

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Geol. Penins. Balk.	63 (1999)	211–235	Београд, децембар 2000 Belgrade, Decembre 2000
---	-----------	---------	---

UDC (УДК) 550.4:553.31+553.481(497.11–15)

Original scientific paper
Оригинални научни рад

GEOLOGICAL AND GENERAL GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF Fe–Ni OOLITIC ORES OF THE MOKRA GORA BASIN (WESTERN SERBIA)

by

Adam Dangić*, Vladimir Fotić** and Jelena Dangić***

The Mokra Gora basin (30 km²) in the Western Serbia is one of most important among numerous localities with Upper Cretaceous sedimentary iron–nickel ores appearing in central and southern parts of the Balkan Peninsula. The ore formation makes a basal part of a thick (>900 m) Upper Cretaceous marly–limestones complex and consists of iron–rich (partly with oolites) conglomerates, conglomeratic sandstones, sandstones, and marls, locally with chert intercalations. The ore formation transgressively covers serpentinites of the Zlatibor massif and as the basin is a pseudoanticline with the axis orientation 234/14, it outcrops at northern, eastern, and southern borders of the basin. It is characterized by an average thickness of 19.4 m and Fe–chlorite, hematite, magnetite, goethite, and some pyrite, marcasite, bravoite, and millerite. In a relic of lateritic weathering crust of ultramafites underlying the ore formation, hematite, talc, kochubeite, and Ni–serpentine appear. Average contents (in %) of Fe, Ni, Co, Cr, and SiO₂ are 21.7, 0.7, 0.02, and 1.22, respectively.

Key words: oolitic ores, Upper Cretaceous, iron–nickel, lateritized serpentinites, geochemical features, mineralogy, chemical composition, trace elements, Mokra Gora, Western Serbia.

Басен Мокре Горе (30 km²) у западној Србији је један од најзначајних међу бројним локалитетима са горњокредним седиментним рудама никла и гвожђа које се појављују у централним и јужним деловима Балканског полуострва. Рудна формација представља базалну серију дебелог (>900 m) лапоровито–кречњачког комплекса горње креде и састоји се од гвожђевитих (делом са оолитима) конгломерата, конгломератичних пешчара и лапораца, локално са интеркалацијама рожнаца. Рудна формација лежи трансгресивно преко серпентинита Златиборског масива и, како басен има облик псеудоантиклинале са осом оријентације 234/14, образује изданке на северном, истоциом, и јужном ободу басена. Средње је дебљине 19.4 m, а у минералиом саставу у заступљени Fe–хлорит, хематит, магнетит, гетит и нешто пирита, маркасита, бравоита и милерита. У реликту латеритске коре распадања ултрамафита сачуване испод рудне формације заступљени су хематит, талк, кочубејит и Ni–серпентинит. Средњи састав руде је (у %): Fe 21.7, Ni 0.7, Co 0.02, Cr 1.22 и SiO₂ 34.17.

Кључне речи: оолитске руде, горња креда, гвожђе, никал, латеритисани серпентинити, геохемијске карактеристике, минералологија, хемијски састав, микроелементи. Мокра Гора, западна Србија.

* Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Djušina 7, 11000 Belgrade.

** Geozavod, Institute for metals, Karadjordjeva 48, 11000 Belgrade.

*** Faculty of Physical Chemistry, University of Belgrade, Studentski trg 16, 11000 Belgrade.

INTRODUCTION

Sedimentary iron–nickel ores of Cretaceous age occur at numerous localities in the central and south–eastern parts of the Balkan Peninsula. They associate with ophiolites in a zone extending over Bosnia, Serbia, Macedonia, and Greece, in which during the Lower Cretaceous lateritic weathering crusts on larger ultramafic massifs had existed. As the Upper Cretaceous transgression had strongly eroded these ultramafic weathering crusts, their relics were only exclusively preserved, on a few places. However, at numerous localities a quick deposition of eroded material on/near ultramafic massifs resulted in formation of Fe–Ni ores which are mostly oolitic. Occurrences and deposits of these ores are known at several places in the Internal Dinarides, from the Ozren massif in Bosnia, at the North–West (Dangić & Djordjević, 1979), over the Zlatibor massif in Eastern Bosnia–Western Serbia (Milovanović, 1933), and further to the South, towards Macedonia (Janković, 1990). At the Zlatibor massif, these ores occur in the Mokra Gora–Rzav basin, where two large deposits: Mokra Gora, in Serbia (Fotić, 1961; 1966), and Vardište, in Bosnia (Djurić, 1958) were detailly investigated. Some relics of lateritic weathering crusts on ultramafites were discovered in the Mokra Gora (Dangić & Fotić, 1981) as well as in the Vardište (Maksimović & Antić, 1962).

The Mokra Gora deposit have been intense explored in a period 1958–1961 by deep drilling, surface and underground mining works, and mineralogical, chemical and technological studies (Fotić, 1961; 1966).

This paper presents some unpublished data of studies in the period 1958–1961 as well as data of new investigations.

GENERAL GEOLOGY

The Mokra Gora basin appears to be a part of a complex Upper Cretaceous sedimentary Beli Rzav–Mokra Gora basin which is located on the NW slopes of the Zlatibor Mt. The Beli Rzav–Mokra Gora basin is crossed by the state border between Serbia and Bosnia (Republika Srpska), but its larger part (70 km²) is in Serbia. It belongs to the Internal Dinaride geotectonic unit and was formed on the NW parts of the large Zlatibor ultramafic massif of the Internal Dinaride ophiolite zone. Its iron–nickel oolitic ores originated from lateritic weathering crusts on serpentinized peridotites and were formed as basal sediments of the Upper Cretaceous basin. As in the Upper Cretaceous transgression lateritic crusts were strongly eroded, these ores cover serpentinites/ weathered serpentinites. However, the relics of lateritic crust were found at two localities, one in Bosnia (Maksimović & Antić, 1962) and one in Serbia (Dangić & Fotić, 1981). The ore horizon is covered by a thick marly–limestone complex. The Beli Rzav–Mokra Gora basin structurally consists of two units, western and eastern ones. The western, larger, unit, the Rzav basin, is elongated in NNW–SSE direction, and is as long as 25 km. In its southern part, in Bosnia, there is the iron–nickel ore deposit D. Vardište. The eastern unit, the Mokra Gora basin, is in Serbia, and it was formed as a golf with an WSW–ENE elongation. Oolitic ores were detailly investigated in the Mokra Gora basin, (Fotić, 1961; 1966), and D. Vardište (Djurić, 1958).

The Mokra Gora basin covers an area of 30 km². Structurally, it is a pseudosyncline with the axis orientation 234/14 (Fotič, 1961; 1966), which is at the north, east and south surrounded by serpentinized peridotites and at the west continues to the Beli Rzav basin (Fig. 1). It is deformed by a few longitudinal faults. The Mokra Gora Upper Cretaceous sedimentary complex consists of 3 units: (1) a basal series or ore productive horizon, (2) a thick marly complex, and (3) limestone horizons (the uppermost part of the complex).

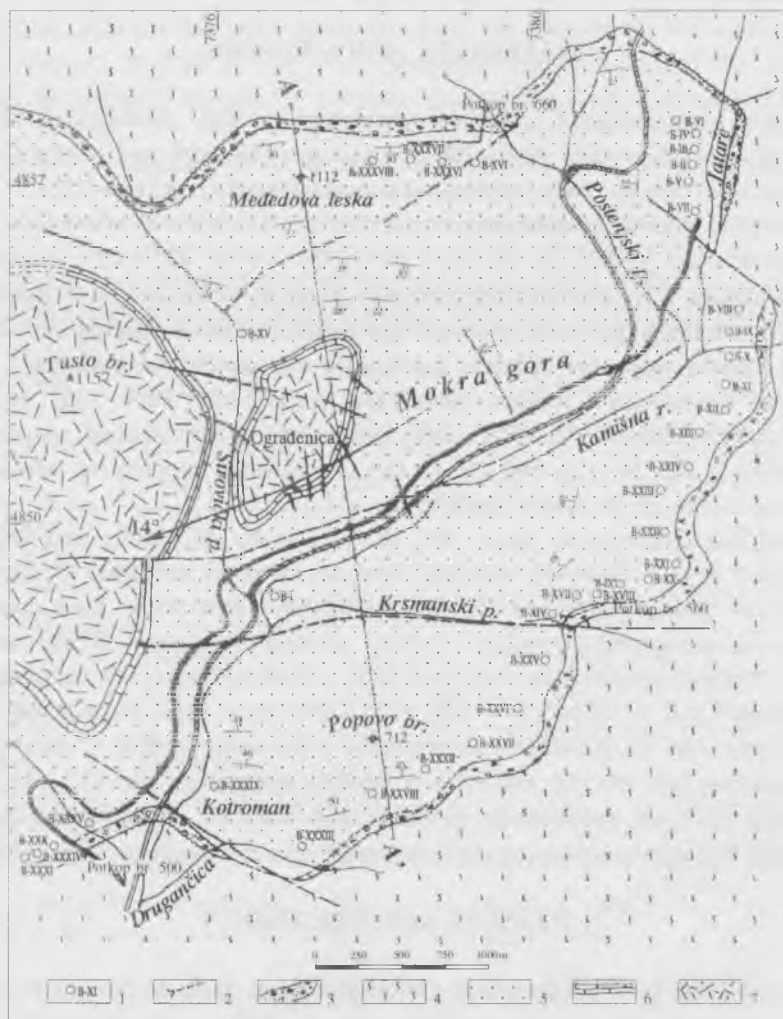


Fig. 1. Geological map of the Mokra Gora Basin (Fotič, 1966). 1. borehole; 2. exploratory adits; 3. ore-bearing horizon; 4. serpentinite; 5-7. Upper Cretaceous: 5. marls; 6. tabular limestones; 7. massive limestones.

Сл. 1. Геолошка карта басена Мокре Горе (Fotič, 1966). 1. бушотиња; 2. истражни поткоп; 3. рудни хоризонт; 4. серпентинит; 5-7. горња креда: 5. лапорци; 6. плочасти кречњаци; 7. масивни кречњаци.

The basal series with iron-nickel ores covers serpentinized or partly weathered peridotites. Its outcrops are well exposed at several places at northern, eastern and southern

borders of the basin. It was detailly investigated by several tranches, in outcropping zones, as well as by underground works and boreholes in shallow parts and by few boreholes in the deeper parts of the basin (Fotić, 1961; 1966). In the studied parts of the basin, the ore formation is in average as thick as 20.4 m, its average iron and nickel contents are 21.20 and 0.70%, respectively. It was found that iron in ore is mostly in the form of silicates (chlorite and chamosite) – in average 70%, only 30% of iron is in the oxide and hydroxide forms. The related ore reserves are a thousand million tons.

MATERIALS AND METHODS

Geological, mineralogical, chemical–technological, and geochemical studies were carried out at selected profiles of Fe–Ni ores and their footwall and hanging wall formations, in their outcropping zones, underground mining works, and boreholes.

Mineralogical studies included microscopic thin–section and ore–microscopic, DTA–TG, and X–ray diffraction (XRD). In the XRD study, the powder diffraction patterns were obtained on a Philips PW–1050/25 diffractometer equipped with a $\text{CuK}\alpha$ radiation, and a graphite monochromator (random, oriented and treated samples) investigations. Bulk samples as well as oolite separates and clay fractions of the samples were analyzed.

Chemical–technological studies (carried out in the period 1958–1961, at the Faculty of Technology, Belgrade) included generally determination (by classical wet chemistry) of four ore metals – Fe, Ni, Co, and Cr. In the few selected profiles, in addition to these elements As, Ti, and Si were also analyzed.

Later studies (carried out after 1981, at the Faculty of Mining and Geology, Belgrade) included silicate chemical analyses, analyses of main and trace elements, and determinations of "abrasive" pH and Eh. Silicate analyses were made by a combination of atomic absorption spectrophotometry (AAS), spectrophotometric (SPH), and classical methods of chemical analysis. In AAS and SPH a *Perkin–Elmer 373* equipment (and the flame technique) and a "Zeiss" UV VIS SPECORD were used, respectively. Trace elements were analyzed by emission spectrography (ES), using a EST–1 spectrograph with crossed dispersion and the d.c. arc in a controlled atmosphere ($\text{Ar}+\text{O}_2$). By the ES, 30 elements were analyzed and average precision and accuracy, controlled by internal standards (Ge and Pd) and geochemical (international) referent standards were $\pm 12\%$.

RESULTS AND DISCUSSION

The Fe–Ni ore–bearing horizon in the Mokra Gora basin as being the basal part of the Upper Cretaceous sedimentary complex transgressively covers ultramafic basement in all parts of the basin. As the basin sediments form a pseudosyncline with the axis of orientation 234/14, the ore horizon has the outcrops at northern, eastern, and southern borders of the basin (Fig. 1). Its continuity towards western, deep, parts of the basin is discovered by boreholes (in the borehole B–I, it is as deep as about 700 m). The Upper Cretaceous transgression associated with a strong erosion of laterite weathering crusts on ultramafites caused that the basement of ore formation mostly made serpentinites and serpentinized peridotites. However, in the southern border of the basin a local occurrence

of lateritized serpentinite, as a relic of the lateritic weathering crust was discovered (Dangić & Fotić, 1981).

The ore formation is characterized by some variations of both thickness and composition in the basin. It was detailedly explored in outcropping zones and shallow parts of the basin, at 6 localities (Fotić, 1961; 1966). The average thickness of the formation varies in a range of 10.0–23.0 m, and their mean is 18.1 ± 5.5 m (Table 1). In the deep part of the basin, in the borehole B-I, the ore formation is as thick as 26.8 m. The mean thickness of the formation for the basin calculated from the average for 6 localities and thickness in the borehole B-I is 19.4 ± 6.0 m. Generally, the thickness of the formation increases from the southern borders of the basin towards the north and north-west.

Table 1. Average thickness of ore formation and contents of ore metals and silica and ore metal ratios in diverse parts of the basin¹.

Табела 1. Средње дебљине рудне формације и садржаји метала и силицијс и количници рудних метала у разним деловима басена¹.

Part of basin (део басена)	Locality (локалитет)	d ¹ (m)	Fe %	Ni %	Co %	Cr %	SiO ₂ %	Ni/Fe	Co/Ni
1. northern border (северни обод)	Postenje	20.4	23.00	0.72	0.032	1.18	33.00	0.031	0.044
2. north-eastern bord (североисточни обод)	Jatare	24.0	17.70	0.64	0.021	1.30	36.20	0.036	0.033
3. eastern border (источни обод)	Mikovići	23.7	21.80	0.70	0.019	1.09	35.50	0.032	0.027
4. eastern border (источни обод)	Presedo	14.5	22.00	0.70	0.012	1.26	–	0.032	0.017
5. south-eastern bord (југоисточни обод)	Krsmanski potok	16.3	21.61	0.72	0.030	1.15	33.67	0.033	0.042
6. southern border (јужни обод)	Kotroman	10.0	22.50	0.75	0.025	0.97	32.50	0.033	0.033
average 1–6 (средње 1–6)		18.1 ± 5.5	21.43 ± 1.90	0.71 ± 0.04	0.023 ± 0.007	1.16 ± 0.12	34.17 ± 1.60	0.033 ± 0.002	0.030 ± 0.009
7. central part (централи део)	borehole B-I (бушотина B-I)	26.8	23.25	0.65	0.014	1.57	–	0.028	0.022
average 1–7 (средње 1–7)		19.4 ± 6.0	21.70 ± 1.86	0.70 ± 0.04	0.022 ± 0.008	1.22 ± 0.19		0.032 ± 0.002	0.029 ± 0.009

¹ 1–6: average for the locality, after Fotić (1966); 7– from this paper, Table 5.

¹ 1–6: средње за локалитет, према Fotić (1966); 7– из овог рада, табела 5.

The ore formation generally consists of: basal conglomerates commonly with iron oolites, which upwards transit into iron-bearing conglomeratic sandstones, sandstones, sandy marls, and marls, and it is covered by common marls and marly limestones. Locally one or more chart banks may appear in any part of the profile.

The ore formation in the northern outcropping zone is of the following structure and composition: (1) lowermost part, 12 m thick – green conglomerates with iron oolites, (2) ore sandstones, 4 m thick, (3) a chart bank, and than sandstones and marls. Near similar profiles were found by the underground works and boreholes.

At the northeastern borders of the basin, in the outcropping zone as long as 900 m the ore-formation consists of green and brown rather coarse-grain conglomerates with iron oolites and carbonates.

At the eastern border of the basin (from the Kamišna River to the Krsmanski Potok), the ore-bearing horizon is of a variable thickness, more red in color, covers brownish-green serpentinitized peridotites, and is covered by the gray marls. It is also characterized by wide variations in metal contents.

At the southeastern and southern borders of the basin (from Krsmanski Potok to Kotroman and the Beli Rzav River), outcrops of the ore-bearing horizon are partly covered. At the Beli Rzav bank, a profile of the ore-bearing zone is characterized by the following composition (from the footwall altered serpentinites upsteers): (1) oolitic conglomerate, 2 m thick, (2) a chart bank, (3) alternation of iron-rich conglomerates, marls, and sandstones. Its hanging wall is made of foliated marls and marly, locally silicified, limestones. Similar profile is in the shallow part of the basin, in the borehole B-XXX (Table 2). Here, serpentinites are covered by 2 m thick layer of iron-poor conglomerates, than comes a 0.8 m thick chart bank, 4 m thick iron conglomerates, again a chart bank (2.7 m thick), iron-rich conglomerates and a complex of iron-rich sandstones and marls. The ore formation is as thick as 29.0 m and is covered by the iron-poor sandstone and black marls.

In the central parts of the basin, in the borehole B-I, the ore formation is as thick as 26.8 m (corrected value), but it might be something thicker, as the borehole didn't reach serpentinites (Table 3). Its footwall part is made of iron-rich serpentinite (1.2 m thick), than oolitic iron-rich sandstones with charts (4.8 m), oolites (1.7 m), and upsteers appear alternations of iron-rich sandstones and iron-rich marls. The ore formation is covered by marls and limestones.

The ore formation is characterized by iron silicate, oxide, oxyhydroxide, sulfide and carbonate minerals (Fotić, 1966). Iron silicates are green or brownish-green to brown (when oxidized) chlorites. They are abundant constituents of the matrix and oolites in the conglomerates and conglomeratic sandstones (Fig. 2a). At the Kotroman locality, oolites contain up to 22–37% of chlorite and chamosite.

Iron oxides are generally low abundant in conglomerates and sandstones except in their oolite-rich parts. Hematite commonly appears in oolites (as abundant as 20–25%) but locally may be present in matrix forming tabular crystals or as finely dispersed with silica (quartz) around oolites. Magnetite appears either in oolites (forming magnetite oolites) or less frequently as relics in pseudomorphic hematite. Chromite is of clastic origin and appears as an accessory mineral, in both matrix and oolites (Fig. 2b). Iron oxyhydroxide (goethite) appears mostly in oolites (as abundant as up to 20%) but may be also present in the matrix. Sulfides are relative widespread but appear in small amounts. They are represented by pyrite, marcasite, bravoite, and millerite and mostly form fine-grain aggregates in fissures and cracks of oolites. Pyrite and bravoite form zoned alternating aggregates. Millerite needle-like crystals (up to 0.7 mm long, 0.003–0.09 mm thick) form radial aggregates. Carbonates occur as neo-minerals in the matrix of green sandstones as zoned crystals containing a clayey core.

Table 2. Profile of ore-bearing horizon and contents of main metals in the central part of the basin, at a depth of 33.00–79.00 m (borehole B–XXX).

Табела 2. Профил рудног хоризонта и садржај главних метала у јужном делу басена, на дубини 33.00–79.00 m (бушотина В–XXX).

Material (Материјал)	Дебљина (m) Thickness (m)	Fe %	Ni %	Co %	Cr %
black marl (црни лапорац)	5.30				
iron-rich marl with sandstone interbeds (гвожђевити лапорац са прослојцима пепћара)	3.90				
iron-rich sandstone, partly conglomeratic (гвожђевити пепћар, делом конгломератичан)	9.80 /3.30 /3.30 /3.20	21.23 23.60 25.36	0.74 0.76 0.74	0.029 0.028 0.030	0.82 0.81 1.10
iron-rich marl (гвожђевити лапорац)	1.50	25.28	0.84	0.041	1.27
iron-rich conglomerate, partly oolitic (гвожђевити конгломерат, делом оолитичан)	5.10	20.80	0.73	0.360	0.40
sandstone (пепћар)	0.70				
iron-rich sandstone with oolites (гвожђевити пепћар са оолитима)	2.50	28.30	1.01	0.068	1.83
iron-rich conglomerate (гвожђевити конгломерат)	2.50 /1.30 /1.20	27.10 24.25	0.77 0.68	0.030 0.015	0.36 1.40
chart (рожнац)	2.70				
iron-rich conglomerate (гвожђевити конгломерат)	4.00 /2.00 /2.00	29.38 26.10	0.60 0.70	0.240 0.034	0.74 0.33
chart (рожнац)	0.80				
conglomerate (конгломерат)	2.00				
serpentinite (серпентинит)	5.20				

Table 3. Profile of ore-bearing horizon and contents of main metals in the central part of the basin, borehole B–I (depth 694.5–723.6 m).

Табела 3. Профил рудног хоризонта и садржај главних метала у централном делу басена, бушотина В–I (дубина 694.5–723.6 m)

Material (Материјал)	Дебљина (m) Thickness (m)	Fe %	Ni %	Co %	Cr %
marls and limestones (лапорци и кречњаци)	0.80	16.25	0.46	0.040	1.29
iron-rich sandstone (гвожђевити пепћар)	4.10 /1.00 /3.10	18.19 22.44	0.57 0.43	0.020 0.000	1.31 1.85
iron-rich marls with sandstone and oolite interbeds (гвожђевити лапорац са просл. пепћара и оолита)	2.50	19.00	0.51	0.000	2.45
iron-rich sandstone with marl interbeds (гвожђевити пепћар са прослојцима лапораца)	6.25	23.01	0.60	0.000	1.64
iron-rich marls (гвожђевити лапорац)	4.90	21.50	0.78	0.040	0.83
iron-rich sandstone (гвожђевити пепћар)	1.20	22.40	0.63	0.010	0.83
iron-rich marl (гвожђевити лапорац)	2.50	23.79	0.83	0.050	1.29
oolites (оолити)	1.70	24.73	0.46	0.020	1.44
iron-rich oolitic sandstone with charts (гвожђевити оолитични пепћар са рожањима)	4.80	28.42	0.78	0.000	2.09
serpentine sandstone (серпентински пепћар)	1.20	24.38	0.82	0.020	1.27
mean (ponderized) ¹ (средње – пондерисано)	29.15	23.25	0.65	0.014	1.57

¹ excluded uppermost 0.8 m. (са искључењем највиших 0.8 m)

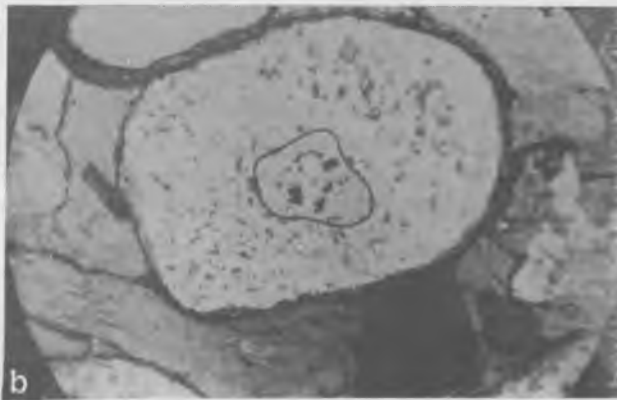
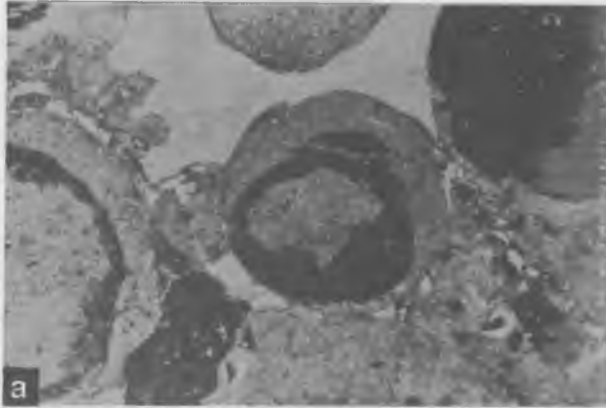


Fig. 2. Microphotographs of oolitic ore (from Fotić, 1966). a: Chamosite (gray) with concentric circles of an opaque mineral (black) in carbonate cement (white). Transmitted light, parallel nicols, $\times 40$. b: Oolite of hematite with a chromite grain in the core – red oolitic sandstone, borehole B–I. Reflected light, air, parallel nicols, $\times 200$.

Сл. 2. Микрофотографије оолитске руде (из Fotić, 1966). а: Шамозит (сиво) са концентричним круговима опаког минерала (црно) у карбонатном цементу (бело). Пропуштено светло, паралелни николи, $\times 40$, б: Хематитски оолит са хромитским зрном у језгру – црвени оолитски пешчар, бушотина В–I. Одбијено светло, у ваздуху, паралелни николи, $\times 200$.

Relics of the lateritic weathering crusts were discovered and studied at the southern border of the basin, at few localities by Dangić & Fotić (1981). The relics underlie the oolitic ores, are up to a few meters thick and represent lower parts of weathering profiles. The best preserved profile, at Kotroman, is characterized by the following zonation: (1) serpentinite, (2) a lower weathering zone – partly weathered serpentinite, and (3) an upper weathering zone – lateritized serpentinite (Table 4). The lower weathering zone is characterized by serpentinite, talc, and presence of quartz and magnesite. It is divided into two sub-zones: (a) lower one – Ni-serpentinite, and (b) upper one – Ni-serpentinite-talc. The upper weathering zone is characterized by hematite, chlorite, talc, and presence of serpentinite and some goethite. It is divided also into two sub-zones: (a) lower one – hematite-talc-chlorite, and (b) upper one – hematite-chlorite-talc. The XRD studies showed that chlorite is of Cr(Ni)-type, i.e. kotchubeite. Serpentinite is Ni-rich in both weathering zones and talc is Ni-rich only in the lower zone.

Table 4. Profile and composition of a relic of the lateritic weathering crust on ultramafites at Kotroman (after Dangić & Fotić (1981).

Табела 4. Профил и састав реликта латеритске коре распадања ултрамафита код Котромана (према Dangić & Fotić (1981).

Zones and sub-zones (Зоне и субзоне)	Minerals ¹ (Минерали) ¹	Ni %	Cr %	Mn %	F _{laterit/serp} ²		
					Ni	Cr	Mn
Lateritized serpentinite (Латеритисани серпентинит)							
a) hematite-chlorite-talc (хематитско-хлоритско-талкна)	He, Ch, Tc, Se, (Goe)	>1	>1	0.30	>4.5	>10	3.75
b) hematite-talc-chlorite (хематитско-талк-хлоритска)							
Partly weathered serpentinite (Делом распаднути серпентинит)	Se, Tc, (Q, Mg)						
a) Ni-serpentinite-talc (Ni-серпентинитско-талкна)							
Serpentinite (Серпентинит)	Se	0.22	0.10	0.08	1	1	1

¹ He= hematite (хематит); Ch= chlorite (хлорит); Tc= talc (талк); Se= serpentinite (серпентинит); Goe= goethite (гетит); Q= quartz (кварц); Mg= magnesite (магнетит).

² The ratio: *lateritized serpentinite/serpentinite* (Количник: *латеритиски серпентинит/серпентинит*)

The ore formation is characterized by a significant variation of chemical composition and contents of ore metals in vertical profiles. However, there are relative small variations in average contents of ore metals – iron, nickel, cobalt, and chromium, as well as of silica in diverse parts of the basin (Table 1).

The average contents of iron and nickel of six detailedly explored localities vary in ranges 17.70–23.00 and 0.64–0.75%, respectively, and their mean values are 21.43% Fe and 0.71% Ni. If one includes into the calculation also the average contents in the deep part of the basin, in the borehole B–I, the mean values for the basin are 21.70% Fe and 0.70% Ni. The lowest average contents of both iron and nickel are in the northeastern part of the basin. The deep part of the basin is characterized by a low nickel content and the highest iron content. The highest and lowest Ni/Fe ratios – 0.036 and 0.028 are in the northwestern and deep parts of the basin, in other parts are in the range 0.0031–0.032.

The average contents of cobalt of six detailedly explored localities vary in the range 0.12–0.32% and the related mean content is 0.023%. If one includes into the calculation the average content in the deep part of the basin, in the borehole B–I, the mean value for the basin is 0.022%. The lowest and highest values are in the eastern and northern parts of the basin. The deep part of the basin is characterized by a low Co content. The highest Co/Ni ratios – 0.044–0.042, are the northern and southeastern parts, and the lowest one – 0.017, is in the southeastern parts of the basin. In other parts Co/Ni ratio is in a range 0.027–0.033. The average Co/Ni ratio is 0.029.

Table 5. Variation of metal content (in %) in the footwall serpentinites and oolitic ores in the exploration tunnel H–500, Kotroman.

Табела 5. Варијације садржаја метала (у %) у подини рудног хоризонта и рудном хоризонту у истражном поткопу H–500, Котроман.

Material (Материјал)	Sample – No. and position ¹ (Проба – бр. и положај)	Fe	Ni	Cr	Mn	As	Ti	Si
Serpentinite (Серпентинит)	1/ – (4.8–6.0) m	5.24	0.17	0.27	0.13	0.008	tr.	17.28
–//–	2/ – (3.6–4.8) m	6.51	0.40	0.28	0.11	0.010	0.009	15.34
–//–	3/ – (2.4–3.6) m	4.11	0.26	0.18	0.11	0.008	tr.	27.53
–//–	4/ – (1.2–2.4) m	6.16	0.09	0.31	0.43	0.008	tr.	16.28
–//–	5/ – (0–1.2) m	7.08	0.53	0.35	0.50	0.012	0.009	19.03
Fe–Ni ore (руда)*	6/ 0–1.2 m	31.10	1.65	1.28	0.38	0.031	0.026	11.86
–//–	7/ 1.2–2.4 m	36.32	1.40	1.68	0.55	0.028	0.043	9.19
Fe–Ni ore (руда)	8/ 2.4–3.6 m	18.90	0.76	1.65	0.30	0.018	0.026	15.55
–//–	9/ 3.6–4.8 m	18.48	0.90	1.38	0.28	0.020	0.032	17.57
–//–	10/ 4.8–6.0 m	24.96	1.18	1.40	0.30	0.020	0.040	16.40
–//–	11/ 6.9–7.2 m	24.97	0.84	0.87	0.28	0.020	0.050	15.15
–//–	12/ 7.2–8.4 m	21.16	0.70	0.85	0.34	0.015	0.020	16.74
–//–	13/ 8.4–9.6 m	26.38	0.69	1.21	0.56	0.015	0.020	14.01
–//–	14/ 9.6–10.8 m	15.02	0.59	1.26	0.20	0.010	0.050	19.95
–//–	15/ 10.8–12.0 m	26.52	0.71	0.82	0.40	0.020	tr.	14.33

¹ Position of the sample from the contact *weathered serpeninite–ore horizon*; sampling slits (120×10×5 cm) were oriented crosswise to the stratification. (Положај пробе од контакта *распаданути серпентинит–рудни хоризонт*; опробавање изведено браздом (120×10×5 cm) постављеном управно на слојевитост)

* Weathering crust redeposited without longer transport (Кора распадања преталожена без већег транспорта)

The average contents of chromium of six detailedly explored localities are characterized by the range 0.97–1.30% and a mean of 1.16%. With inclusion of the deep part of the basin (the borehole B–I), the range and mean values for the basin are 0.97–1.57 and 1.22%, respectively. The lowest and highest values are in the deep and the eastern parts of the basin. The range of contents for other parts of the basin are 1.09–1.30%.

The average contents of silica of five detailedly explored localities (data for the eastern part of the basin omitted) vary in a rather small range: 32.50–36.20%, and the mean value is 34.17±1.60%. The lowest and highest values are in southern and north–eastern parts of the basin. Generally, there is a negative correlation between the iron and the silica contents.

Distribution of ore metals and some associated elements in the vertical profiles of the ore formation are studied in profiles represented three diverse parts of the basin: shallow one, deep one, and border one (near-outcropping zone) (Tables 2, 3, and 5). The study includes Fe, Ni, and Cr in all profiles, Co in the first two ones, and Mn, As, Ti, and Si in the third one.

In the profile representing shallow parts of the basin (Table 2), the ore formation is as thick as 28.80 m. In its structure two chart beds appear: lower one, 2.7 m thick, and upper one, 0.7 m thick. According the composition, the profile may be divided into two horizons, by the 0.7 m thick chart bed. The lower horizon, 11.7 m thick, mostly consists of conglomerates and sandstones containing oolites, and include the lower chart bed. The upper horizon, 16.4 m thick, mostly consists of sandstones and marls. In the consideration of the ore metal distribution, both chart beds are excluded.

The **iron** contents in the profile vary in the range 20.80–29.39% and generally are higher in the lower horizon (24.25–29.38% compared with 20.80–25–36% in the upper horizon). **Nickel** contents vary in the profile in the range 0.60–1.01% and are highest in the central parts of the profile.

Cobalt is characterized by a very wide range of variation: 0.015–0.360%. However, only two segments of the profile, each situated in the lower parts of both horizons are very rich in cobalt. In the other segments of the profile, cobalt contents are in the range 0.015–0.068%. **Chromium** contents are in the range 0.36–1.83%. Chromium shows a less regular distribution in the profile, but mostly is concentrated in the central parts of profile.

In the profile representing deep parts of the basin (Table 3), the ore formation is as thick as 29.15 m. According to composition of materials, the profile may be divided into three horizons. The lower horizon, 7.7 m thick, mostly consisted of sandstones containing oolites. The middle and upper horizons, as thick as 14.85 m and 6.6 m, respectively, are mostly consisted of sandstones and marls.

The **iron** contents vary in the profile in the range 18.19–28.42 % and generally are higher in the lower horizon and decrease upstairs. Their ranges for the lower, middle and upper horizons are (in %): 24.38–28.42, 21.50–23.79, and 18.19–22.44%. **Nickel** contents vary in the profile in the range of 0.43–0.83% and are generally higher in the lower and middle horizons – in the upper horizon their range is 0.43–0.57%.

Cobalt shows low contents and a small range of their variation: 0.00–0.05%. It is generally concentrated in the lower parts of the profile. **Chromium** is very abundant in the profile – its contents are in the range 0.83–2.45%. Generally, it is more concentrated in lower and upper horizons, which are characterized by the ranges 1.27–2.09 and 1.31–2.45%, respectively. Contents in the middle horizon are in the range 0.83–1.64%.

In the profile representing the border parts of the basin or near-to-outcropping zone of the ore formation (Table 6), the study of element distribution includes Fe, Ni, Cr, Mn, As, Ti, and Si. Distribution of these elements was studied in both the ore formation and serpentinites being its basement. Here will be at first considered distribution of studied elements in the ore formation. The ore formation is as thick as 12.00 m and may be divided into 3 horizons. The lower horizon, 2.4 m thick, is a high-iron, with oolites, and the middle one, 2.4 m thick, is more silicic. The upper horizon, 7.2 m thick consists mostly of sandstones and marls, partly containing oolites.

The **iron** contents in the ore profile vary in the range 15.02–36.32% and are highest in the lower horizon: 31.10–36.32%. In the middle horizon they are as low as 18.48–18.90 and in the upper horizon are (with exclusion of one value related to more silicic material) 21.60–26.52%. The **nickel** distribution in the ore profile is characterized by the trends similar to iron. Its contents in the profile vary in the range 0.59–1.65%, and appear to be highest in the lower horizon (1.28–1.68%). In the middle and upper horizons, contents are in ranges 0.76–0.90 and 0.59–1.18%, respectively.

The **chromium** contents in the ore profile are in the range 0.82–1.68%. Chromium shows generally higher and similar concentrations in the lower and middle horizons – 1.28–1.68 and 1.38–1.65%, respectively, than in the upper horizon (contents are in the range 0.82–1.40%).

The **manganese** contents in the ore profile are in the range of 0.20–0.56%. Manganese is generally more concentrated in the lower and upper horizons (0.38–0.55 and 0.20–0.56%, respectively) than in the middle one (0.28–0.30%). It shows lower contents in more silicious segments of the profile.

The **arsenic** contents in the ore profile are in the range 0.010–0.031%. They are highest in the lower part of the profile and generally increase upwards. In the lower horizon, arsenic contents are 0.28–0.31%, and in the middle and upper ones are in the ranges 0.018–0.020 and 0.010–0.020%, respectively.

The **titanium** contents in the ore profile vary in the range from traces–0.50%. They are less regularly distributed in the profile but are generally somewhat higher, and more variable, in the upper horizon (tr.–0.50%). Contents in the lower and middle horizons are in the ranges 0.26–0.40 and 0.26–0.32%, respectively.

The **silicon** contents in the ore profile vary in a wide range: 9.19–19.95%, as expected due to presence of some of more siliceous (chart) beds in the profile. They are lowest (9.19–11.86%) in the lower horizon, rich in iron, and highest in a silicious segment in the upper horizon. In the middle and upper horizons they are 16.40–17.57 and 14.01–19.95%, respectively. In the upper horizon, the silicon contents, with exclusion a value related to the chart segment, are in a range 14.01–16.74%.

The studied profile includes also serpentinites which make the basement of the ore formation. They were representing by five samples, taken in a vertical profile 6 m thick. In the serpentinite profile, distributions of Fe, Ni, Cr, Mn, As, Ti, and Si were studied also.

The **iron** contents in serpentinites vary in the range of 4.11–7.08%. Iron shows an irregular trend of small increasing from the lowermost part of the profile (5.24%) upwards. The highest content is in the uppermost part of the profile.

Nickel contents are in a range 0.09–0.53%. Nickel like iron shows an irregular trend of a slight concentration from lowermost part of the profile upwards. However, lowest and highest values are in the upper part of the profile.

The **chromium** contents vary in a rather narrow range: 0.18–0.35%. The lowest and highest chromium contents are in the middle and upper parts of the profile.

The **manganese** contents vary in the range 0.11–0.50%. Manganese is enriched in the upper parts of the profile (0.43–0.50% compared to 0.11–0.13% in the lower parts of the profile).

The **arsenic** contents are in a narrow range: 0.008–0.012%. The highest content is in the uppermost part of the profile.

Titanium is very low abundant in the profile – it is detected only in one sample, in the content of 0.009%.

The **silicon** contents are in a wide range: 15.34–27.53%. Silicon shows a rather irregular distribution in the profile. Its highest content is in the sample in the middle part of the profile, and the lowest content has a sample bellow it.

Contents and distribution of the studied elements in the profile indicate that serpentinites represent the very low levels of the weathering crust on ultramafites. This is indicated by a general enrichment of elements of hydrolizats in the upper parts of the profile caused by geochemical processes typical for weathering profiles.

Table 6. Chemical composition of serpentinitized peridotite, lateritized serpentinite, oolitic ore, and oolites separated from the ore¹ and element enrichment factors (F).

Табела 6. Хемијски састав серпентинисаног перидотита, латеритисаног серпентинита, оолитске руде и оолита из руде¹ и фактори обогаћења елемената (F).

	45 (%)	61 (%)	52 (%)	52-O (%)	F 61/45	F 52/45	F 52-O/45	F 52-O/52
SiO ₂	38.19	42.28	31.10	31.45	1.11	0.81	0.82	1.01
TiO ₂	0.04	0.10	0.12	0.54	2.50	3.00	13.5	4.50
Al ₂ O ₃	0.77	2.77	5.18	7.54	3.60	6.72	9.79	1.45
Cr ₂ O ₃	0.50	0.80	1.96	2.15	1.60	3.92	4.30	1.10
Fe ₂ O ₃	7.40	15.21	33.08	34.10	2.06	4.47	4.61	1.03
FeO	0.60	0.62	0.83	1.02	1.03	1.38	1.70	1.23
MnO	0.09	0.25	0.36	0.10	2.78	4.00	1.10	0.28
NiO	0.29	0.69	0.95	0.85	2.38	3.28	2.93	0.89
MgO	34.82	25.42	8.15	6.02	0.73	0.23	0.17	0.74
CaO	1.91	2.30	1.72	1.64	1.20	0.90	0.86	0.95
Na ₂ O	0.09	0.14	0.13	0.01	1.56	1.44	0.11	0.08
K ₂ O	0.05	0.06	0.07	–	1.20	1.40	<0.20	<0.14
H ₂ O ⁺	13.85	8.11	9.49	9.47	0.59	1.46	0.68	1.00
H ₂ O ⁻	1.28	1.68	6.76	6.07	1.31	5.28	4.74	0.90
Sum (Zbir)	99.88	100.45	99.90	99.93				

¹ Samples: 45– serpentinitized peridotite; 61– lateritized serpentinite; 52– oolitic ore; 52-O– oolite concentrate (Узорци: 45– серпентинисани перидотит; 61– латеритисани серпентинит; 52– оолитска руда; 52-O – оолити из руде)

The upper levels of lateritic weathering profile were identified in the relics of lateritic weathering crust found also at the same locality (Table 4). The profile is characterized by serpentinitized peridotite in the bases and the lateritized serpentinite in the uppermost part, covered by oolitic ores. In the lateritized serpentinite, Ni, Cr, and Mn are strongly enriched: Ni and Cr up to contents as high as >1%, and Mn up to 0.30%. Their concentration factors with a respect to serpentinitized peridotites are >4.5, >10, and 3.7, respectively. The lateritized serpentinite are characterized also by high content of silica,

magnesium, iron (ferric-iron), some alumina (2.77%), calcium, ferro-iron (0.62%), and traces of Ti (0.10%), Na, and K (Table 6). Most of these elements are enriched compared to their contents in the serpentinized peridotite. The related enrichment factors for Al, Ti, and Fe^{3+} are as high as 3.60, 2.50, and 2.06, respectively, as it is expected according to hydrolizing character of these elements. On the other hand, magnesium is significantly removed (enrichment factor 0.73) as it is also expected, as it belongs to the geochemical group of soluble cations (Dangić, 1998).

The ore metal contents in the ore formation (Tables 2, 3, and 5) indicate their high enrichments in the ore with respect to their contents in serpentinite or lateritized serpentinite. It is supported also by chemical composition of the oolitic ore (sample 52, Table 6). This ore is characterized by very intense enrichments of most elements in comparison to composition of serpentinized peridotite. Fe^{3+} , Ni, Mn, Cr, Ti, and Al show enrichment factors as high as 4.47, 3.28, 3.92, 4.00, 3.00, and 6.72, respectively. Although a high enrichment of aluminum is expected due its strong hydrolizing character, it may be caused by clay particles transported from non-ultramafic sources. On the other hand, the contents of magnesium are strongly and of silica slightly lower (enrichment factors 0.23 and 0.81, respectively). Similar geochemical trends were found in distribution of trace elements (Table 6).

Trace element studies included serpentinized peridotites, two ore types, and some fractions of the oolitic ore. Two types of ore were analyzed to represent diverse horizons of the ore formation – oolitic ore and marly ore, representing lower and upper horizons, respectively. The analyzed fractions of the oolite ore are the oolite separate and the clay fraction ($<2\mu\text{m}$). Among 25 analyzed elements, 14 were detected in at least one of analyzed samples (Table 6). Analyzed but not detected elements were: Ag, Mo (detection limit 1 ppm), Ga (4), Y (6), Bi (8), La (10), Nb (15), Sb (32), Cd (100), As (120).

Trace element patterns of the oolitic ore and the marly ore (samples 52 and 56, respectively) are nearly the same. They are characterized by very high contents of Ni, Cr (both $>1\%$), and Mn (1900–3760 ppm), high contents of Zn, Co, and V (290–350, 245–290, and 100 ppm, respectively), low contents of B, Cu, Pb, Sc, and Sr (<4 –26, 22–37, 11–32, 16–18, and 19–23 ppm, respectively); Ba and Zr were below detection limits (<6 and <12 ppm, respectively). However, the oolitic ore (i.e. the lower horizon of the ore formation) is something richer in Mn, Cu, Pb, and Zn. On the other hand, B is more abundant (>6.5 times) in the marly ore (i.e. the upper horizon of the ore formation). A comparison of trace element contents in ore and serpentinized peridotite (sample 45) indicates a significant enrichment in the ore formation of almost detected elements, especially Zn, Cr, Co, and Ni. The related enrichment factors for the oolitic ore are: Zn and Co > 11.6 , Co 5.7, Ni >4.5 , Cu 4.1, Mn 3.3, Sr >2.9 , and V, Sc and Pb 2.3–2.9. On the other hand, B is strongly depleted (an enrichment factor <0.18).

Chemical composition and trace element pattern of the oolite separate (sample 52-O, Tables 6 and 7) differ partly from those representing the oolitic ore. This indicates that element distribution between oolites and the matrix existed. The oolites are characterized by an intense enrichment of Ti (enrichment factor 4.5), and low enrichments of Al, Fe^{2+} , and Cr (enrichment factors 1.45, 1.23, and 1.10, respectively) (Table 6). On the other hand, some elements, especially manganese and less intense nickel and magnesium,

are concentrated in the matrix. Trace element patterns show that in oolites B, Cu, Pb, Sc, Sr, V, Zn, and Zr are also enriched (Table 7). The highest concentration show B, Sc, and Zr, with enrichment factors >3.7, 2.2, and Zr >1.6, respectively; enrichment factors for others are in a range 1.2–1.5. On the other hand, Mn and Co are significantly less concentrated in oolites than in the matrix (enrichment factors 0.39 and 0.65, respectively).

Table 7. Trace elements in serpentinized peridotite, oolitic ore and ore fractions¹ and element enrichment factors (F).

Табела 7. Садржаја микроелемената у серпентинисаном перидотиту, оолитској руди и фракцијама руде¹ и фактори обогаћења елемената (F).

	45 (ppm)	52 (ppm)	56 (ppm)	52-O (ppm)	51 (ppm)	F 52/45	F 52-O/52	F 51/52
B	22	<4	26	15	290	<0.18	>3.75	>73
Ba	<6	<6	<6	<6	44	–	–	>7.3
Co	46	260	245	170	495	5.65	0.65	1.90
Cr	860	>1%	>1%	>1%	2070	>11.6	–	<0.21
Cu	9	37	22	45	120	4.11	1.22	3.24
Mn	1150	3760	1900	1450	2750	3.27	0.39	0.73
Ni	2200	>1%	>1%	>1%	>1%	>4.55	–	–
Pb	14	32	11	47	94	2.29	1.47	2.94
Sc	7	18	16	40	22	2.57	2.22	1.22
Sr	<8	23	19	32	64	>2.88	1.39	2.78
V	35	100	100	140	72	2.86	1.40	0.72
Zn	<30	350	290	500	680	>11.7	1.43	1.94
Zr	<12	<12	<12	19	100	–	>1.58	>8.33

¹ Samples: 45– serpentinized peridotite; 52– oolitic ore; 56– marly ore; 52-O – oolite concentrate; 51– clay fraction of oolitic ore (Узорци: 45– серпентинисани перидотит; 52– оолитска руда; 56– лапоровита руда; 52-O – оолити из руде; 51– глиновита фракција оолитске руде)

The trace element pattern of the clay fraction of the oolitic ore (sample 51, Table 7) significantly differs from those representing the oolitic ore and the oolite separate. A comparison of them shows that almost elements are enriched in the clay fraction. The strongest enrichment shows B, Zr, and Ba, with enrichment factors >73, >8.3, and 7.3, respectively, and than Cu, Pb, and Sr, with enrichment factors 2.8–3.2; enrichment factors for Zn, Co, and Sc are in a range 1.2–1.9. Two elements, on the other side, are depleted in the clay fraction: Cr, strongly, and V, less intense (enrichment factors <0.21 and 0.72, respectively).

Enrichment of chromium in oolites and its depletion in the clay fraction indicate that in the ore it is mostly present as detrital chromite.

CONCLUSIONS

The present study enables several results and explanations related to the geological position, mode of occurrence, mineral composition and general geochemical characteristics of the oolitic ore formation of the Mokra Gora basin in Western Serbia. Based on them, the following may be concluded:

– The oolitic ore formation makes a basal part of the Upper Cretaceous sedimentary complex and transgressively covers ultramafic basement. Large masses of ore, both lateral and vertical continuities of the ore formation, and composition of the ore indicate that ore material was derived by an intense erosion of a thick lateritic weathering crust on ultramafites.

– Relics of lateritic weathering crusts in the basement of the ore formation indicate that in the area covered by the basin also lateritic weathering crusts existed.

– Composition of the ore formation and element enrichments factors in the formation in the relation to serpentinites/serpentinized peridotites show that preserved relics of the lateritic crusts relates to lower levels of lateritic weathering profiles. Ore material, especially in the lower horizons of the ore formation was derived from more intense lateritized weathering profiles.

– Mineral composition of the ore formation and ore metal distribution in the formation indicate some variation in either source materials, sedimentation processes or geochemical conditions during sedimentation and/or diagenesis.

– During diagenetic stage, the ore formation was generally under reducing conditions resulting in formation of chlorite, chamosite, and some Fe and Fe–Ni sulfides.

– Lateral and vertical variations in ore element distribution were found and they may be caused either by variation in source materials, sedimentation processes, geochemical conditions during transport, sedimentation and diagenesis as well as specific geochemical features of the elements. For their much sensitive indications and explanations more detailed geochemical studies including trace elements geochemistry are necessary.

REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

- Dangić A., 1998: Extended conception of ionic potential and related geochemical groups of cations and anions.– *Journal of Mining & Geol. Sciences*, 37, 9–18, Belgrade.
- Dangić A. & Fotić V., 1981: Relikti donjokredne kore raspadanja ultramafita u podini Ni–Fe oolitskih ruda Mokre Gore (Zlatibor).– *Savetovanje o Fe–Ni lateritskim rudama Jugoslavije, Kavadarci*, 1981. Referati, 2 str., Kavadarci (in Serbian).
- Dangić A. & Djordjević D., 1979: Kora raspadanja na ultramafitskim stenama Ozrena, Bosanska ofiolitska zona.– 5. jugoslovenski simpozijum o istraživanju i eksploataciji boksita, Vlasenica, 1979, Izvodi iz referata, str. 103, Vlasenica (in Serbian).
- Djurić S., 1958: Oprobavanje ležišta niklonosno–željezne rude šire okoline Vardišta kod Višegrada u Istočnoj Bosni.– *Geol. glasnik BiH*, 4, 247–271, Sarajevo (in Serbian).
- Djurić S., 1961: Optimal clastic–oolitic sediments of the Zlatibor zone.– *Ibid.*, 7, 131–143, Sarajevo (in Serbian, English summary)
- Fotić V., 1961: Elaborat o istraživanju niklonosnih oolitskih ruda gvožđa u mrogorskom basenu.– *FSD Zavoda za geol. i geofiz. istr.*, Beograd (in Serbian – unpublished).
- Fotić V., 1966: Geological composition and tectonic structure of the Mokra Gora Basin with special reference to oolitic ores.– *Vesnik zavoda za geološka i geofizička istraživanja, Series A*, 22–23 (1964/65), 117–129, Beograd (in Serbian, English summary).
- Janković S., 1990: Rudna ležišta Srbije: Regionalni metalogenetski položaj, sredine stvaranja i tipovi ležišta.– *Rep. dr.š. fond za geol. istr. i Rud.–geol. fak.*, 1–760, Beograd (in Serbian).
- Maksimović Z. & Antić R., 1962: Mineralogical and chemical composition of weathering crust relics on ultramafic rocks in the environs of Vardište near Višegrad (East Bosnia).– *Geol. glasnik BiH*, 6, 157–179, Sarajevo (in Serbian, English summary).

Milovanović B., 1933: Beiträge zur Geologie von Westserbien. I Die Kreideablagerungen der Zone Mokra Gora-Rzav.- Geol. an. Balk. poluos., 11, 2, 132-160, Beograd (in Serbian, German summary).

РЕЗИМЕ

ГЕОЛОШКЕ И ОПШТЕ ГЕОХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ Fe-Ni ООЛИТСКИХ РУДА МОКРЕ ГОРЕ (ЗАПАДНА СРБИЈА)

УВОД

Седиментне руде гвожђа и никла кредне старости појављују се на бројним локалитетима у централним и југоисточним деловима Балканског полуострва, асоцирајући са ултрамафитима у офиолитској зони која се протеже од централне Босне преко Србије и Македоније до Грчке. Током доње креде на већим ултрамафитским масивима у овој зони формиране су дебеле латеритске коре распадања. Током горњокредне трансгресије ове коре распадања су интензивно еродоване и њихови реликти су ретко сачувани, и то само на неколико места. Ипак, на то да су постојале указују појаве Fe-Ni руда, претежно оолитских, на бројним локалитетима на/поред ултрамафитских масива, које су могле да буду образоване брзим депоновањем еродованог материјала латеритских кора на тим масивима. Појаве и лежишта ових руда су познате на више локалитета у унутрашњим Динаридима, од масива Озрена у Босни, на СИ (Dangić & Djordjević, 1979), преко Златиборског масива у источној Босни-Западној Србији (Milovanović, 1933) и даље ка југу, према Македонији (Janковић, 1990). На Златиборском масиву ове руде се појављују у басену Бели Рзав-Мокра Гора, у коме су два велика лежишта детаљно истраживана: Мокра Гора у Србији (Fotiћ, 1961; 1966), и Д. Вардиште у Босни (Djurić, 1958). Извесни реликти латеритске коре распадања на ултрамафитима су откривени у басену Мокре Горе (Dangić & Fotiћ, 1981) као и у Вардишту (Maksimović & Antić, 1962).

Лежиште Мокра Гора је интензивно истраживано у периоду 1958-1961. година дубинским бушењем, раскопима и подземним рударским радовима, уз одговарајућа минералозна, хемијска и технолошка истраживања (Fotiћ, 1961; 1966).

Овај рад приказује неке непубликоване резултате истраживања из периода 1958-1961, година као и резултате нових истраживања.

ОСНОВНИ ГЕОЛОШКИ ПОДАЦИ

Басен Мокре Горе представља западни део комплексног горњокредног седиментног басена Бели Рзав-Мокра Гора који се налази на СЗ падинама Златибора. Басен Бели Рзав-Мокра Гора је подељен границом између Србије и Босне (Република Српска), а његов већи део (70 km²) је у Србији. Басен припада геотектонској јединици унутрашњих Динарида и формиран је на северозападним деловима великог златиборског ултрамафитског масива, једног од већих масива унутрашње офиолитске зоне Динарида. Оолитске Fe-Ni руде у басену воде порекло од латеритских кора распадања на серпентинисаним перидотитима а настале су као базална серија седимената горње креде. Како су током горњокредне трансгресије латеритске коре

интензивно еродоване, ове руде леже преко серпентинита односно серпентинисаних перидотита. Ипак, реликти латеритске коре су нађени на два локалитета, у Босни (Maksimović & Antić, 1962) и Србији (Dangić & Fotić, 1981). Рудни хоризонт је прекривен дебелим комплексом лапораца и кречњака. Басен Бели Рзав–Мокра Гора структурно чине две јединице, западна и источна. Западна, већа, јединица, рзавски басен, је издужен правцем ССЗ–ЈЈИ и дужине је око 25 km. У његовом јужном делу, у Босни, се налази Fe–Ni рудно лежиште Д. Вардиште. Источна јединица, басен Мокре Горе, у Србији, образован је као залив са издужењем ЗЈЗ–ИСИ. Оолитске руде су детаљно истраживане у басену Мокре Горе (Fotić, 1961; 1966), и у Д. Вардишту (Djurić, 1958; 1963).

Басен Мокре Горе обухвата површину од око 30 km². Структурно, басен је псеудоантиклинала, са осом оријентације 234/14 (Fotić, 1966), и са севера, истока и југа је окружен серпентинисаним перидотитима а ка западу се наставља у басен Белог Рзава (сл. 1). Басен је деформисан са неколико већих лонгитудиналних раседа. Горњокредни седиментни комплекс мокрогорског басена чине 3 јединице: (1) базална серија или рудни хоризонт, (2) дебели комплекс лапораца, и (3) кречњачки хоризонт (највиши део комплекса).

Базална серија са Fe–Ni рудима прекрива серпентинисане или делом распаднуте перидотите. Изданци базалне серије су добро откривени на многим местима на северним, источним и јужним ободима басена. Серија је детаљно истражена бројним раскопима у изданаčким зонама као и подземним рударским радовима и дубинским бушењем у дубљим деловима басена (Fotić, 1961; 1966). У истраженим деловима басена рудна формација је средње дебљине 20,4 m, средњи садржај гвожђа је 21,20% и средњи садржај никла 0,70%. Утврђено је да је гвожђе претежно везано за силикате (хлорит и шамозит) – у средњем 70% гвожђа у облику силиката, а само 30% у облику оксида и хидроксида. Рудне резерве наведеног квалитета износе милион тона.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Геолошка, минералозна, хемијско–технолошка, и геохемијска истраживања су изведена на одабраним профилима Fe–Ni рудне формације и формација у њеној подини и кровини, у изданаčким зонама, подземним рударским радовима и језгрима бушотина.

Минералозна истраживања су обухватила микроскопске, рудно–микроскопске. ДТА–TG и рендгенско–дифракционе (XRD) анализе. У XRD анализама дијаграми дифракције праха (неоријентисаних, оријентисаних и третираних узорака) су добијани применом Philips PW–1050/25 дифрактометра, CuK α зрачења и графитног монохроматора. Анализирани су укупан материјал и његове различите фракције.

Хемијско–технолошка истраживања (изведена у периоду 1958–1961, Технолошки факултет у Београду) обухватила су одређивање (класичним хемијским методама) садржаје 4 рудна метала – Fe, Ni, Co, и Cr. У неким изабраним профилима, уз ове елементе су анализирани садржаји и As, Ti и Si.

Каснија истраживања (изведена у периоду после 1981. год., Рударско–геолошки факултет у Београду) су обухватила силикатне хемијске анализе, анализе садржаја главних елемената и микроелемената и одређивање "абразивних" рН и Eh. Код силикатне анализе су коришћени комбинација атомске апсорпционе спектрофото-

метрије (AAS) и спектрофотометријских (SPH) и класичних метода хемијске анализе. У ААС коришћен је инструмент *Perkin–Elmer 373* а у SPH инструмент "Zeiss" UV VIS SPECORD. Микроелементи су анализирани емисионо–спектрографски (ES), коришћењем спекторграфа ЕСТ–1 са укрштеном дисперзијом и једносмерног лука у контролисаној атмосфери ($\text{Ar} + \text{O}_2$). Са ES је анализирано 30 елемената, а средња прецизност и тачност, контролисане преко унутрашњих стандарда (Ge и Pd) и геохемијских (интернационалних) референтних стандарда су биле $\pm 12\%$.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Рудна формација Fe–Ni руда басена Мокре Горе, као базална серија горњокредног седиментног комплекса, трансгресивно прекрива ултрамафитску подлогу у свим деловима басена. Како басен (горњокредни седименти) структурно представља псеудосинклиналу са осом орјентације 234/14, рудна формација образује изданачке зоне на северним, источним и јужним ободима басена (сл. 1). Континуитет рудне формације према западном, дубоком делу басена је утврђен дубинским бушењем (у бушотини В–I налази се на дубини од око 700 m). Горњокредна трансгресија је била удружена са интензивном ерозијом латеритских кора распадања на ултрамафитима те подлогу рудне формације чине серпентинити и серпентисани перидотити. Ипак, на јужном ободу басена откривена је локална појава латеритисаног серпентинита, која представља реликт латеритске копe (Dangić & Fotić, 1981).

Рудну формацију карактеришу извесне варијације и дебљине и састава у басену што је утврђено детаљним истраживањима у изданачким зонама и у плићим деловима басена, на 6 локалитета (Fotić, 1961; 1966). У њима, средња дебљина рудне формације варира у опсегу 10,0–23,0 m, а просечна вредност за све локалитете је 18,1 \pm 5,5 m (табела 1). У дубоком делу басена, у бушотини В–I, дебљина рудне формације је 26,8 m. Средња дебљина рудне формације у басену, на основу средњих дебљина у 6 локалитета и дебљине у бушотини В–I је 19,4 \pm 6,0 m. Генерално узев, дебљина рудне формације расте од јужног обода басена према северу и северозападу. Рудну формацију изграђују: базални конгломерати, обично са гвожђевитим оолитима, који навише прелазе у гвожђевите конгломератичне пешчаре, гвожђевите пешчаре, гвожђевите песковите лапорце и гвожђевите лапорце, а кровина су јој лапорци и лапоровити кречњаци. Локално, банци рожнаца могу да се појаве у било ком делу профила.

Рудна формација у северној изданачкој зони има следеће структуру и састав: (1) најнижи део, 12 m дебљине, чине зелени конгломерати са гвожђевитим оолитима, (2) рудни пешчари, 4 m дебљине, (3) слој рожнаца, затим пешчари и лапорци. Слични профили су и у подземним рударским радовима и бушотинама. У североисточним ободима басена изданачка зона је откривена на дужини од око 900 m. Рудну формацију чине зелени и мрки конгломерати, прилично крупнозрни, са гвожђевитим оолитим и карбонатима. У источном ободу басена (од Камишне Реке до Крсманског Потока), рудоносна формација је променљиве дебљине, више црвене боје, прекрива мркозелене серпентинисане перидотите и прекривају је лапорци.

У југоисточним и јужним ободима басена (од Крсманског Потока до Котромана и Белог Рзава), изданци рудне формације су делом покривени. У обали Белог Рзава рудна формација лежи преко серпентинисаних перидотита, а изграђују је: (1) оолит-

ски конгломерати, 2 m дебели, (2) слој рожнаца (3) серија у којој се смењују гвожђевити конгломерати, лапорци, и пешчари. Кровину формације чине лапорци са фолијацијом и лапоровити локално силификовани кречњаци. Доста сличан профил рудне формације је и у плитком делу басена, у бушотини В-XXX (табела 2). У њему, преко серпентинита долази 2 m м дебео слој слабије гвожђевитих конгломерата, затим (0,8 m дебео) слој рожнаца, гвожђевити конгломерати (4 m), поново слој рожнаца (2,7 m), серија гвожђевитих конгломерата и гвожђевитих пешчара и лапораца. Рудна формација је дебљине 29,0 m а прекривају је слабогвожђевити пешчари и црни лапорци.

У централним деловима басена, у бушотини В-1, рудна формација је дебљине 26,8 m (коригована дебљина због нагиба слојева у бушотини), а можда и нешто већа пошто бушотина није ушла у серпентините (табела 3). Подински део рудне формације чине гвожђевити серпентински пешчар (дебљине 1,2 m), затим оолитични гвожђевити пешчар са рожнацима (4,8 m), оолити (1,7 m), а навише се смењују гвожђевити пешчари и гвожђевити лапорци. Кровину рудне формације чине лапорци и кречњаци.

Рудну формацију карактерише заступљеност следећих минералних фаза гвожђа: силиката, оксида, оксихидроксида, сулфида и карбоната (Fotić, 1966). Силикати гвожђа су зелени или мркозелени до мрки (када су оксидисали) хлорити. Појављују се као обилни састојци цемента и оолита у конгломератима и конгломератичним пешчарима. На локалитету Котромана оолити садрже до 22–37% хлорита и шамозита (Protić, 1956). Оксиди гвожђа су генерално узев мало обилни у конгломератима и пешчарима изузев у њиховим оолитским деловима. Хематит је обично заступљен у оолитима (у обилности 20–25%), а локално може да се појављује и у цементу, образујући табличасте кристале или као фино диспергован са силицијом (кварцом) око оолита. Магнетит се појављује или у оолитима (образује магнетитске оолите) или ређе као реликт у псевдоморфном хематиту. Хромит је кластичног порекла, заступљен је као акцесорни минерал, и у цементу и у оолитима. Оксихидроксид гвожђа (гетит) углавном је заступљен у оолитима (у обилности до 20%) а може да се појави и у цементу. Сулфиди су релативно доста распрострањени али се појављују у малим количинама. Представљени су пиритом, маркаситом, бравоитом и милеритом и углавном образују ситнозрне агрегате у црслинама и пукотинама у оолитима. Пирит и бравоит образују агрегате у којима се зонарно смењују. Милерит се појављује у игличастим кристалима (дужине до 0,7 mm, дебљине до 0,003–0,09 mm) који образују радијалне агрегате. Карбонати се појављују као неоминерали у цементу зелених пешчара, у виду зонарних кристала са глиновитим језгром.

Реликти латеритских кора распадања откривени су и проучени на источном ободу басена, на неколико локалитета (Dangić & Fotić, 1981). Реликти су откривени испод оолитских руда, дебљине су до неколико метара и репрезентују ниже делове профила кора распадања. Најочуванији профил, код Котромана, одликује се следећом зонарношћу: (1) серпентинит, (2) нижа зона распадања – делом распаднути серпентинит, и (3) виша зона распадања – латеритисан серпентинит (табела 4). Нижу зону распадања карактеришу серпентинит, талк, и присуство кварца и магнетита и у њој су издвојене две подзоне: (а) доња – Ni–серпентинитска, и (б) горња – Ni–серпентинитско–талкна. Вишу зону распадања карактеришу хематит, хлорит, талк и присуство серпентинита и нешто гетита. И у њој су издвојене две подзоне: (а) доња – хематит–талк–хлоритска, и (б) горња – хематит–хлорит–талкна. Рендген-

ским проучавањима је утврђено да је хлорит Cr(Ni)-типа, т.ј. кочубејит. Серпентинит је богат никлом у обе зоне распадања а талк само у нижој зони.

Рудну формацију карактеришу значајне варијације хемијског састава и садржаја рудних метала у вертикалним профилима. Ипак, варијације средњих садржаја рудних метала – гвожђа, никла, кобалта и хрома, као и силиције у базену су релативно мале (табела 1).

Средњи садржаји гвожђа и никла у рудној формацији у шест детаљно истражених локалитета варирају у следећим опсезима: гвожђе 17,70–23,00% и никал 0,64–0,75%, а средње вредности су 21,43% Fe и 0,71% Ni. Ако се у прорачун укључе и средњи садржаји у рудној формацији у дубоком делу басена (бушотина В-1), средњи садржаји за басен су: 21,70% Fe и 0,70% Ni. Најнижи средњи садржаји и гвожђа и никла су у СИ делу басена. Дубоки део басена се одликује ниским садржајем никла и највишим садржајем гвожђа. Највиши количник Ni/Fe – 0,036 је у СИ делу басена, а најнижи – 0,028 је у дубоком делу басена. У осталим деловима басена овај количник је у опсегу 0,0031–0,032. Средњи садржаји кобалта у 6 детаљно истражених локалитета варирају у опсегу 0,12–0,32%, а средња вредност је 0,023%. Ако се у прорачун укључи и средњи садржај у дубоком делу басена, средња вредност за басен је 0,022%. Најнижи садржај је у источном, а највиши у северном делу басена; дубоки део басена се одликује ниским садржајем. Највише вредности количника Co/Ni– 0,044–0,042, су у северном и југоисточном, а најнижа – 0,017, у југоисточном делу басена. У другим деловима басена количник Co/Ni је у опсегу 0,027–0,033; средња вредност овог количника је 0,029, Средњи садржаји хрома у шест детаљно истражених локалитета су у опсегу 0,97–1,30% а средња вредност је 1,16%. Ако се у прорачун укључи и дубоки део басена (бушотина В-1), опсег средњих садржаја за басен је 0,97–1,57% а средња вредност 1,22%. Најнижи средњи садржај је у дубоком делу басена а највиши у источном делу. У осталим деловима басена средњи садржаји су у опсегу 1,09–1,30%.

Средњи садржаји силиције у 5 детаљно истражених локалитета (недостаје податак за источни део басена) варирају у доста уском опсегу: 32,50–36,20%, а средња вредност је $34,17 \pm 1,60\%$. Најнижа вредност је у јужном а највиша у северноисточном делу басена. Заступљена је, генерално узев, негативна корелација између садржаја гвожђа и силиције.

Расподеле рудних метала и неких пратећих елемената у вертикалним профилима рудне формације су проучене у профилима који репрезентују три различита дела басена: плитки део (табела 1), дубоки део (табела 3), и ободни део (уз изданачку зону) (табела 5). Проучавањем су обухваћени: Fe, Ni и Cr у свим профилима, Co у прва два, и Mn, As, Ti, и Si у трећем.

У профилу који репрезентује плитке делове басена (табела 2), рудна формација је дебљине 28,80 m. У њеној структури заступљена су два слоја рожнаца: доњи је дебљине 2,7 m а горњи 0,7 m. Према саставу формације, профил може да се подели у два хоризонта, испод и изнад горњег (0,7 m дебелог) слоја рожнаца. Доњи хоризонт, дебео 11,7 m, изграђују већином конгломерати и пешчари са садржајем оолита, а у њему је и нижи слој рожнаца. Горњи хоризонт, дебљине 16,4 m, састоји се углавном од пешчара и лапораца. У разматрању расподеле метала искључена су оба слоја рожнаца. **Гвожђе** у профилу има садржаје у опсегу 20,80–29,39%, а садржаји су генерално већи у доњем хоризонту (24,25–29,38% према 20,80–25–36% у горњем). **Никал** се одликује опсегом садржаја 0,60–1,01% а највиши садржаји су у

централни деловима профила. **Кобалт** се одликује широким опсегом варијација садржаја: 0,015–0,360%. Ипак, врло високи садржаји се налазе само у два сегмента профила, по један у сваком хоризонту и то у њиховим нижим деловима. У осталим деловима профила садржај **Со** је у опсегу 0,015–0,068%. **Хром** има садржаје у опсегу 0,36–1,83% и мада показује мање правилну расподелу ипак је нешто више концентрисан у централним деловима профила.

У профилу који репрезентује дубоке делове басена (табела 3), дебљина рудне формације је 29,15 m. Према саставу материјала, профил може да се подели у три хоризонта. Доњи хоризонт, дебљине 7,7, изграђују углавном пешчари са оолитима. Средњи хоризонт, дебљине 14,85 m, и горњи, дебљине 6,6 m, изграђују углавном пешчари и лапорци. **Гвожђе** се одликује садржајима у опсегу 18,19–28,42% и генерално узев највећи садржаји су у доњем хоризонту (24,38–28,42%), а навише опадају (средњи хоризонт 21,50–23,79%, горњи 18,19–22,44%). **Никал** има садржаје у опсегу 0,43–0,83%, са вишим вредностима у доњем и средњем хоризонту – опсег садржаја за горњи хоризонт је 0,43–0,57%. **Кобалт** се одликује малим опсегом варијације садржаја – 0,00–0,05%, и генерално већом концентрацијом у нижим деловима профила. **Хром** показује врло високе садржаје – 0,83–2,45%, а генерално узев, виши садржаји су у доњем (1,27–2,09%) и горњем (1,31–2,45%) хоризонту; садржаји у централном хоризонту су 0,83–1,64%.

У профилу који репрезентује ободне делове базена (уз изданачку зону рудне формације) проучена је расподела Fe, Ni, Cr, Mn, As, Ti и Si, како у рудној формацији тако и у серпентинитима у њиховој бази (табела 6). Размотрићемо садржаје и расподелу ових елемената прво у рудној формацији а затим у серпентинитима.

Рудна формација је дебљине 12,00 m и према саставу материјала може да се подели у 3 хоризонта. Доњи, дебљине 2,4 m, је богат гвожђем, са оолитима, а средњи, дебљине 2,4 m, је богатији силицијом; горњи хоризонт, дебљине 7,2 m, састоји се углавном од пешчара и лапораца а делом садржи и оолите. **Гвожђе** се у рудном профилу одликује садржајима у опсегу 15,02–36,32%, а највиши садржаји су у доњем хоризонту – 31,10–36,32%; у средњем хоризонту садржаји су у опсегу 18,48–18,90% а у горњем (са искључењем једне вредности за матријал богатији силицијом) 21,60–26,52%. **Никал** показује тренд расподеле у профилу сличан гвожђу: садржаји су у опсегу 0,59–1,65%, највећи су у доњем хоризонту (1,28–1,68%) и нешто виши у горњем (0,59–1,18%) него у средњем хоризонту (0,76–0,90%). **Хром** се одликује садржајима у опсегу 0,82–1,68% а показује веће и сличне садржаје у нижем (1,28–1,68%) и средњем (1,38–1,65%) хоризонту; у горњем хоризонту садржаји су 0,82–1,40%.

Манган се одликује садржајима у опсегу 0,20–0,56%, а генерално су му виши садржаји у доњем (0,38–0,55%) и горњем (0,20–0,56%) хоризонту; него у средњем (0,28–0,30%). Нижи садржаји су везани за сегменте профила богатије силицијом. **Арсен** је заступљен са садржајима 0,010–0,031% – највиши садржаји су у доњем делу профила (0,28–0,31%), а навише генерално опадају (средњи хоризонт 0,018–0,020, горњи 0,010–0,020%). **Титан** је заступљен у опсегу трагови–0,50% и одликује се мање правилном расподелом у профилу. Ипак, генерално су нешто виши садржаји, и са већим варијацијама, у горњем хоризонту (тр.–0,50%); садржаји у доњем хоризонту су 0,26–0,40% а у средњем 0,26–0,32%. **Силицијум** се одликује варијацијом садржаја у широком опсегу 9,19–19,95%, што је и очекивано због појављивања слојева богатих силицијом (рожнац). Најнижи садржаји су у доњем хоризонту, богатом гвожђем (9,19–11,86%) а највиши у силицијском сегменту у горњем хоризонту; у средњем хоризонту садржаји су 16,40–17,57% а у горњем (са искључењем силицијског сегмента) 14,01–16,74%.

Проучавани профил обухватио је и серпентините у подлози рудне формације, у дебљини 6 m. И у серпентинитском профилу су као и у рудној формацији проучене расподеле Fe, Ni, Cr, Mn, As, Ti и Si. **Гвожђе** је заступљено у профилу у садржајима у опсегу 4,11–7,08% а показује доста неправилан тренд слабог пораста садржаја од најнижег дела профила (5,24%) навише; највиши садржај је у највишем делу профила. **Никал** се појављује у садржајима у опсегу 0,09–0,53% и показује неправилан тренд расподеле, слично гвожђу, са slabим порастом садржаја од најнижег дела профила навише; ипак, највиши и најнижи садржај су у горњем делу профила. **Хром** је заступљен у уском опсегу садржаја – 0,18–0,35%, а највиши садржаји су у средњим и вишим деловима профила. **Манган** се појављује у садржајима у опсегу 0,11–0,50%, а виши садржаји су у горњим деловима профила (0,43–0,50%), а у доњим су 0,11–0,13%. **Арсен** је заступљен са садржајима у уском опсегу – 0,008–0,012%, са највишим садржајем у највишем делу профила. **Титан** је веома мало заступљен – детектован је само у једној проби, у садржају 0,009%. **Силицијум** се одликује широким опсегом садржаја – 15,34–27,53% и доста неправилном расподелом у профилу: највиши и најнижи садржаји су у централном делу профила.

Садржаји и расподеле елемената у профилу указују да серпентинити репрезентују најниже нивое коре распадања ултрамафита. Генерална обогаћења елемената хидролизата у вишим деловима профила указују на геохемијске процесе типичне за профиле распадања.

Виши нивои профила латеритског распадања су идентификовани у реликтима латеритске коре распадања на истом локалитету (табела 4). Профил се карактерише серпентинисаним перидотитом у најнижем и латеритисаним серпентинитом у највишем делу, који је прекривен оолитском рудном формацијом. У латеритисаном серпентиниту садржаји Ni, Cr и Mn су врло високи: Ni и Cr >1%, а Mn до 0,30%, са следећим кофицијентима концентрације у односу на садржаје у серпентинисаном перидотиту: Ni >4,5, Cr >10 и Mn 3,7. Латеритисани серпентинит се одликује и високим садржајима силиције, магнезијума, гвожђа (Fe³⁺), а садржи и нешто алуминије (2,77%), калције, Fe²⁺ (0,62% FeO) и у траговима Ti, Na и K (табела 6). Већина ових елемената је обогаћена у односу на садржаје у серпентинисаном перидотиту. Тако нпр., Al, Ti и Fe³⁺ се одликују следећим коефицијентима концентрације: Al 3,60, Ti 2,50 и Fe³⁺ 2,06, што је и очекивано због њихових геохемијских карактеристика, тј. припадности групи елемената хидролизата. Са друге стране, магнезијум је значајно осиромашен (коефицијент концентрације 0,73), што је условљено тиме што по јонском потенцијалу припада геохемијској групи растворних катјона (Dangić, 1998).

Садржаји рудних метала у рудној формацији (табеле 2, 3 и 5) указују на знатно већа обогаћења у руди него у латеритисаном серпентиниту, у односу на садржаје у серпентиниту/серпентинисаном перидотиту. На то указује и хемијски састав оолитске руде (узорак 52, табела 6). Ова руда се одликује врло интензивним обогаћењем већине елемената у поређењу са саставом серпентинисаног перидотита, нарочито Fe³⁺, Ni, Mn, Cr, Ti и Al. Њих карактеришу следећи коефицијенти концентрације: Fe³⁺ 4,47, Ni 3,28, Mn 3,92, Cr 4,00, Ti 3,00 и Al 6,72. Мада је интензивније обогаћење алуминијума очекивано због тога што је типичан елемент хидролизата, оно је можда делом изазвано и приносом, током седиментације рудног материјала, глиновитих честица из неултрамафитских извора. Са друге стране, садржаји магнезијума су знатно, а силиције нешто нижи у руди (коефицијенти концентрације: Mg 0,23, Si 0,81). Слични геохемијски трендови су откривени и код микроелемената (табела 7).

Проучавања садржаја и расподеле микроелемената су обухватила серпентинисане перидотите, два типа руде и неке фракције оолитске руде. Два анализирана типа руде су одабрана тако да репрезентују различите хоризонте рудне формације – оолитска руде, као репрезент нижег хоризонта рудне формације, и лапоровита руда, као репрезент вишег хоризонта. Као фракције оолитске руде анализирани су оолитски концентрат и глиновита фракција ($<2\mu\text{m}$). Од 25 анализираних елемената детектовано је, у најмање једном узорку, 14 елемената (табела 6). Анализирани су али нису детектовани: Ag, Mo (границе детекције 1 ppm), Ga (4), Y (6), Bi (8), La (10), Nb (15), Sb (32), Cd (100), As (120).

Оолитска руда и лапоровита руда се одликују скоро истим садржајима микроелемената (узорци 52 и 56). У врло високим садржајима су заступљени Ni и Cr ($>1\%$) и Mn (1900–3760 ppm) и високим садржајима Zn (290–350), Co, (245–290) и V (100). У ниским садржајима појављују се B ($<4-26$), Cu (22–37), Pb (11–32), Sc (16–18) и Sr (19–23) а Ba и Zr су били испод границе детекције (Ba <6 , Zr <12 ppm). Ипак, оолитска руда (тј. доњи хоризонт рудне формације) одликује се нешто вишим садржајима Mn, Cu, Pb, Ba и Zn. Са друге стране, садржај B је знатно виши ($>6,5$ пута) у лапоровитој руди (тј. горњем хоризонту рудне формације). Поређење садржаја микроелемената у руди и серпентинисаном перидотиту (узорак 45) показује да су скоро сви детектовани елементи значајно обогаћени у рудној формацији, нарочито Zn, Cr, Co, и Ni. Одговарајући коефицијенти концентрације (обогаћења) су: Zn и Co $> 11,6$, Co 5,7, Ni $>4,5$, Cu 4,1, Mn 3,3, Sr $>2,9$, и V, Sc и Pb 2,3–2,9. Са друге стране, B је јако осиромашен (коефицијент концентрације $<0,18$).

Оолитски концентрат се одликује хемијским саставом и садржајима микроелемената (узорак 52–О, табеле 6 и 7) делом различитим од оних који репрезентују оолитску руду. То указује да је заступљена одређена расподела елемената између оолита и цемента (матрикса). Оолите карактерише изразито обогаћење и Ti (коефицијент обогаћења 4,5), и слабије Al (1,45), Fe²⁺ (1,23) и Cr (1,10) (табела 7). Са друге стране, неки елементи, нарочито значајно Mn а у мањој мери Ni и Mg, су концентрисани у цементу (матриксу). Анализе микроелемената показују да су у оолитима такође обогаћени B, Cu, Pb, Sc, Sr, V, Zn, и Zr (табела 7). Највећа обогаћења показују B, Sc, и Zr, са следећим коефицијентима обогаћења: B $>3,7$, Sc 2.2 и Zr $>1,6$; коефицијенти обогаћења за друге елементе су у опсегу 1,2–1,5, Са друге стране, Mn и Co су знатно мање заступљени у оолитима него цементу – коефицијент концентрације за Mn је 0,39 а за Co 0,65,

Глиновита фракција оолитске руде се по садржајима микроелемената (узорак 51, табела 7) значајно разликује од оолитске руде и оолитског концентрата. Поређење ових садржаја показује да су скоро сви елементи обогаћени у глиновитој фракцији. Највећа обогаћења показују B, Zr и Ba, са коефицијентима обогаћења 7,3– >73 (B >73 , Zr $>8,3$, и Ba 7,3), а затим Cu, Pb и Sr, са коефицијентима обогаћења 2,8–3,2; Zn, Co и Sc показују обогаћења у опсегу 1,2–1,9. Са друге стране, два елемента, Cr и V, су осиромашени у глиновитој фракцији, Cr јаче а V слабије – коефицијент концентрације за Cr је $<0,21$ а за V 0,72,

Расподела хрома између оолита и цемента, са обогаћењем у оолитима уз осиромашење у глиновитој фракцији, указује да је хром у руди углавном присутан у виду детритичног хрома.

ЗАКЉУЧЦИ

Истраживања приказана у овом раду омогућила су добијање бројних резултата и објашњења која се односе на геолошки положај, начин појављивања, минерални састав и опште геохемијске карактеристике Fe-Ni оолитске рудне формације базе на Мокре Горе у западној Србији. На основу свега тога могу да се изведу следећи закључци:

– Оолитска рудна формација представља базални део горњокредног седиментног комплекса и трансгресивно прекрива ултрамафитски масив. Велике масе руде, континуитет рудне формације и у хоризонталном и у вертикалном развићу, као и састав руде указују да је рудни материјал настао интензивном ерозијом дебелих латеритских кора распадања на ултрамафитима и брзим депоновањем еродованог материјала.

– Реликти латеритских кора распадања у подини рудне формације указују да су и у подручју формирања басена такође биле развијене латеритске коре распадања.

– Састав рудне формације и коефицијенти концентарције (обогаћења) елемената у рудној формацији у односу на садржаје у серпентинитима/серпентинисаним перидотитима указују да (ретки) очувани реликти латеритских кора одговарају нижим до средњим нивоима латеритских профила. Рудни материјал, нарочито у нижим нивоима рудне формације, спиран је са много интензивније латеритисаних кора распадања од оних у (познатим) реликтима.

– Минерални састав рудне формације и расподела рудних метала у рудној формацији указују на варијације било у саставу матичног материјала, седиментационим процесима или геохемијским условима током седиментације и/или дијагенезе.

– Током дијагенетског стадијума рудна формација је генерално била у редукционим условима што је довело до образовања хлорита, шамозита и нешто Fe и Fe-Ni сулфида.

– Рудну формацију карактеришу латералне и вертикалне варијације у расподели рудних елемената. Ове варијације могле би да потичу од варијација у садржају елемената у матичном материјалу, седиментационим процесима, геохемијским условима током транспорта, седиментације и дијагенезе или/и специфичним разликама у геохемији елемената. Стога су за поузданије проучавање и објашњење ових варијација неопходна детаљнија геохемијска истраживања која треба да обухвате и микроелементе.