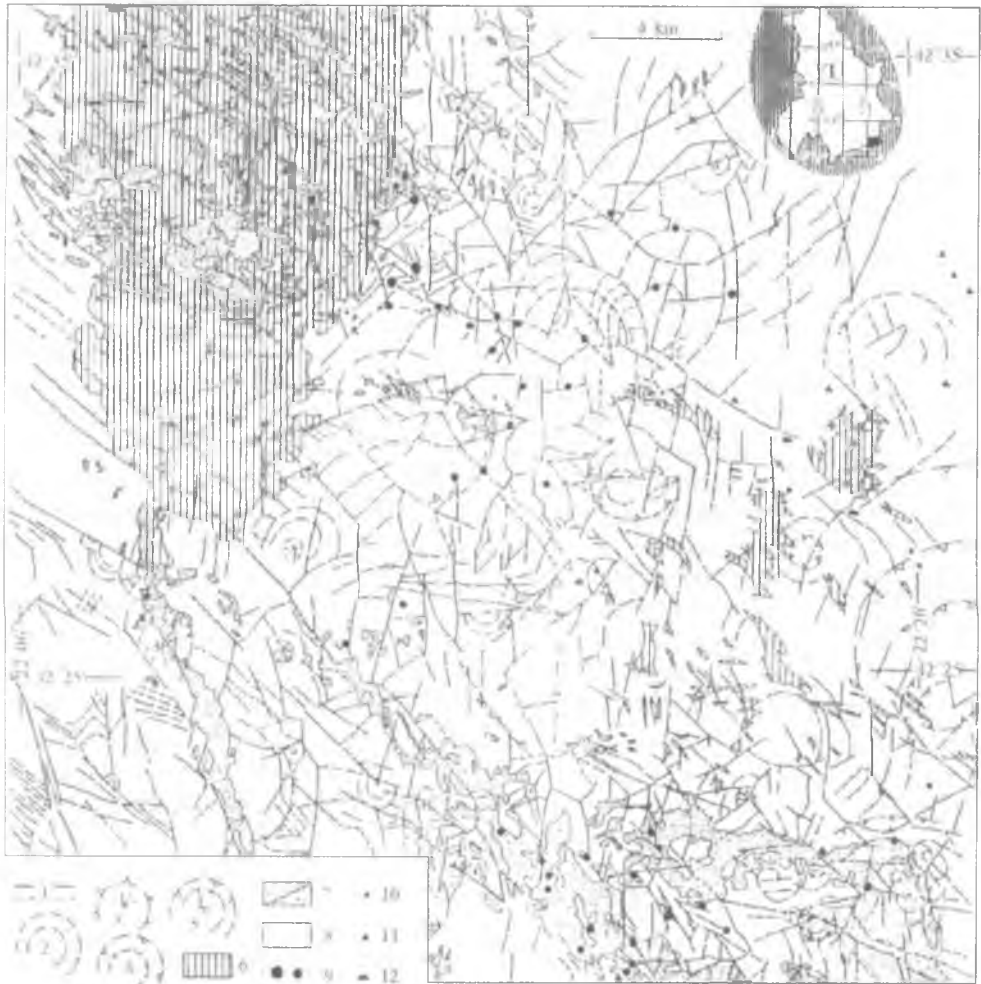
Komaricki (1987) ("Геолошка карта сурдулицког масива— карта структура утврђених даљинском детекцијом, 1:100.000"), односно Stanić i dr. (1996).

## ПРИМЕЋЕНЕ МЕТОДЕ И МЕТОДИКА

У оквиру дистанционих метода, методе даљинске детекције аерокосмичких снимка све више се успешно користе и при регионалним и локалним прогнозно–металогенетским анализама рудоносних средина. Најчешће се ради о идентификацији релевантних руптурних односно морфо–структурних података значајних за усмеравање даљих истраживања, која при класичним теренским опажањима нису у целини визуелно уочљива. У питању су, пре свега дубинске линеарне руптуре и посебно тзв. шективне тектоно–магматске и тектоно–метаморфогене структурне форме рељефа типа сволава, купола, диатрема, калдера, купа, полигоналних блокова, депресија, библинала и др. које се по данашњим сазнањима, сврставају у најзначајније депозиционе средине бројних ендегених лежишта минералних спровиша (Томсон, 1988; Јаковљевић, 1982; Јаковљевић др., 1986; и др.). Наиме, ради се о елементима огњених структура и структура доводних капала широког величинског дијапазона (од хекто–декакилометарског до километар–хектометарског), који контролишу просторну позицију металогенетских јединица различитих рангова. Разумљиво је да се и даљинска детекција ових облика, уз комплексну примену и других метода (геоморфолошких, геофизичких, геохемијских и др.) врши на таквим аерокосмичким основама које омогућавају одговарајућу визуелност, геолошку информативност и генерализацију. С обзиром на димензије анализираног простора источни дела јужне Србије који је у рангу рудне зоне–реона са већ дефинисаним рудним пољима и орудињима, даљинска детекција структурног склопа је урађена анализом стереопарова аероснимача размере 1:50.000 на површини од преко 500 km<sup>2</sup>. Уз карту руптурног склопа, у приказу нису коришћени статистички дијаграми оријентације линеарних руптура, јер сматрамо да подаци о трасама руптура на фотогеолошкој карти, у условима раширеног рељефа, не могу увек да се поклапају са стварним трасама пружања тих руптура.

## ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА

Фотогеолошким анализом обухваћен је простор у раније дефинисаним оквирима полиметаличких рудних поља Благодата око 180 km<sup>2</sup> и Караманице 190 km<sup>2</sup>. У анализи стереопарова коришћени су авионски црно–бели снимци, фотографије Војно–географског института, размере 1:50.000. Због локалне облачности на појединим снимцима, нисмо били у могућности да у неким мањим просторима (јужни део рудног поља Благодат и западни део рудног поља Караманице) у целини дешифрирамо и повежемо податке о структурном склопу. И поред релативно велике покривености терена, добро раширањен планински рељеф је фотографичан и даје повољан стереоефекат. У оквиру анализе осматране су оне морфоструктурне карактеристике рељефа које директно или индиректно указују на присуство углавном руптурних линеарно–прстенастих структура и других визуелно уочљивих облика (купе, некови, депресије, калдере, мање куполе) насталих током тектонских, магматогених (вулканоплутонских) и метаморфогених процеса. Њихове димензије су у оквирима хектометарско–километарских размера тако да се подаци односе на елементе



Сл. 1. Фотогеолошка карта структурног склопа рудних поља Благодат и Караманица.

Легенда: 1. трасе линеарних руптура (сигурне/претпостављене), 2. трасе прстенастих структура/руптура (ци врше/претпостављене), 3. куполно-конусне структуре, 4. депресивне калдерне структуре, 5. конусно-калдерне структуре, 6. терцијарни гранитоиди /\*\*, 7. терцијарни вулканити/вулканокластити /\*\*, 8. метаморфити /\*\*, 9. лежишта и рудне појаве Pb-Zn /\*\*, 10. рудне појаве Mo, Cu, W, Fe, (Ni-Co) /\*\*, 11. рудне појаве фосфата /\*\*, 12. рудне појаве графита /\*\* (/\*\* према ОГК 1:100.000).

Fig. 1. Photogeological structural map of Blagodat and Karamanica ore fields. Legend: 1. Linear fracture (certain/inferred) traces; 2. Ring structure/fault (proved/inferred); 3. Arch/cone structures; 4. Depressive caldera structures; 5. Cone/caldera structures; 6. Tertiary granitoids\*\*, 7. Tertiary volcanite/volcanoclastics\*\*, 8. Metamorphites\*\*, 9. Pb-Zn deposits and ore occurrences\*\*, 10. Mo, Cu, W, Fe, (Ni-Co) ore occurrences\*\*, 11. Phosphate ore occurrences\*\*, 12. Graphite ore occurrences\*\* (after B. G. M. 1:100 000).

и регионалног и детаљног структурног склопа. Резултати даљинске детекције аероснимака приказани су у оквиру приложене аерофотогеолошке шеме руптурног склопа рудних поља Благодат и Караманице (сл. 1). Општи закључци који произилазе из анализе тога графичког приказа су следећи.

### Рудно поље Благодат

Релативно велика популација тектонских линеарних али и тектопо-магматогених руптурних и морфоструктурних фрагмената регистрованих преко форми структурног рељефа, указује на сложен структурно-геолошки склоп полиметаличног рудног поља Благодат. Анализом комплементарности података о руптурном склопу са сканограма и аерограма, простор се може поделити у више структурно-геолошких целина. То су: западна, унутар Сурдуличког масива, централна, у источном егзоконтакту масива и источна, у домену прогресивно метаморфисаних шкриљаца. Повезује их систем регионалних разлома субдишарског пружања, који су у западном и централном блоку грасирани и терцијарним вулканитима (са хидротермалним метасоматитима и оруђењима), док их разграничавају регионалне линеарне субмеридијалне дислокације унутар кристалног комплекса. Западни сегмент обухвата најзападнији обод рудног поља који у томе делу залази у руптурни склоп унутрашњег централног дела Сурдуличког градопиритског масива. Вишекилометарске трасе разломних структура регистроване су на потезима Бесна Кобила-Маркова Ливада, Кула-Краварник-Езгија, Радоњин Рид-Јованов рид, са субдишарским пружањем и Камик-Чука-Јованов Рид, Хајдучки Камен-Милан Чукар и Мечит-Планинарски дом-Близанич субмеридијалног правца. Бројне су, гакође, и локалне руптуре посебно оне са пружањем З-И и ЈЗ-СИ. На присуство магматогених продуката унутар ове средње указују фрагменти прстенастих структура. По димензијама је најростражнији онај који ограничава јужни обод декакилометарске колашне калдере Криве Феје (Сурдуличко-Црновршка) дуж гребенског лука Јорданова Чука-Просеченица-Мусуљ-Бесна Кобила-Камик. Фрагменти мањих орбиталних прстенастих форми (типа мањих купола или субвулканско-вулканских доводних канала) налазе се на локалитетима Љута-Бацовиште, Кадипина Чука и Планинарски дом. Најсложенији односи у руптурном склопу рудног поља Благодат су у централном структурно-геолошком блоку који лежи у оквиру тектонизованог комплекса полистених метаморфита са пробојима терцијарних вулканита, делом и вулканокластита дуж источног егзоконтактног појаса градопиритског масива. Они су најизраженији управо око самог Pb-Zn лежишта Благодат које је лоцирано у ужем појасу граса регионалних субдишарских дислокационих руптура. Међу бројним локалним линеарним руптурама око лежишта, називу се (претпостављени) фрагменти сегментарне километарске кружно-концентричне ињективне тектопо-магматске форме. Уз уочљиве елементе радијалне тектонике, у оквиру централног лучног фрагмента (пречника до 1 km), структура има депресиону морфологију. Слични руптурно-морфоструктурни односи су дешифровани и у северном наставку овога структурно-геолошког блока на локалитетима Куле и Горње Ражане. На Кули, локалитету познатом по жичном типу Pb-Zn оруђења, у склопу линеарних руптура правца пружања 120°-300°, запуњених терцијарним вулканокластитима са фрагментима структура вулканског апарата, веома је изражен систем спрегнутих руптура оријентисан правцем И-З. На крајњем северном

делу рудног поља у ширем подручју Плоча и Горње Ражапе, у склопу приказаних структура блока истиче се траса регионалног разлома правца пружања  $310^{\circ}$ – $130^{\circ}$  са морфоструктурно маркашном вишекилометарском сложенем кружно–концентричном структуром вулканског апарата. Ова тектономагматска структура представља комбинацију прстенасту структуру куполног типа, са локалним орбиталним структурама типа доводних капала (нека). Јужни сегмент централног структурно–геолошког блока рудног поља Благодат, простире се јужно од Бесне Кобиле и изворишног дела Љубатске Реке. Ову средњу изграђену од палеозојских гранитизираних стена (гранитоиди Догашце), карактеришу у основи руптурни системи са терцијарним вулканитима, оријентисани правцем пружања И–З и ЈИ–СЗ са фрагментима једне вишекилометарске (пречника 3–5 km) депресивне прстенасте магма–тектонске морфоструктуре у подручју Горње Љубате. У оквирима источног дела рудног поља Благодат је пространо подручје Доње и Горње Љубате, које се протеже северно и јужно од Љубатске Реке. Материјалну геолошку подлогу у северном делу чине графитични серицит–хлоритски и фелдспатизирани шкриљци "лисинске серије", а јужном лискунска парастена "јарешничке серије" са партијама гранитизираних стена (према ОГК порфироидни граинити терцијарне старости). За руптурни склоп ове средине, уз фрагменте регионалних субдинарских ( $130^{\circ}$ – $310^{\circ}$ ) и субмеридијалних раседа ( $20^{\circ}$ – $200^{\circ}$ ), карактеристично је развиће вишекилометарских куполно–депресивних прстенастих кружно–концентричних структура. Обзиром да се ови облици налазе у простору у коме су практично одсутни пробоји терцијарних магмага (северни део), али у оквиру партија прогресивно метаморфисаних шкриљаца, условно смаграмо да се оформљење ових куполовидних морфоструктура може везати и за процесе метаморфизма односно за мигматске гранито–гнајске куполе. Лежишта и појаве графита су управо типоморфна за ту врсту тектоно–метаморфогених структура. Конкретно, таква обележја имају две прстенасте форме са леве стране лука долине Љубатске реке у северном делу подручја (Горња и Доња Љубата). Кружно–концентричне структуре јужно од Љубатске реке, уколико су везане за гранитизирани шкриљци, припадале би горе поменути врстама, али ако се ради о интродукованим младим гранитоидима (као што је то приказано на ОГК), онда су у питању тектоно–магматске творевине. У складу са допуцким изучавањима ових односа, разрешиле би се и одређене дилеме везане за металогенетску потенцијалност ове средине.

### Рудно поље Караманце са Јарешником

Анализирани простор захвата изворишно подручје Пчиње и део планиског масива Дуката уз Македонско–Бугарску границу. Простире се југоисточно од Сврдуличког масива, односно, јужно од рудног поља Благодат. Његов фундамент изграђују лискунски шкриљци "јарешничке серије" и, само у западном ободу, хлорит–мусковитски шкриљци "стајевачке серије". Током терцијара утиснут је, дуж регионалних руптура, комплекс интермедиијарних, претежно вулканогених стена са прагењим хидротермалним, углавном полиметаличним оруљењима. У том погледу се издваја декаилометарска дислокациона зона Радвинца–Караманца којом се разграничавају метаморфити "стајевачке" и "јарешничке" серије, и зона Пролесје–Горње и Доње Гламшо. У оквиру "јарешничке серије" у домену Црвоока, Јарешника и шире, присутне су и гранитске стене (према ОГК терцијарне старости). У

оквиру структура руптурног склопа које су утврђене—претпостављене фотогеолошком анализом аероспинама издвојене су руптуре линеарног тектопогеног типа и неллинеарног инјективног типа. Просторни размештај и изражајност руптура је у складу са материјалном грађом, временом и механизмом стварања. Груписане су у оквиру три структурно—геолошке целине: зона Радовница—Караманица, зона Пролесје (Горње Тламино)—Доње Тламино и структуре Црноока и Дуката (јарешничке серије). Зону Радовница—Караманица трасирају фрагменти линеарних дубинских разлома са грасама пружања  $140^{\circ}$ – $320^{\circ}$  (долина Пролесјске Реке, Поповске Реке, Караманица и др). Ту су присутни километарски фрагменти и субмеридијалних граса и локални спрегнути руптурни системи променљиве оријентације и димензија. На интензивну вулканогену тектоно—магматску активност указују бројне прстенасте структуре, километарско—хектометарских дијаметара, које представљају структуре вулканских апарата (вулкански некови, конуси, калдере и др.). Сегменти такве једне, по димензијама највеће, структуре лоциран је баш у домену бројних Pb—Zn рудних појава и лежишта Подвирови на Караманици, а идентификован са два вишекилометарска лучна фрагмента на потезима Голешки Чукар—Каменица—Струга—Голешки Врх и Вратница—Падина—Алиште. Од мањих морфоструктурних форми типа вулканског нека или конуса треба поменути структуре Марковице, Чукара, Кипке, Боровца и др. Структурно—геолошка зона Горње Тламино—Доње Тламино обележена изливима терцијарних вулканита и вулканокластита, такође представља и зону формационих разрашчења унутар метаморфног комплекса. Наиме, овом зоном су развојени метаморфити нижег ("стајевачка серија") и вишег ("јарешничка серија") степена кристалнитета. Структурно, зону карактеришу линеарни руптурни системи пружања И—З, фрагментовани руптурама субдишарске оријентације, са сложеним километарским прстенастим структурама вулканских апарата. Није занемарљиво, такође, и присуство руптурних система оријентисаних правцима СИ—ЈЗ и ССИ—ЈЈЗ. У оквиру магмато—тектонских форми истичу се две скупине сложених километарских прстенастих кружно—концентричних структура вулканских апарата у оквиру вулканокластичног комплекса Тламина. Те форме су груписане око Горњег (Ракитска Махала, Боровац и Гнојничка Махала) и Доњег (Присојска Махала, Село и Мановска Махала—Рупе) Тламина. Са становишта металогеније у оквиру ове средине, која је део полиметаличног рудног поља Караманице, познате појаве Pb—Zn орудњења су, такође и овде, у оквирима помепутих вулканогено—тектонских структура. Структурно—геолошка целина Црноок—Јарешник—Дукат, према ОГК, обједињује комплекс рифео—камбријских степа релагивно високог степена метаморфизма са појавама селективне гранитизације, дефинисан под називом "јарешничка серија". За ову средину је карактеристично да је учешће продуката терцијарног магматизма, ако се изузм "гранити Црноока", минимално. Сматрамо да ти гранитоиди и не морају да буду производи магматске већ апатектичке кристализације—гранитизације, типичне за високомегаморфисане комплексе. Фотогеолошком анализом захваћен је само најјужнији део те целине, онај који се падовезује на зону Тламина. Мишљења смо да је то посебна структурно—геолошка и металогенетска целина која се ни у ком смислу не може повезивати, како то неки аутори сматрају, са полиметаличним рудним пољем Караманице (Mitrović, 1993). У оквиру издвојених елемената руптурног склопа, уз већ традиционална субдишарска разламања ( $140^{\circ}$ – $320^{\circ}$ ), карактеристично је присуство линеара оријентације СИ—ЈЗ ( $50^{\circ}$ – $230^{\circ}$ ), и парочито, пространих прстенастих

структура (Јарешничка и Чукарско-Чамагијска). Ове последње се у правцу истока падовезују и просторно уклапају у, скапограмски уочену, декакилометарску, у основи депресивну морфоструктуру Црноока. Печат склопу дају руптурни односи у домену Јарешничке морфоструктуре. Они подицају постојање веће форме купног типа, не само унутар прстенасте трасе, него и шире (пречника 5–7 km), па шта указује размештај околних руптура. Без обзира на присуство "мезоценових порфириодних гранита" (ОГК, лист К34–57, 1962–1968), мишљења смо, да је ова структура у целини, више творевина тектоно–метаморфогених (гранито–гнајсна или магматска купола) него тектоно–магматских процеса. Фрагмент концептивне прстенасте структуре на локалитету Чукар–Чамагија (уз границу са Бугарском) има обележја морфоструктуре депресивног типа.

### ЗАКЉУЧАК

Приказани резултати анализе руптурног склопа, без обзира на релативно добро досадашње познавање геолошке грађе рудних поља Благадаг и Караманице, могу да буду од интереса при даљим прогнозно–металогенетским и перспекцијско–истражним проучавањима. У даљим анализама и разрадама фактора структурне контроле, нарочито на нивоу рудних поља, сматрамо да би више пажње требало усмеравати на уочене тектоно–магматогене и тектоно–метаморфогене структуре, које могу да буду од посебног значаја, како за принос и локализацију рудне материје, тако и за утврђивање карактера и типа везе између оруднења и продуката магматизма односно метаморфизма. Решавању ових питања допринело би, током даљих истраживања, комплексно коришћење низа других метода које се данас употребљавају при регионалним и детаљним прогнозно–металогенетским истраживањима рудних поља (геолошких, геофизичких, геохемијских, структурно–формационских, структурно–тектонских анализа и анализа закономерности размештаја оруднења са прогином) и лежишта (детаљно геолошко картирање, морфогенетска анализа, палеовулканска анализа, структурно–петролошка анализа продуката магматизма и метаморфизма и др.).



Геол. ан. Балк. пол. Ann. Geol. Penins. Balk.	61	1	419-433	Београд, децембар 1997 Belgrade, Decembre 1997
--------------------------------------------------	----	---	---------	---------------------------------------------------

UDC 553.07:550.814(497.11-12)

Original scientific paper

## BLAGODAT AND KARAMANICA ORE FIELD STRUCTURES ACCORDING TO REMOTE DETECTION DATA

by

Boško Stajević

The region of southeastern Serbia is a part of the Serbian Macedonian massif, where tectonic, tectono-metamorphogenic and tectono-magmatic processes including mineralization operated through its geologic history and resulted in the formation of a structural-geological and metallogenic entity defined as one ore zone. The faulting pattern of the southern part of the zone, within the limits of Blagodat and Karamanica ore fields, is generally analysed in this article on the basis of remote detection from aerial photographs. Besides traditional linear fractures, a number of ring faults have been discerned, as results of magmatic processes and metamorphism. Because injection fractures and structures, in addition to tectonic ones, have a controlling role in localization of numerous endogenic, and metamorphogenic, mineralizations, the obtained results may have some importance in prediction-study of the local mineralized media, either at the ore zone or polymetalling ore field level.

**Key words:** remote detection, aerocosmic photographs, fractures, ring structures, morpho structures, magmatism, metamorphism, mineralization, metallogeny, prediction, ore zone, ore field, ore deposit.

### INTRODUCTION

Geological ore-exploration projects in Serbia, particularly those in well explored zones or fields, increasingly include a revision of geological information by application of new control elements of significance for prediction and discovery and for ore deposit exploration. One of such important elements is the structural control with metamorphogenic deposits of phosphorus and graphite, and numerous occurrences of Fe in metamorphic rocks of the upper (Vlasina) complex.

Geologic characteristics of this complex have been studied from various aspects by many geologists: Petrologic-petrographic (Ilić, 1939, 1940, 1950, 1954; Pavlović, 1957; Vuković, 1957; etc.), structural-geologic (Dimitrijević and Drakulić, 1958; Dimitrijević, 1959; V. Petković, 1932; K. Petković, 1932, 1937; Marić and Martinović, 1957; Pavlović, 1959, 1962; Petrović, 1965; Marković et al., 1976;

\* University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Džušina 7, Belgrade.

etc.). ore-geologic and geochemical (Milovanović, 1946; Milovanović and Ilić, 1953–54; Stangačilović and Kostić, 1954; Šuvački, 1960; Jović, 1978; Marić, 1970; Smejkal, 1957; Simić and Jović, 1973; Mitrović, 1993; Janković, 1990; Simić, 1993, 1994, 1995, 1996; Omaljev, 1996; etc.). The most complete general presentation of the regional geology is given on the Base Geologic Map: Sheet Vlasotince K34–45 on 1:100000 (Petović et al., 1973) and Sheet Trgovište and Radomir K34–75 on 1:100000 (Babović et al., 1977). Among the publications on morphostructural analysis in regional metallogenetic and neotectonic studies, the mention should be made of a group of authors (Janković et al., 1981) who interpret the region as a post-Cretaceous Neogene arch—"Blagodot-Osogovo ore region" with two internal domal morphostructures which control the regional position of polymetallic and pyrite-polymetallic mineralizations. More recent analyses of the fracturing pattern, based on remote detection, are given by Marković and Komaricki (1987) ("Geologic Map of Surdulica Massif—map of remote detected structures on 1:100000"), and Stanić et al. (1996).

### METHODS USED AND METHODOLOGY

Aerocosmic remote detection method is increasingly and efficiently used in regional and local metallogenetic-prediction analyses, mostly to identify relevant fractures or morphostructural features of significance for further investigation where they are not well distinguished in field. These are primarily deep linear fractures and injection (tectono-magmatic and tectono-metamorphogenic) landforms of arch, dome, diatreme, caldera, cone, polygonal block, depression, bicline or similar type, which, in the present state of our knowledge, are the most important depositional environments for numerous endogenic mineral deposits (Tomson, 1988; Jakovlev, 1982; Jakovlev et al., 1986; etc.). All these are elements of volcanic focal structures and vents in a wide size range (from hecto-decakilometric to kilometre-hectometric), which control the spatial position of metallogenetic units at various levels. Remote detection of features complemented with other methods (geomorphologic, geophysical, geochemical, and the like) is naturally based on aerocosmic images which provide adequate visibility, geologic information and generalization. For the given eastern area of southern Serbia, of the zone/region size, with defined ore fields and mineral bodies, the remote detection of structural pattern is performed through an analysis of stereopairs of aerial photographs at the scale of 1:50000 over a surface area of over 500 km<sup>2</sup>. Statistical diagrams of linear fracture trends are not used additionally to the tectonic map, because, in our opinion, the information on fracture lines on a photogeological map, where surface configuration is articulated, cannot be always contiguous with the actual strike lines of fractures.

### RESULTS

Our photogeological analysis encompassed the area of the earlier defined polymetallic ore fields of Blagodot (180 km<sup>2</sup>) and Karamanica (190 km<sup>2</sup>). Stereopairs were analysed on aerial black-white photographs, photograms of the Military Geographical Institute, at scale 1:50000. The structural pattern could not be completely deciphered and

information integrated due to local cloudiness on some photographs (southern end of Blagodot and western part of Karamanica ore fields). The distinctive mountain relief was photogenic, even under the extensive cover, and gave good stereo-effect. The morphostructural features of the relief were observed, which directly or indirectly indicated the presence of linear or ring faults and other conspicuous structures (cones, necks, depressions, calderas, minor domes) formed by tectonic events, magmatogenic (volcano-plutonic) and metamorphic processes. Their hectometric to kilometric sizes suggest elements of a regional and detailed patterns. The results of interpreted aerial photographs are shown on the sketch map of Blagodot and Karamanica ore fields (Fig. 1). General inferences from an analysis of this graphical presentation are the following.

### Blagodot Ore Field

The comparatively large population of tectonic linear, and tectono-magmatogenic, faults and morphostructural relief features, indicates a complex structure and geology of Blagodot polymetallic ore field. The complementary information from scanogram and aerogram allows division of the region into several structural-geologic entities, viz.: western, within Surdulica massif; central, in the massif's eastern exocontact; and eastern, in the domain of progressively metamorphosed schists. The entities are intersected by a single system of regional faults of subdinaric trend, which are traced in the western and central blocks also by Tertiary volcanites (with hydrothermal metasomatic rocks and mineralizations) and are divided by regional lineaments of submeridian dislocations within the crystalline rock complex. The western segment takes the westernmost margin of the ore field, where it passes into the fracture pattern of the central part of Surdulica granodiorite massif. Kilometric lines of faults are registered along Besna Kobilja-Markova Livada, Kula-Kravarnik-Egzija, Radonjin Rid-Jovanov Rid in subdinaric direction, and Kamik-Cuka-Jovanov Rid, Hajdučki Kamen-Milin Čukar and Mečit-mountain house-Blizanci in submeridian direction. Local faults are also numerous, particularly those of W-E or SW-NE trend. The presence of magmatogenic products is indicated by ring structure fragments. The largest is the one bounding in south the decakilometric collapse calderas of Kriva Feja (Surdulica-Crni Vrh) along the arcuate ridge of Jovanova Čuka-Prosečnica-Musulj-Besna Kobilja-Kamik. Fragments of minor orbital ring forms (off small dome or subvolcanic-volcanic vent type) are located at Ljuta-Bacovište, Kadijina Čuka and mountain house. The pattern of fractures is most complicated in the central structural-geologic block of Blagodot ore field, in the complex of crushed metamorphic rocks intruded by Tertiary volcanite and partly volcanoclastics along the eastern exocontact belt of the granodiorite massif. Fractures are most distinctive around the Blagodot Pb-Zn deposit which is located in a narrow belt of regional subdinaric dislocation fracture traces. Fragments of segmentary kilometric circular-concentric injection tectono-magmatic features are discerned (inferred) among numerous local linear faults around the deposit. Additionally to the notable elements of radial faults, the structure has depressive morphology within the central arcuate fragment (to 1 km in diameter). A similar fracture-morphostructure relationship is deciphered in the northern extension of this structural-geologic block in the localities of Kula and Gornja Ražana. At Kula, the locality of known Pb-Zn

vein mineralisation, a system of conjugate faults of E–W trend is developed among linear faults in  $120^{\circ}$  to  $300^{\circ}$  strike directions filled with Tertiary volcanoclastics with fragments of volcanic edifice structures. A trace of regional fault of  $310^{\circ}$ – $130^{\circ}$  strike with a morphostructurally marked kilometric complex circular–concentric structure of volcanic edifice is notable among the features of the block in Ploče and Gornja Ražana area in the extreme north of the ore field. This tectonomagmatic structure is a combined ring dome–like feature with local orbital structure (some) of vent type. The southern segment of the Blagodot central structural–geologic block extends south of Besna Kobila and the Ljubatska river source area. Built up of Paleozoic granitized rocks (Doganica granitoids), it is distinguished by basically fault systems with Tertiary volcanites in the E–W or SE–NW strike direction and fragments of a kilometric (3–5 km in diameter) depressed ring magmatic–tectonic morphostructure in Gornja Ljubata area. Donja Ljubata and Gornja Ljubata cover a large part of the eastern Blagodot ore field, which extends north and south of the Ljubatska river. Geologic basement consists of graphitic sericite–chlorite and feldspathized schists of "Lisina series" in the north, and micaceous paragneisses of "Jarešnik series" with granitized rocks (Tertiary porphyroid granites on the BGM) in the south. A characteristic of the fault pattern is the development of kilometric dome–depressive ring circular–concentric structures, in addition to fragments of regional subdinaric ( $130^{\circ}$ – $310^{\circ}$ ) and submeridian faults ( $20^{\circ}$ – $200^{\circ}$ ). In view of the structures location (northern area) where Tertiary magmatic intrusions are almost lacking, but in progressively metamorphosed schists, it is provisionally taken that the formation of dome–like morphostructures can be associated with metamorphism or migmatite granite–gneiss domes. Graphite deposits and occurrences are typomorphic of this kind of tectono–metamorphogenic structures. More specifically, similar distinctions are expressed by two ring forms on the area (Gornja Ljubata and Donja Ljubata). Circular–concentric structures south of the Ljubatska river, where associated with granitized schists, would belong to the above mentioned kinds, but where new granitoids (such as those shown on BGM) are intruded, these are tectono–magmatic products. Additional study of the structural relationship would solve certain ambiguities concerning the metallogenic resources.

### **Karamanica Ore Field and Jarešnik**

The study region includes the Pčinja source area and a part of Dukat mountain massif by the Macedonian–Bulgarian state border. It extends southeast of Surdulica massif, south of the Blagodot ore field. The base rocks are micaceous schists of "Jarešnik series" and, only on the western margin, chlorite–muscovite schists of "Stajevac series". A complex of intermediate, dominantly volcanic, rocks with the associated hydrothermal, mainly polymetallic, mineralizations were intruded along regional faults during the Tertiary. Notable are the decakilometric dislocation zone Radovnica–Karamanica which separates metamorphic "Stajevac" rocks and "Jarešnik series", and the Polesje–Gornje and Donje Hamino. The "Jarešnik series" includes granitic rocks (Tertiary on BGM) in the domain of Crnooka, Jarešnik area. Individualized among the fault structures, proved or inferred on aerial photographs, are linear tectonogenic and nonlinear injection faults.

The configuration and distinctness of fractures are consistent with the material make up, time and mechanism of formation. The faults are divided into three structural-geologic entities: Radovnica-Karamanica zone, Prolesje (Gornje Tlamino)-Donje Tlamino zone, and Crnooka and Dukat (Jarešnik series) structures. The former zone is traced by fragments of deep linear faults of  $140^{\circ}$ - $320^{\circ}$  strikes (Prolesje and Popovska river valleys, Karamanica, etc.). There also are kilometric fragments of submeridian traces and local conjugate faults of varied trends and sizes. An intensive volcanic tectono-magmatic activity is indicated by a numerosity of ring features, kilometric to hectokilometric in diameters, which are volcanic edifice structures (volcanic necks, cones, calderas, etc.). A segment a largest of these structures is located in Podvirovi area of Pb-Zn ore occurrences and deposits on Karamanica, identified by two kilometric arcuate fragments along Goleški Čukar-Kamenita-Struga-Golemi Vrh and Vratnica-Padišta-Anište lines. Minor morphostructural features of volcanic neck and cone types worth mentioning are Markovica, Čukar, Kitka, Borovac structures, etc. The Gornje Tlamino-Donje Tlamino structural-geologic zone, marked by extrusions of Tertiary volcanites and volcaniclastics, is another boundary zone within the metamorphic complex. It separates metamorphic rocks of lower ("Stajevac series") and upper ("Jarešnik series") crystallinity degrees. Structurally, the zone is characterized by linear fault systems of E-W trend, fragmented by subdinaric faults, and complex kilometric ring circular-concentric features of volcanic edifices are notable in the volcanoclastics complex of Tlamino. These features surround Gornje Tlamino (Rakitska Mahala, Borovac, Gnojiška Mahala) and Donje Tlamino (Prisojska Mahala, Selo, Manovska Mahala-Rupe). As to the metallogeny of the area, which is a part of Karamanica ore field, Pb-Zn ore bodies occur in the mentioned volcano-genic-tectonic structures. The Crnook-Jarešnik-Dukat structural-geological entity, according to BGM, unifies the complex of Riphean-Cambrian rocks of relatively high metamorphic degree with the occurrences of selective granitization, defined as "Jarešnik series". This medium is distinguished by a very low rate of Tertiary magmatic products, excluding "Crnook granites". The granitic rocks need not necessarily be products of magmatic, but anatexic crystallization-granitization, typical of highly metamorphic rock complexes. The photogeological analysis covered only the southernmost part of the entity, the part continuous with Tlamino zone. This seems to be a separate structural-geological and metallogenetic entity which by no means should be associated, as some geologists do, with the polymetallic ore field of Karamanica (Mitrović, 1993). Additional to the individualized fault pattern elements of traditional subdinaric strike trends ( $140^{\circ}$ - $320^{\circ}$ ), there are distinctive lines in NE-SW ( $50^{\circ}$ - $230^{\circ}$ ) direction and, especially, large ring structures (Jarešnik and Čukar-Čamagija). The latter ones are continuous with, in the east, and fit into the decakilometric (noted on scanogram) basically depressive Crnooka morphostructure. The pattern is distinguished by fractures in Jarešnik morphostructure domain. They indicate the presence of a major dome-like feature, not only within the ring trace, but larger (5-7 km in diameter), suggested by the configuration of surrounding fractures. Leaving apart the presence of "Miocene porphyroid granites" (BGM, Sheet K34-57, 1962-1968), we maintain that this entire structure is rather a product of tectono-metamorphogenic (granite-gneiss or magmatic dome) than of tectono-

–magmatic processes. The concentric–ring fragment in Čukar–Čamagija (by the Bulgarian border) has the character of a depressive morphostructure.

### CONCLUSION

The presented results of the fracture pattern analysis, irrespective of the relatively good knowledge of the Blagodat and Karamanica ore field geology, can be useful in future metallogenetic–prediction and prospecting–exploration studies. In future analyses and studies of the structural control factors, at the ore field level in particular, more consideration should be given to the observed tectono–magmatogenic and tectono–morphogenic structures, which may be important for supply and localization of ore material and for identification and products of magmatism or metamorphism. Use of other methods, practiced at present in regional and detailed metallogenetic–prediction exploration of ore fields (geologic, geophysical, geochemical, structure–formational, structure–tectonic analyses, and analysis of ore distribution and prediction) and deposits (detail geological mapping, morphogenetic analysis, paleovolcanic analysis, structure–petrologic analysis of magmatic and metamorphic products, etc.) would be very helpful.

### ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Babović M., Roglić C., Avramović V. i Marić S. 1977: O GK 1:100.000.- Tumač za list Trgovište sa Radomirom, K34–57, str. 58., SGZ., Beograd.
- Димитријевић М. (=Dimitrijević), 1959: Основне карактеристике ступа Српско–македонске масе. Симпозијум СГД, Београд.
- Илић М. (=Илић), 1940: Међусобни односи еруптива околине Сурдулице.– Записници СГД за 1939., Београд.
- Илић, М. (=Илић), 1950: Металогенеза сурдуличког еруптивног масива.– Записници СГД за 1958., Београд.
- Илић М., 1954: Магнате стене околине Сурдулице и њихов однос према молибдентским лежиштима ове области. Весник завода за геолошка и геопхизичка истраживања НР Србије, 11, Београд.
- Илић М., и Ванђел В. (=Илић and Vandel), 1957: О појави волфрамних минерала у минералним зонама околине Сурдулице. Записници СГД за 1956., Београд.
- Јаковљевић Г. Г., 1982: Геологическе структуре рудних поља и месторођења. МГУ, стр. 271, Москва.
- Јаковљевић Н. А., Сахатов В. З., Скублова Н. В. и Марков К., 1986: Примењене космических снимкова при регионалном металлогенетском анализи складчатих области.– Недра, стр. 160, Ленинград.
- Јанковић С., 1982: Тумаč за металогенетску карту СФРЈ 1:500.000. SGZ, стр. 53, Београд.
- Јанковић С., Петковић М., Томсон И. Н. и Кравцов В. С., 1981: Концентрическе и линијне скриве структуре Србије и Македоније и свјаз с њима неогеновог оруденења., Рудносноге орогенетске структуре. Изд. АН ССРСР, Наука, стр. 7–17, Москва.
- Јанковић С., 1990: Рудна лежишта Србије.– RDF за геолошка истраживања и RGF, стр. 760., Београд.
- Јовић В., 1978: Резултати истраживања у рудном пољу Благодат.– Друго саветовање о Pb/Zn минерализацијама у СФРЈ, ДИТ SRM, стр. 9, Штип.
- Кас Ј. Г., Теветев А. В. и Пољетаев А. И., 1988: Основы космическој геологи. Недра, стр. 235., Москва.
- Кочкин Н. В., А'перович Е. В. and Апол'скиј О. П., 1985: Прогнозно–металлогенетическе истраживања при регионалним геологосемочним рабама. (Методическоје пособие по геологическој сјемке масштаба 1:50.000., Випуск 13.). Недра, стр. 280, Ленинград.

- Marković M. i Komaricki, S., 1977: Studija struktura surduličkog eruptivnog masiva primenom metoda daljinske detekcije. FSD Geoinstituta, Beograd.
- Marković M., Petrović B. i Komaricki S., 1976: Odnos sklopa i tektonskih pokreta u širem području planine Čemernik. VIII kongres geologa Jugoslavije, 3, 111-125., Bled.
- Marić S. i Martinović D., 1957: Geološke prilike između Bosiljgrada i Pčinje. Vesnik zavoda za geološka i geofizička istraživanja NRS, 13, Beograd.
- Marić S., 1970: Metalogenetske karakteristike rudnog polja Karamanice. Vesnik zavoda za geološka i geofizička istraživanja., 27, 9-21, Beograd.
- Milovanović B. i Pić M., 1953-1954: Molibdenska rudišta surduličkog eruptivnog masiva. Zbornik radova RGF, 113-134, Beograd.
- Mitrović M., 1993: Novi pogled na metalogeniju rudnog polja Smook (Karamanica). Vesnik Geozavoda, 45, 201-210, Beograd.
- Петковић В. (=Petković V.), 1932: О сенону у горњем току реке Пчиње и његовом тектонском значењу. Гласник СКА, 150, Beograd.
- Петковић К. (=Petković K.), 1937: Појаве оловних руда у околини села Лука и Караманица северно од Криве Паланке. - Гласник скопског научног друштва, 18/5, Скопље.
- Petrović B., 1965: Struktura kristalastog kompleksa Vlasine na širem području Cme Trave. Doktorska disertacija RGF, Beograd.
- Petrović B., Dimitrijević M. i Karamata S., 1973: Tumač za OGK SFRJ, list Vlasotince K34 45. SGZ, 75 str., Beograd.
- Simić D. i Jović B., 1973: Geološke karakteristike rudnog ležišta olova i cinka Blagodot. Prvo savetovanje o Pb/Zn mineralizacijama u SFRI, Zbornik radova, str. 16, Kosovska Mitrovica.
- Simić M., 1993: Geohemijski oreoli u rudnom polju Mačkaticе. Magistarska teza, RGF, 176 str., Beograd.
- Simić M., 1996: Metalogenija zona Mačkatica Blagodot Karamanica - Doktorska disertacija, 256 str., RGF, Beograd.
- Smejkal S., 1957: Olovo-cinkano ležište Blagodot. Vesnik zavoda za geološka i geofizička istraživanja NRS, 14, 51-67, Beograd.
- Стангачиловић Д. и Костић М. (=Stangačilović and Kostić), 1954: Појава волфрама у сурдуличком масиву. Записници СГД за 1954., Beograd.
- Stanić N., Pavlović R. i Marković M., 1996: Rupturni sklop i tercijarni vulkanizam Vranjskog basena. Radovi Geoinstituta, 32, 189-198, Beograd.
- Suvački V., 1960: Grafitska ležišta Donje Ljubate. Geološki prikaz i procena nalazišta. Fond biroa za geološko-tehnološka istraživanja, Vranje.
- Tomson I.N., 1988: Metallogenija rudnih rajonov. Nedra, 215 str., Moskva.
- Volchanskaja I. K., Kochneva N. T. i Sapoznikova, E. N., 1975: Morfostrukturnyj analiz pri geologicheskikh i metallogenicheskikh issledovaniyah. IGEM, AN SSSR, Nauka, 152 p., Moskva.