

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	59	2	369-383	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
--	----	---	---------	---

УДК 553.91:552.4:551.73(497.13)

Оригинални научни рад

ГРАФИТОИДИ ИЗ МЕТАМОРФИТА ДОЊЕ ЉУБАТЕ (БОСИЉГРАД)

од

Марка Ерцеговца* и Рудолфа Томанеца*

У раду се приказују први резултати испитивања микропетрографског састава и оптичких особина графитоида из метаморфних творевина Доње Љубате (Босиљград). Добијени су такви подаци који омогућавају ближу петрографску класификацију графитских шкриљаца са овог простора. Извршена је такође и корелација између степена термичких промена различитих облика угљеника (графитизација) и степена метаморфизма фације зелених шкриљаца. Методама флотацијске концентрације испитана је могућност добијања квалитетног концентрата "графита".

Кључне речи: графитоиди, метаморфити, палеозоик, Доња Љубата.

Истраживања појава "графита" из налазишта Доње Љубате, западно од Босиљграда, како геолошка тако и технолошка, обављана су у више наврата протеклих деценија (Јеленковић, 1955/56 и др.). Појаве "графита" везане су за графитне шкриљце Доње Љубате који свакако представљају најстарије стене ове области.

Метаморфне творевине у Божићкој и Љуботској реци (област Босиљграда) са графитичним шкриљцима припадају ордовицијуму. Према П. Павловићу (1975) "... ордовицијумске творевине у доњим токовима Божићке и Љубатске реке представљају пекадашње геосинклиналне седimente и вулканите, регионално метаморфисане у условима фације зелених шкриљаца". По истом аутору "... преко доњо-ордовицијумских фосилоносних и рудоносних кварцита конкордантно леже разне врсте филита и графитских шкриљаца са прослојцима".

Графитоносна рудна тела имају жични или сочиваст облик, садрже од 3–20% С, а јављају се у виду једне зоне, правца пружања СИ–ЈЗ, дуге око 3 km и широке око 500 m. У лежишту су издвојена три типа графитног орудњења:

- испуњене пукотине (жични тип);
- графитни гнајс (компактни тип) и
- графит пегматитске фације, код којих се разликују два подтипа: изразито пегматитски и леопардни.

* Рударско-геолошки факултет, Бушина 7, Београд.

Минералозна испитивања рудних препарата из Доње Љубате показују доста разноврстан минерални састав са променљивим садржајем силикатних минерала, затим рутила, илменита, сфена, магнетита и лимонита-хидрохематита. Учешће "графита" је значајно. Он се јавља у криптокристаластом и аморфном стању. Графит показује карактеристичне облике повијања, деформације и транслагације (Јововић, 1989). Исти аутор указује да је силикатна основа најзаступљенија и да се одликују средњим до високим кристалицитетом. Наведени минерални састав указује на једну нискотемпературну фазију титано-магнетитског карактера.

УЗОРЦИ И МЕТОДОЛОГИЈА ИСПИТИВАЊА

Микропетрографска и оптичка испитивања извршена су на узорцима разних графитских шкриљаца (три композита зависно од типа оруднења) и на концентрацима "графита" (два композита). У табели 1. приказано је порекло узорака и састав композита из лежишта Доње Љубате¹. Анализирани узорци из лежишта графита Доње Љубате најчешће се налазе у асоцијацији са амфиболитима.

Табела 1. Ознаке и порекло узорака из лежишта Доње Љубате.

Table 1. Numbers and origins of samples from Donja Ljubata deposit.

Узорак Sample	Ознака пробе Sample number	Тип оруднења Type of mineralization
Узорак 1 (композит II) 1 (composition II)	Бразда 1-4, поткоп 14 furrows 1-4, adit 14 Бразда 5, поткоп 11 furrow 5, adit 11 Бразда 6-11, поткоп 14 furrows 6-11, adit 14	Леопардни (Падиште) leopard (Padište)
Узорак 2 (композит III) 2 (composition III)	Бразда 1-3, поткоп 7 furrows 1-3, adit 7 Бразда 9, поткоп 11 furrow 9, adit 11	Импрегнациони (Букова падина) impregnated (Bukova padina)
Узорак 3 (композит I) 3 (composition I)	Бразда 1-8, поткоп 11 furrows 1-8, adit 11	Жични (Доња Љубата) veined (Donja Ljubata)
Узорак 4 (концентрат) 4 (concentrate)	Композит I, К/5 composition I, K/5	Жични veined
Узорак 5 (концентрат) 5 (concentrate)	Композит I, II, III, К/11 compositions I, II, III, K/11	Жични, леопардни, импрегнациони veined, leopard, impregnated

На свим узорцима рађена је и квалитативно-квантитативна анализа "графитоида" и минералних материја у стени и концентрацима. Одређивање степена (случајне и максималне) рефлексије извршено је према стандардима ИССР (1963; 1971).

Поступком флотацијске концентрације вршена су више пута испитивања могућности добијања квалитетних концентрација. Испитивано је ослобађање графитне

¹ Узорак за анализу доставио је М. Крагуљац, дипл. инж. геол., на чему се захваљујемо.

материје од пратећих минерала на сваком од три издвојена типа минерализације, као и на репрезентативном композитном узорку руде. С обзиром на квалитет равних узорака добијани су концентрати до 60% С. При примењеним условима концентрације графитоида добијен је сиромашаи концентрат графита због његове ситнозрне минерализације, порозности и нижег садржаја графита у руди.

РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА

Микроскопска испитивања графитоидних шкриљаца

Према ранијим микроскопским испитивањима, "графитне" сировине (Јововић М., 1988 и Јововић Н., 1989) у односу на тип минерализације, издвојена су четири типа орудњења:

1. Жични тип (испуњене пукотине), графитоиди се јављају у облику агрегата састављених од ситних иглица (љуспица "графита") често цементованих аморфним угљеником.

2. Графит пегматитске фације са два подтипа—изразито пегматитски и леопардни тип, манифестује се као нагомилања микрокрстала у амфиболима дајући утисак структуре леопардног типа.

3. Контактна орудњена графитски гнајс—компактни или импрегнациони тип "графитоиди" импрегнишу јаловину у облику млазева или је локално груписан у финим појединачним иглицама, док су крупне форме ређа појава ("графит" овога типа праћен је пиритом, пирхотином, халкопиритом, пентлацитом као и амфиболима, кварцом, фелдспатом, рутилом и сфеном).

4. Графитни шкриљци; минерализација се јавља у ситним зрима оријентисаним паралелно у зоне и млазеве или жилице које се смењују.

Посматрани као сировина за добијање графита, "графитни" шкриљци Доње Љубате, представљају ситнокристални (делом крипнокристални и аморфни) графит, који је срастао са кварцом, фелдспатом, ређе са амфиболом или је диспергован у њима. Често је груписан у агрегате који дају руди типичну леопардну структуру или су љуспице (облика плочица и листића) оријентисане у паралелне зоне и млазеве односно жилице када је реч о импрегнацијама и жиличастој структури. Јавља се и у коломорфним структурама кад је реч о аморфном угљенику или крипнокристалном облику.

Најраспрострањенији вид јављања графита су тапкоплочасти агрегати који се манифестују на пресецима као игличаста оријентисана нагомилања (просечна димензија индивидуалног кристала $2 \times 15 \mu\text{m}$). Нагомилања ових микрокрстала цементованих силикатима или аморфним угљеником дају утисак "леопард структуре", или ако су нагомилања оријентисана дуж зона, трака жилица утисак је "жичне структуре". Крипнокристални агрегати графита су ређи и везани су за импрегнациони а ређе жични тип, премда се срећу и у другим типовима.

Минерализација графита је праћена и другим минералима, чији је редослед по заступљености следећи: рутил, илменит, пирит, хидрохематит, лимонит, сфен, халкопирит, пентлацит, а запажен је и магнетит као и извесни виши оксиди мангана.

Микроскопска анализа графитонда

Резултати квалитативно–квантитативне анализе издвојених типова "графита" приказани су у табели 2. Према микропетрографским (степен хомогености, облик и микротекстуре) и оптичким особинама (степен рефлексије у одбијеној светлости) издвојене су одређене категорије зрна које су послужиле за утврђивање сличности и разлика између узорака "графита" из различитих типова орудњења, као и добијених концентрата. Основне категорије зрна су:

Табела 2. Компонентни састав испитиваних узорака.

Table 2. Componental composition of analysed samples.

Категорије зрна у зап. % Grain class in Vol. %	Узорак 1 Sample 1	Узорак 2 Sample 2	Узорак 3 Sample 3	Узорак 4 Sample 4	Узорак 5 Sample 5
Сива порозна (Аморфни тип) Gray porous (amorphous type)	40.0	56.5	36.0	40.0	48.0
Светла хомогена (Слојевит–приткаст) Light homogeneous (layered-columnar)	11.0	15.5	6.0	52.0	41.0
Бела нехомогена (Кристални тип) White non-homogep. (crystal type)	8.0	7.5	5.5	8.0	11.0
Минералне материје Mineral material	41.0	20.5	52.5	–	–
	композит II леопардни Comp. II leopard	композит III импрегнациони Comp. III impregn.	композит I жични Comp. I veined	концентрат I K/5 Conc. I K/5	концентрат I, II, III K/11 Conc. I, II, III, K/11

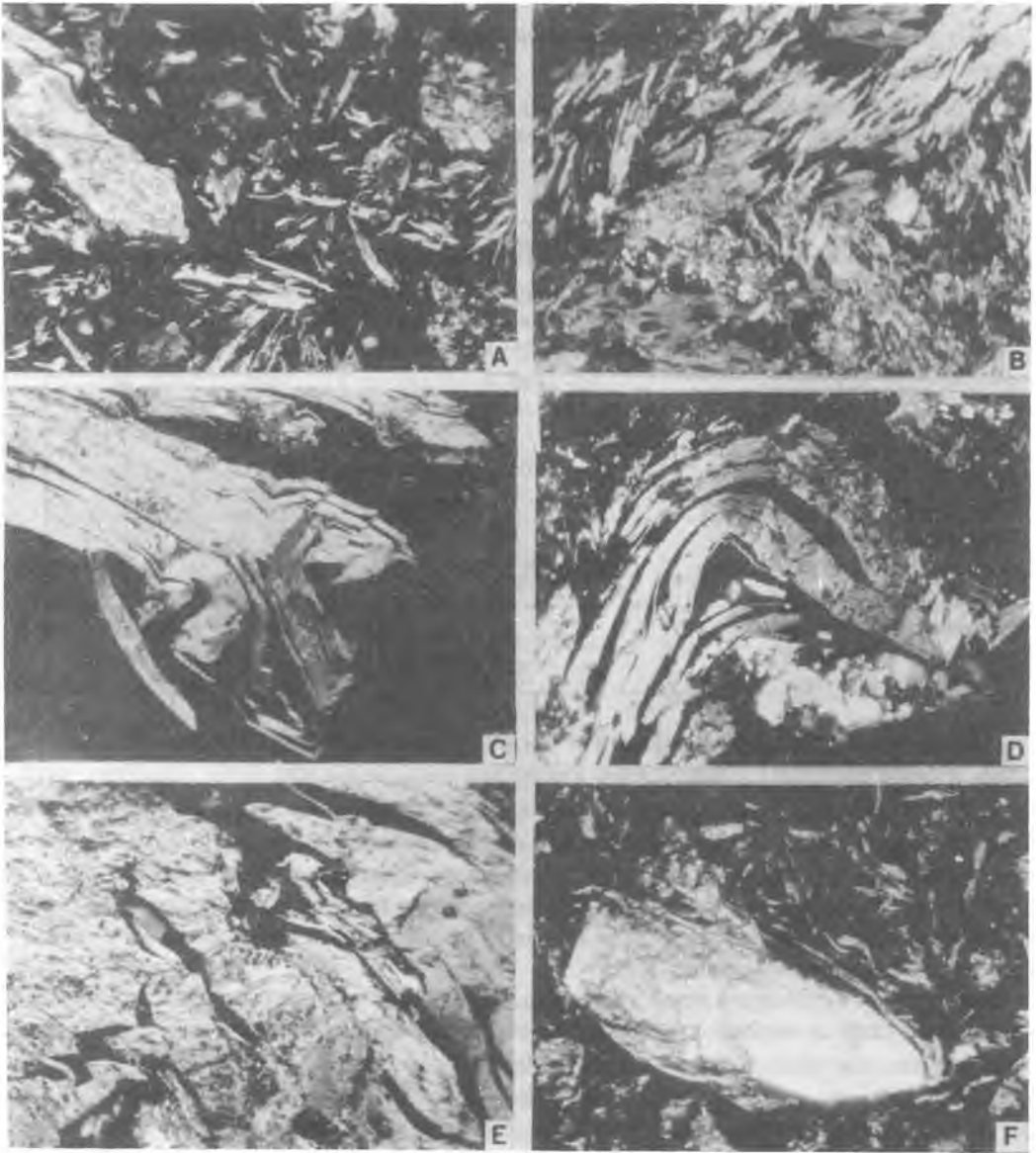
Напомена: процентуално учешће категорије зрна у концентрату је исказано без минералних материја.

Note: The rate of grain class in concentrate is not including mineral material.

– сива порозна изотропна зрна променљивог облика и величине (аморфни тип)
(Сл. 1А и Б);

– хомогена изотропна зрна светле боје најчешће издуженог облика (љускаст и приткаст тип) (Сл. 1Б, Ц и Д);

– хомогена анизотропна зрна са високим рељефом беле боје (кристални тип)
(Сл. 1Ф).



Сл. 1. Карактеристичан изглед графитоида из Доње Љубате.

Одбијена светлост, повећање 250 x, уљна имерзија (фото М. Ерцеговац). А. Порозна изотропна зрна (лево); Б. Порозна и приткаста зрна; Ц и Д. Слојевита-ламинарна зрна са јаком анизотропијом; Е. Прелаз хомогене порозне ка слојевитим текстурама; Ф. Кристални облик (бело, графит).

Fig. 1. Typical view of grafitoids from Donja Ljubata.

Reflected light, magn. x 250, oil immersion (photo by M. Ercegovac). A. Porous isotropic grains (left); B. Porous and columnar grains; C. and D. Layered-laminar grains with high anisotropy; E. Transition of homogeneous porous to layer structure; F. Crystal form (white, graphite).

Оптичке особине издвојених категорија (за приткаст и кристални тип) приказане су у табели 3.

Табела 3. Рефлексиона мерења графитоида и графита
Table 3. Measured reflections of graphitoids and graphites

Категорија зрна Grain class	Р е ф л е к с и ј а % R _r R e f l e c t a n c e % R _r			
	min-max	\bar{X}	SD	N
Узорак (Sample) 1.				
а. приткаста (Columnar)	1,80 – 4,00	2,68	+0,41	48
б. кристална (Crystal)	6,00 – 12,40	8,64	+1,84	20
Узорак (Sample) 2.				
а. приткаста (Columnar)	2,10 – 4,00	2,92	+0,46	69
б. кристална (Crystal)	5,00 – 13,50	10,74	+2,43	29
Узорак (Sample) 3.				
а. приткаста (Columnar)	1,50 – 4,00	2,43	+2,43	82
б. кристална (Crystal)	5,00 – 11,40	8,05	+1,67	11
Узорак (Sample) 4.				
а. приткаста (Columnar)	2,00 – 4,20	3,47	+1,20	166
б. кристална (Crystal)	5,00 – 13,40	8,97	+2,10	50
Узорак (Sample) 5.				
а. приткаста (Columnar)	2,00 – 4,15	3,35	+0,62	73
б. кристална (Crystal)	5,00 – 14,00	9,05	+2,83	25

Из табеле 2 уочава се различито процентуално учешће појединих категорија зрна. У свим узорцима је висок удео аморфних зрна, мање или више порозних, што се може сматрати доста неповољним (посебно узорак 2 са око 56,5% ових зрна). Ова категорија зрна се такође налази у концентратима (узорци 4 и 5) у високим процентима (40%, односно 48% без минералних материја). Треба посебно нагласити да се ова категорија зрна одликује различитим обликом и димензијама, као и различитим порозитетом. Ова зрна показују честе појаве агломерације и прелазе ка категорији више хомогених зрна.

Издвојена категорија хомогених зрна, најчешће издуженог–приткастог, а ређе слојевитог типа са израженом ламинацијом, присутна су у узорцима 1, 2 и 3 у релативно ниским процентима (6–15%). Међутим, у концентратима (узорци 4 и 5; табела 2) ова зрна су присутна са 52%, односно 40%. У поређењу са узорцима 1, 2 и 3 у овом случају је дошло до њихове значајније концентрације у узорцима 4 и 5.

Посебно издвојена категорија са високом рефлексијом и кристалним обликом заступљена је у ниским процентима (свега 5,5–11%) и то равномерно у свим узорцима. Ова група зрна према примењеној методологији испитивања припада графитима. Ако се резултати анализе поменутих категорија зрна посматрају у односу на тип орудњења може се закључити да међу њима не постоје битне разлике, што је од посебног значаја за тумачење њихове генезе.

На основу лабораторијских испитивања репрезентативног композитног узорка сачињеног од једнаких делова три поменутих типа (жични, леопардни, импрегнациони), као и композитних узорака сваког од три издвојена типа орудњења, са садр-

жајем угљеника у руди од 3 до 12,57% (максимално око 20%), добијени су концентрати, флотирањем, са око 40%, максимално 60% С.

У концентрату "графита" преовлађује микрокристаласти љуспасти графит, цементован аморфним угљеником (графитоидом).

Ниски квалитет и искоришћење у процесу концентрације свакако се може објаснити и појавом аморфног графита који слабије флотира (руда овога састава би требало да има 70–80% С) за разлику од кристаластог графита који лако флотира и даје концентрате са високим садржајима С (до 60% С).

Рефлексија графитоида

У циљу одређивања степена термичке промене (метаморфизма) графитоида у испитиваним узорцима извршена су мерења рефлексије издвојених категорија зрна према стандардима ИССР–а. Добијени резултати мерења приказани су у табели 3 и на слици 2 (рефлектограми).

У узорцима 1, 2 и 3 хомогена и делимично порозна зрна (са зрнастом микро-текстуром) имају рефлексију која се креће између 1,80 до 4,00% R; средње вредности се крећу између 2,43–2,92% R. Ови подаци указују да се ради о категорији зрна која се одликују сличним вредностима рефлексије што значи да се у погледу генезе испитивани узорци међусобно не разликују.

Категорија зрна са кристалним обликом (најчешће величине испод 0,3 mm) има рефлексију која се креће између 5,0–14,0% R_{max}, што значи да припадају графитима. Они се одликују различитим интензитетом графитизације. Средњи степен рефлексије ове категорије зрна има 9,0% R.

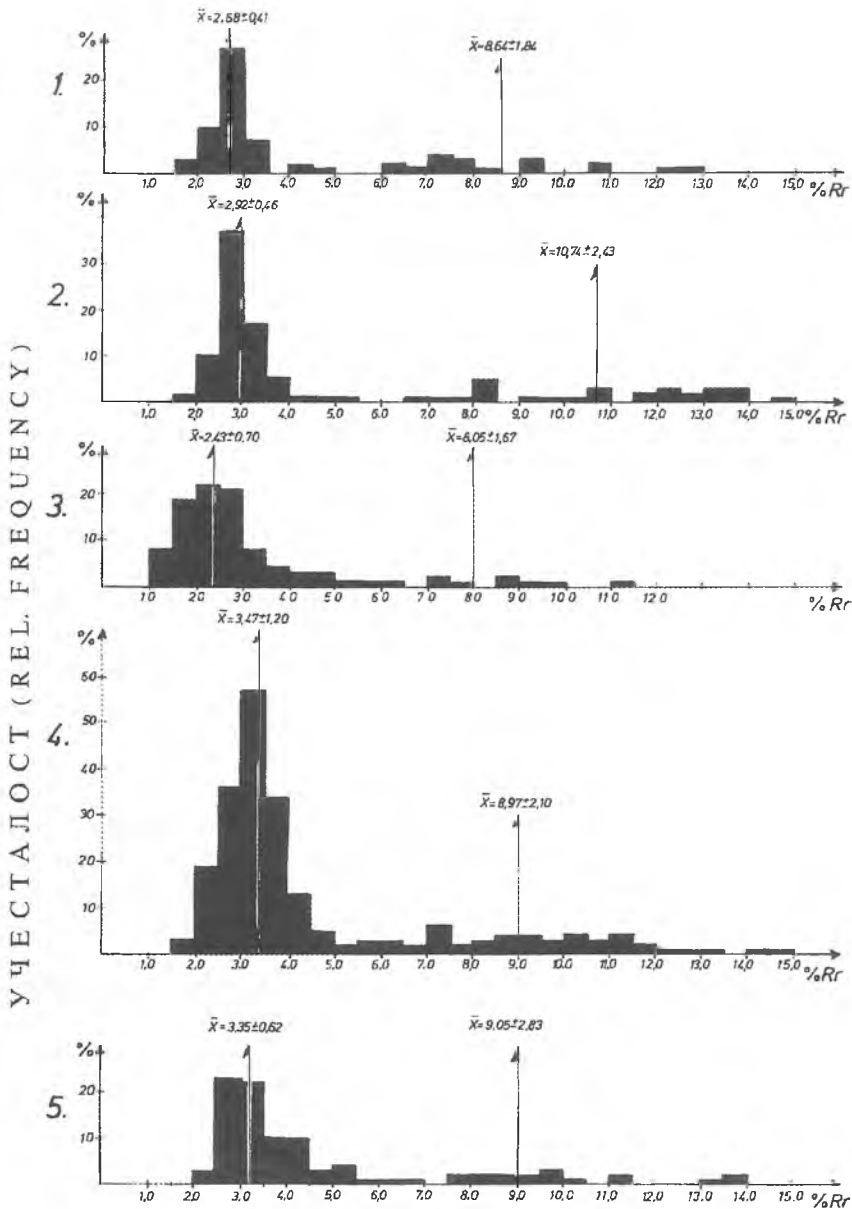
Подаци рефлектометријских испитивања показују да се графитски шкриљци различитог типа орудњења са лежишта Доња Љубата одликују степеном метаморфизма који се креће у широком границама, почев од антрацита до графита. Степен метаморфизма различитих облика угљеника корелисан је са метаморфним фацијама у којима се налази. Издвајају се следеће популације према максималној рефлексији:

- семиантрацит и антрацит (1,80–4,00% R), карактеристични за стадијум метагенезе и
- метаантрацити, семиграфити и графити (4,0–14,00% R) из стадијума аихи-метаморфизма, а делимично и из епи зоне са температуром преко 350 °С.

ЗАКЉУЧАК

Резултати испитивања графитичних шкриљаца из лежишта Доња Љубата (различити типови орудњења) и концентрата "графита" могу се резимирати:

Извршена је ближа идентификација графитоида према морфографским и оптичким особинама. Они одговарају различитим стадијумима метаморфизма угљеника (семиантрацити, антрацити, метаантрацити, семиграфити и графити). Резултати ових испитивања разрешавају нека основна питања везана за номенклатуру графитичних шкриљаца Доње Љубате.



Сл. 2. Рефлексиона мерења графитоида и графита из метаморфита Доње Љубате: 1. Леопардни тип стена; 2. Импрегнациони тип стене; 3. Жични тип стене; 4. Концентрат I/K-5; 5. Концентрати I, II, III/K-11.

Fig. 2. Reflection measurements of graphitoids and graphites from Donja Ljubata metamorphic rocks: 1. Leopard type rock; 2. Impregnated type rock; 3. Veined type rock; 4. Concentrate I/K-5; 5. Concentrates I, II, III/K-11.

Састав и квалитет добијених концентрата "графита" у потпуности потврђују резултате ових испитивања. Издвојене категорије зрна се одликују различитим флотацијским особинама у процесу концентрације.

Рефлектометријска испитивања дају прве, мада непотпуне податке о степену графитизације што је посебно значајно за одређивање степена метаморфизма фације зелених шкриљаца и интензитета регионалног метаморфизма.

Претходна микроскопска и оптичка испитивања прелазних ступњева у измени угљеника из метаморфита Доње Љубате треба допунити и другим аналитичким методама (електронска микроскопија ТЕМ, рендгенска анализа, инфрацрвена спектроскопија и диференцијално-термичка анализа) како би се прецизно утврдило присуство правог графита. Применом ових метода разрешио би се и проблем дефинисања појединих стадијума и граница термичке еволуције угљеника у испитиваним седиментима.

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	59	2	369-383	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
--	----	---	---------	---

UDC 553.91:552.4:551.73(497.13)

Original scientific paper

GRAPHITOIDS FROM METAMORPHIC ROCKS OF DONJA LJUBATA (BOSILJGRAD)

by

Marko Ercegovac* and Rudolf Tomanec*

Initial analytical results of micropetrographic composition and optical properties of graphitoids from metamorphic rocks of Donja Ljubata (Bosiljgrad) are presented in this paper. The obtained data permit a precise petrographic classification of graphitic schists from the study area. Also a correlation is given between the degrees of thermal changes in various carbon forms (graphitization) and metamorphism of green schist facies. The method of concentration by flotation is used to test the production of a grade "graphite" concentrate.

Key words: Graphitoids, metamorphic rocks, Paleozoic, Donja Ljubata.

Investigations of "graphite" occurrence in Donja Ljubata deposit, west of Bosiljgrad, both geological and technological, were repeatedly carried out in the last few decades (Jelenković J., 1955/56; etc.). "Graphite" occurrences are associated with graphitic schists of Donja Ljubata which are certainly the oldest rocks in the area.

Metamorphic rocks in the Božička Reka and the Ljubotska Reka (Bosiljgrad district) including graphitic schists are Ordovician. P. Pavlović (1975) writes "...Ordovician formations in lower courses of the Božička Reka and the Ljubotska Reka are sediments of a pre-existing geosyncline and volcanic rocks, regionally metamorphosed under the green schist facies conditions". The same author states "...Lower Ordovician fossiliferous and ore-bearing quartzites are conformably overlain with various intercalated phyllites and graphitic schists".

Graphite-bearing ore bodies have the form of veins or lenses that contain 3–20% C, and occur as a single zone extending NE–SW, about 3 km long and about 300 m wide. Three types of graphite mineralization are distinguished in the deposit, viz.:

- filling fractures (veined type),

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

- graphitic gneiss (compact type), and
- graphite of pegmatitic facies, in two subtypes: clearly pegmatitic and leopard.

Mineralogical study of polished sections from Donja Ljubata has shown quite diverse mineral composition and varying proportions of silicate minerals: rutile, ilmenite, sphene, magnetite, and limonite–hydrohematite. The rate of "graphite" is significant. It occurs as cryptocrystalline or amorphous. Graphite exhibits typical bending deformation or translation forms (Jovović, 1989). The same author indicates at the highest proportion of silicate matrix characterized by high crystallinity. The mentioned mineral composition suggests a low–temperature facies of titano–magnetite variety.

SAMPLES AND METHOD OF STUDY

Micropetrographic and optical studies were made on samples of different graphitic schists (three compositions depending on mineralization type) and on "graphite" concentrates (two compositions). Table 1 gives origin of samples and composition of composites from Donja Ljubata deposit¹. The analysed samples from Donja Ljubata graphite deposit were mostly associated with amphibolite.

Each sample was studied in the qualitative–quantitative analysis of "graphitoid" and mineral material in rock and concentrate. Determination of the carbonification degree of graphitoids were carried out according to ICCP (1963, 1971) and ISO (7404) standards respectively. Liberation of graphitic material from accessory minerals was tested on each of the three separated types of mineralization, and on the representative composite sample of ore. Relative to the quality of mine samples, up to 60% C concentrates were obtained. The reasons for low grade and recovery from the concentration process certainly were partly the very fine–grained mineralization of graphitoids, thus porosity, and partly the low rate of graphite.

TEST RESULTS

Microscopy of graphitoid Schists

On the basis of earlier microscopy of "graphite" ores (Jovović M., 1988; Jovović N., 1989), four types of mineralization were separated:

1. Veined (filling fractures) graphitoid occurs in aggregates of small needles ("graphite" flakes) often cemented with amorphous carbon.

2. Graphite of pegmatitic facies in two subtypes: pegmatitic and leopard, manifested as microcrystal aggregates in amphibole giving the impression of leopard texture.

3. Contact mineralized graphitic gneiss – compact or impregnated "graphitoids" in gangue in the form of streaks or locally aggregated in fine individual needles, whereas large forms are rarer (accessory to "graphite" of this type are pyrite, pirrhotite, pentlandite, and amphibole, quartz, feldspar, rutile, and sphene).

¹ Our gratitude is due to M. Kraguljac, geologist, who delivered the samples for analysis.

4. Graphitic schist mineralization occurs in small grains oriented parallel in zones and streaks or succession of veins.

Considered as a raw material for production of graphite, "graphitic" schists of Donja Ljubata contain microcrystalline (partly cryptocrystalline or amorphous) graphite, intimately associated with quartz, feldspar, subordinately amphibole or dispersed in them. It often forms aggregates giving the ore a typical leopard texture, or scale (tabular and flaky) oriented in parallel zones and streaks or veins where impregnated and of veined texture, or colloform where amorphous carbon or cryptocrystalline.

The commonest mode of graphite occurrence are laminar aggregates which show in sections as acicular oriented aggregates (average size of individual crystal $2 \times 15 \mu\text{m}$). Aggregates of these microcrystals cemented by silicates or amorphous carbon look like "leopard textures", or, if oriented along zones, bands, veins, like "veined texture". Cryptocrystalline aggregates of graphite are fewer and are associated with impregnated rather than veined type, although found in other types.

Accessory to graphite mineralization are other minerals in the descending order of occurrence: rutile, ilmenite, pyrite, hydrohematite, limonite, sphene, chalcopyrite, pentlandite, and magnetite and certain higher manganese oxides.

Microscopy of Graphitoids

The qualitative-quantitative analysis of separated "graphite" types are summarized in Tab. 2. Grains are classified by micropetrographic (homogeneity, shape, microtexture) and optical (reflectance in reflected light) properties which were used in comparing the similarities and differences between "graphite" samples from various mineralization types or obtained concentrates. Principal grain classes are the following:

- gray porous isotropic grains variable in shape and size (amorphous type) (Fig. 1A and 1B);
- light-coloured homogeneous isotropic grains, mostly long-shaped (foliated or columnar) (Fig. 1A, 1C and 1D); and
- white homogeneous anisotropic grains with high relief (crystal type) (Fig. 1F).

Optical properties of these classes (for columnar and crystal types) are given in Tab. 3.

Table 2. indicates various rates of individual grain classes. The proportion of amorphous grains, more or less porous, is high in each sample, which may be considered unfavourable (particularly sample 2 with about 56.6% of these grains). This grain class is also high (40%, or 48% without mineral material) in concentrates (samples 4 and 5). Note that grains of this class typically differ in shape and size, and in porosity. These grains often occur in aggregates and pass to the class of more homogeneous grains.

The separated class of homogeneous grains, mostly long-columnar, and subordinately layered in marked laminae, was found in samples 1, 2 and 3 in relatively low percents (6-15 %). However, concentrates (samples 4 and 5, tab. 2) contain these grains by 52% and 40%, respectively. Compared with samples 1, 2 and 3, these grains are significantly concentrated in samples 4 and 5.

A class separated for high reflection and crystal form is contained in low percentages (only 5.5% to 11%) uniformly in all samples. This group of grains is classified by the applied method as graphite. Were the analytical results of the mineralization, no significant difference between them could be inferred, which is particularly important for interpretation of their genesis.

On the basis of laboratory tests with a representative composite sample of the three mentioned types (veined, leopard, impregnated) in equal proportions, and with composite sample of the three mineralization types, with the ore-contained carbon from 3% to 12,57% (maximum about 20%), concentrates produced by flotation had about 40% C, or maximum 60% C.

Prevailing in "graphite" concentrate by concentration can certainly be explained by the occurrence of amorphous graphite, which was less flotable (or of this composition should contain 70–80% C) than crystalline graphite which is better flotated and gives concentrates with high C concentration (up to 60% C).

Reflectance of Graphitoid

For determination of the degree of graphitoid thermal adjustment (metamorphism) in the studied samples, reflectance were measured of the separated grain classes by ICCP standards. The obtained results are given in Tab. 3 and Fig. 2 (reflectograms).

Homogeneous and partly porous grains (granular microtexture) in samples 1, 2 and 3 have reflectance varying from 1.80 to 4.00% R_r; or mean values between 2.43 and 2.92% R_r. These data indicate a grain class characterized by similar reflectance values, that is genetic homogeneity of the examined samples.

Grain class of crystal forms (mainly less than 0.3 mm in size) has reflectance between 5.0 and 14.0% R_{max}, or belonging to graphites of different graphitization intensity. The mean degree of reflectance for this grain class is 9.0% R_r.

Reflectometric data indicate that graphitic schists of different mineralization type from Donja Ljubata deposit are metamorphosed to various grades within a wide range, from anthracite to graphite. The metamorphic grade of various carbon forms is correlative with metamorphic facies containing it. Divided by maximum reflectance, the following populations are distinguished:

- semianthracite and anthracite (1.80–4.00% R), typical of the metagenetic stage, and
- meta-anthracite, semigraphite, and graphite (4.0–14.0% R) from antimetamorphic stage and partly from epi-zone with temperatures over 350°C.

CONCLUSION

Analytical data for graphitic schists from Donja Ljubata deposit (various mineralization types) and "graphite" concentrates can be summarized as follows:

Graphitoids were classified on morphographic and optical properties as rocks at vari-

ous stages of carbon metamorphism (semi-anthracite, anthracite, meta-anthracite, meta-graphite, and graphite). The obtained data solve some of problems of Donja Ljubata graphitic schists nomenclature.

Both composition and quality of the obtained "graphite" concentrate fully verify the test results. The separated grain classes differ in flotability for concentrate production.

Reflectance measurements gave initial, though incomplete, data on graphitization intensity, which is important in establishing the metamorphic grade of green schist facies and the intensity of regional metamorphism.

The preliminary microscopic and optical studies of transitional stages in carbon transformations from Donja Ljubata metamorphic rocks should be complemented by other analytical methods (electronic microscopy, TEM; X-ray analysis; infra-red spectroscopy; and differential-thermal analysis) for accurate identification of true graphite. The use of these methods will solve the problem of defining individual stages and boundaries on the thermal carbon evolution in studied sediments.

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- International Committee for Coal Petrology (ICCP): International handbook of coal petrology. Centre nat.-Rech. Sci. (Paris), 2nd ed. 1963, 165 p; 1st suppl. 1971, 400 p.
- Jelenković J., 1955/1956: Grafitska ležišta Donje Ljubate. Geološki prikaz i procena rezervi.- Fond stručne dokumentacije Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NR Srbije, Beograd.
- Jovović M., 1988: Izveštaj o rudnomikroskopskom ispitivanju uzoraka iz raskopa lokalnosti Donja Ljubata.- Fond stručne dokumentacije Geozavoda, Beograd.
- Jovović N., 1989: Izveštaj o mineraloškom sastavu rudnih preparata lokalnosti Donja Ljubata.- Fond stručne dokumentacije Geozavoda, Beograd.
- Павловић П. (=Pavlović), 1975: Ордовицијум Југоисточне Србије. У: К. Петковић (ур.) Геологија Србије II, прекамбријум и палеозоик, Институт за рег. геол. и пал., 50-52, Београд.