

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Géol. Penins. Balk.	62	325–341	Београд, децембар 1998 Belgrade, Decembre 1998
---	----	---------	---

УДК 550.4:553.492.1(497.11–15)

Оригинални научни рад

ГЕОХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ БОКСИТА МАЧКАТА (ЗЛАТИБОР, СРБИЈА)

од

Слађана Тимотијевића* и Дамњана Протића*

Бокситоносно подручје Мачката налази се на североисточним обронцима Златибора (јужно од Ужица) и припада зони унутрашњих Динарида. Ово подручје карактеришу бројне појаве и лежишта карстног боксита кредне старости. Боксити су бемитско–каолинитског типа са променљивим учешћем алуминије, силиције и гвожђа као главних компоненти. Поред њих у бокситима се концентришу и многи микроелементи, који поред економског значаја могу бити од изванредне користи при решавању многих проблема у истраживању. Геохемијским истраживањима решава се порекло елемената и матичног материјала који је дао боксите, затим састав боксита, генезе и друго.

Кључне речи: боксит, геохемија, микроелементи, појава, лежиште, подина, повлата, унутрашњи Динариди, Мачкат, Златибор, Србија.

УВОД

Интензивна и систематска истраживања боксита у западној и источној Србији започета су 1978. године. Резултати тог посла показали су да на овим просторима постоје боксити о којима се раније није знало. Пронађене су значајне појаве и лежишта, са резервама од стотинак хиљада до неколико милиона тона. Боксити припадају карстном типу са веома променљивим квалитетом, од веома квалитетних са ниским садржајем силиције до неквалитетних који чине прелаз ка глиновитим бокситима.

Мачкатски боксити припадају зони унутрашњих Динарида, у којој су за сада позната два бокситоносна хоризонта. Познати су доњокредни боксити Западне Србије (Поћута, Тара, Мачкат) и горњокредни боксити Метохије, у литератури описивани као Гребнички боксити. Многобројни подаци о особинама и старости боксита у Србији, прикупљени нарочито током последњих петнаестак година, омогућавају нам да данас говоримо са доста сигурности о карактеристикама тих боксита. У стратиграфском смислу боксити Мачката леже између тријаских карбонатних седимената у подини и алб–ценоманских кластита у повлати.

Боксити Златибора на Мачкату су пронађени тек 1981. године приликом геолошке проспекције терена јужно од Ужица. Интензивнија истраживања вршена су од 1987. године, када су откривене појаве и лежишта боксита за која се раније није

* "Геоинститут", Ровињска 12. 11 000 Београд.

знало. Иако су истраживања имала релативно ограничен обим откривено је неколико лежишта и десетак појава, што указује на значајну перспективност овог бокситоносног подручја. И поред тога истраживања у овом подручју су прекинута, тако да су многи проблеми остали отворени.

У овом раду приказане су геохемијске карактеристике боксита. Нарочита пажња посвећена је садржају и дистрибуцији микроелемената, пратиоца главних елемената у бокситима, како на целом бокситоносном подручју тако и у самом бокситном слоју од повлате ка подини. Овакав приступ је веома значајан, не само са економског аспекта, већ и у тумачењу сложених још увек недовољно разјашњених услова постанка боксита.

ГЕОЛОГИЈА ПОДРУЧЈА, ПОЈАВА И ЛЕЖИШТА БОКСИТА

Бокситоносно подручје Мачката налази се око десет километара јужно од Ужца, на североисточним обронцима Златибора и припада геотектонској јединици унутрашњих Динарида. У овој зони, делу који припада Србији, познати су боксити Гребница и новопронађени боксити у бокситоносним рудним пољима Поћуте, Таре и Мачката. Боксити су кредне старости, сличних особина и начина појављивања, изузев Гребничких боксита који показују и неке одређене специфичности.

Подручје Мачката се одликује доста једноставном геолошким грађом. Геолошки стуб је овде изграђен од тријаских седимената, творевина дијабаз–рожначке формације, кредних и миоценских седимената. У геолошкој грађи мањег дела рудног поља учествују серпентинисани перидотити и тријаски вулканити (сл. 1).

Тријаски седименти имају највеће распрострањење. Издвојени су доњи, средњи и горњи тријас. Доњи тријас има врло мало распрострањење, а јавља се само уз веће структуре. Представљен је кварцним кластитима и карбонатним седиментима, Слојевити, банковити, масивни кречњаци и подређено доломитични кречњаци средњег тријаса се континуирано развијају преко карбонатне јединице доњег тријаса. Подину бокситима чине масивни и банковити кречњаци ладинско–карпијског ката, који се поступно развијају из средњотријаских кречњака.

Јурске творевине представљене су дијабаз–рожначком формацијом, која је изграђена од разнобојних рожнаца, алевролита, глинача, пешчара, а подређено од кречњака и базичних магмата. Серпентинисани перидотити су откривени на северо–западном делу терена у облику мање масе.

Кредна серија лежи трансгресивно преко тријаских седимената и преко дијабаз–рожначке формације, а местимично и преко црвених боксита. Кластични седименти чине најстарије слојеве и представљају непосредну повлату боксита. Преко кластичних седимената алб–ценомана леже слојевити, банковити и масивни кречњаци ценомана, са којима се завршава кредна серија.

Слатководни језерски седименти **миоцена** јављају се северно од Мојсиловића и Калдрме. На основу литолошког састава Тимотијевић (1988) издваја комплекс зелених кластита и мачкатске шљункове.

Боксити у подручју Мачката припадају карстном, односно медитеранском типу. У стратиграфском смислу они леже преко палеокарстификованих тријаских кречњака, а прекривени су кредним седиментима. Стварање боксита везано је за постјурски период, када је наступила дуготрајна континентална фаза. У том дугом временском периоду дошло је до стварања латеритских кора распадања на околним стенама, а у исто време долази до карстификације тријаских кречњака. Касније, услед повољних климатских и других услова, долази до разарања кора распадања,



Сл. 1. Геолошка карта бокситоносног подручја Мачката. Легенда: 1. Мачкатски шљункови миоцена. 2. Конгломерати, пешчари и пескови са прослојцима доломита – миоцен. 3. Слојевити и банковити кречњаци ценомана, 4. Конгломерати, пешчари и глине алб-ценомана, 5. Перидотит. 6. Дијабаз-ројначка формација, 7. Кречњаци и доломити ладиник-карна, 8. Слојевити и масивни кречњаци средњег тријаса, 9. Конгломерати, пешчари, глине и кречњаци доњег тријаса, 10. Раседи. 11. Откривене појаве боксита, 12. Лежиште боксита "Трафостаница".

Fig. 1. Geological map of the bauxite bearing Mackat district. Legend: 1. Miocene gravel of Mackat, 2. Miocene conglomerates, sandstones and sands with dolomite interbeds, 3. Cenomanian bedded and massive bedded limestones, 4. Albian-Cenomanian conglomerates, sandstones and clays, 5. Peridotite, 6. Diabase-Chert formation, 7. Ladinian-Caruan limestones and dolomites, 8. Middle Triassic bedded and massive limestones, 9. Lower Triassic conglomerates, sandstones, clays and limestones, 10. Faults, 11. Bauxite occurrences, 12. Trafostanica bauxite deposit.

њиховог краћег транспорта и депоновања у већ створеним карстним облицима. Судаћи по геохемијској миграцији елемената у лежиштима изгледа доста вероватно да се бокситизација вршила у непосредној близини кора распадања или после краћег транспорта. По Тимотијевићу (1995) лежишта боксита су сочивасти до неправилно–слојевитог облика и могу бити великих димензија, са резервама од неколико милиона тона, као што је случај са лежиштем "Трафостаница".

Појаве и лежишта боксита на Мачкату припадају групи са променљивим хемијским и минералним саставом. Та променљивост је изражена како међу појединим рудним телима, тако и у оквиру истог рудног тела. У оквиру бокситног слоја јављају се боксити бољег квалитета и то најчешће у средишњем делу, док су према подини и повлати слабијег квалитета. Ово је у тесној вези са обликом појављивања боксита. У лежишту "Трафостаница" најчешћи су компактни боксити, мада се често могу срести и трошни. Глиновити боксити су такође карактеристични и обично се јављају у најнижим нивоима слоја или на периферији лежишта.

ГЕОХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ БОКСИТА

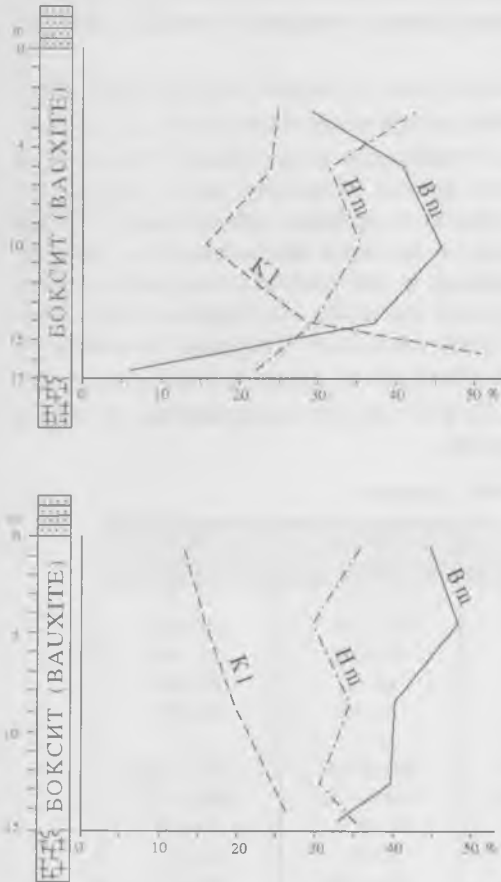
За истраживање лежишта боксита, као и осталих минералних сировина са научног и практичног аспекта у великој мери се користе и геохемијска истраживања. Решавање порекла елемената и лежишта, матичног материјала, генезе, састава руде и других проблема је практично немогуће без геохемијских истраживања. При истраживању боксита она се користе за решавање многих проблема, а нарочито за проучавање сложених услова генезе боксита.

Боксити подручја Мачката припадају карстном типу. Минералошко–хемијска својства боксита, садржај микроелемената и генеза боксита разматрани су у више радова (Тимотијевић, 1986, 1988, 1995; Тимотијевић и Војић, 1986; Тимотијевић и Родунавац, 1994). Боксити су бемитског типа са повећаним садржајем гвожђа, тако да се може говорити о гвожђевитим бокситима. Осим тога, у бокситима се јавља читав низ микроелемената и теригених минерала чији је садржај знатно повећан. Проучавање микроелемената и теригених минерала у бокситима указала су да матични материјал, од кога су настали боксити, потиче од различитих стена: базичних и ултрабазичних, киселих и метаморфних стена. Судаћи по подацима о вертикалној дистрибуцији микроелемената, као и обогаћењу у нижим деловима боксита, бокситизација се одвијала у карстним депресијама после дефинитивног одлагања материјала из латеритских кора распадања (Тимотијевић, 1995).

Систематским и комплексним хемијским, геохемијским и минералошким проучавањима боксита Мачката потврђено је да су појаве и лежишта у целом подручју униформног основног минералног и хемијског састава, као и сличних геохемијских карактеристика. Минерални састав битно карактеришу бемит, хематит, каолинит и Ti–оксиди, а као главни хемијски елементи јављају се Al, Fe, Si и Ti. У лежиштима боксита као корисна компонента углавном се узима садржај Al_2O_3 док се SiO_2 сматра штетном компонентом у технолошком процесу прераде. Количински однос, односно силицијски модул, ових компоненти одређују квалитет боксита и могућност њиховог коришћења за производњу глинице.

Испитивањем минералног састава боксита утврђено је да се као главни минерали јављају: бемит, хематит, каолинит и Ti–минерали. Односи бемита као главног носиоца Al_2O_3 и каолинита као главног носиоца SiO_2 чине главно обележје квалитета боксита у

погледу минералног састава. Карактеристично је да висококвалитетни боксити садрже висок проценат бемита и низак проценат каолинита, док се са повећањем SiO_2 повећава и садржај каолинита. Количински односи ова два минерала су јако варијабилни. За разлику од хоризонталне дистрибуције, код које не постоје велике разлике, вертикална дистрибуција, од повлате ка подини бокситног слоја посебно је изражена. Основна карактеристика вертикалне дистрибуције бемита и каолинита је да се максимални садржаји бемита налазе у средишњем делу слоја, док се садржај каолинита повећава од повлате ка подини (сл. 2).



Сл. 2. Вертикална дистрибуција главних минерала у лежишту боксита "Трафостаница". Bm – бемит, Hm – хематит, Kl – каолинит.
 Fig. 2. Vertical distribution of essential minerals in the Trafostanica bauxite deposit. Bm - Boehmite, Hm - Hematite, Kl - Kaolinite.

Варијације у садржајима главних минерала и главних елемената, која карактеришу не само различита лежишта већ и различите делове истог лежишта везани су највероватније, како за различит степен бокситизације, тако и за разлике у саставу тог материјала. На основу напред изнетог, као и испитивања неколико стотина узорка боксита садржај Al_2O_3 је највећи у средишњем делу бокситног стуба, док SiO_2 расте од повлате ка подини. У већини случајева и садржај Fe_2O_3 опада према подини, међутим, код мање квалитетних боксита и бокситичних глина он расте према подини уз незнатна одступања. Све појаве и лежишта имају доста неуједначен садржај титана. Утврђена је позитивна корелација TiO_2 и Al_2O_3 , при чему са повећањем садржаја алуминијума расте и садржај титана.

Процеси раздвајања силиције и алуминије код појава и лежишта боксита у подручју Мачката су, у повољним палеоклиматским условима, били веома различити. Одношење силиције из бокситног материјала, депонованог на карстној подлози, зависило је пре свега од количине понирајућих вода, које су циркулисале кроз овај материјал у условима добре дренаже. Ти услови нису били свуда једнаки па сада имамо по квалитету различит хемијски и минерални састав боксита који се овде јављају. У току бокситогенезе, услед повољних услова који су владали у то доба, вршено је интензивно одношење силиције из материјала депонованог у карстним депресијама. По Максимовићу (1976) тим процесом су били захваћени и мигративни микроелементи, због чега их сада налазимо у повећаним концентрацијама у нижим нивоима бокситног слоја и подинским глинама.

Боксити поред основних компоненти које улазе у њихов састав (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO), садрже и одређену асоцијацију микроелемената (Ga, V, Nb, Be, Cu, Pb, Zn, Mo, Mn, Ni, Co, Sc, Zr, Cr, La, Sr, Y, Ba). Утврђено је да се у бокситима могу да појаве као микроелементи читав низ ретких и других елемената, који у неким лежиштима или деловима лежишта могу да достигну и значајне концентрације. Осим економског значаја ови елементи представљају и значајне металогенетске показатеље и индикаторе. Наиме, проучавања садржаја и дистрибуције микроелемената може утицати на доношење закључака о пореклу матичног материјала који је послужио за стварање боксита. Испитивањем микроелемената утврђено је повећање садржаја Cr, Ni, Co, V, La и Sc. Поред тога, ови боксити су познати и по високим садржајима гвожђа. Повећани садржаји Fe, Ni, Cr и Co указују да делимично потичу и од материјала ултрабазичног и базичног порекла.

Табела 1 (у ppm) – Table 1 (in ppm)

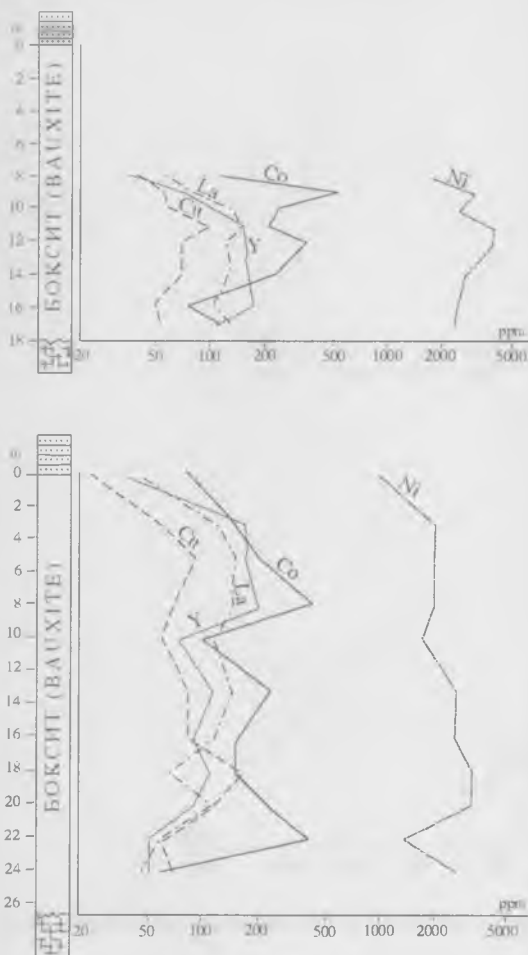
Елемент Element	В-1 (n=4)	В-2 (n=5)	В-6 (n=9)	В-8 (n=11)
Ga	11–30	11–30	14–40	11–40
V	100–250	100–200	100–280	100–500
Cu	10–90	30–140	38–100	25–160
Pb	15–25	15–30	14–60	25–100
Zn	25–40	25–48	23–60	15–58
Mo	tr.–2,5	tr.–3	tr.–7	tr.–7
Mn	400–2 000	425–1 000	800–8 500	1 100–3 000
Ni	300–3 500	1 000–2 500	1 800–4 000	1 000–3 200
Co	35–250	80–160	62–520	60–400
Sc	26–34	tr.–14	18–50	tr.–14
Zr	160–450	250–370	140–310	160–370
Cr	2 000–45 000	2 100–5 000	2 100–5 600	2 000–6 500
La	45–110	45–70	40–150	45–140
Sr	10–40	10–18	12–120	30–120
Y	23–170	35–200	36–200	40–200
Ba	tr.–14	tr.–10	20–90	10–30

tr. – у траговима (in traces)

Посебан геохемијски значај има проучавање и дистрибуција микроелемената у лежиштима боксита. Уопштено узев, у свим лежиштима изражена је тенденција повећања садржаја микроелемената ка подини уз извесна мања одступања. У табели 1

приказана је варијација садржаја микроелемената из неколико бушотина у лежишту "Трафостаница".

Варијације садржаја микроелемената у бокситу везане су како за разлике у саставу матичног материјала од кога су настали, тако и за разлике у степену бокситизације. Уколико је бокситизација интензивна она доводи до обогаћења елемената у подинским деловима бокситног хоризонта. Међутим, поред изражене тенденције обогаћења ових елемената ка подини боксита, запажа се и обрнута вертикална дистрибуција али у знатно мањем обиму. Ова појава се нарочито уочава код мање квалитетних лежишта или делова лежишта боксита у целом бокситоносном подручју Мачката. Осцилације садржаја микроелемената у њима су веома изражене (сл. 3).

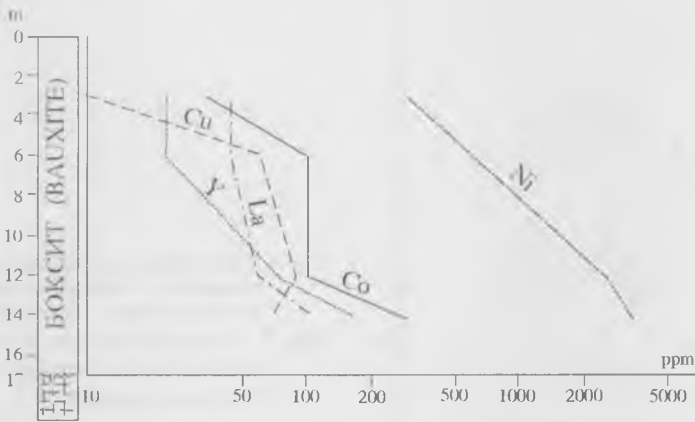
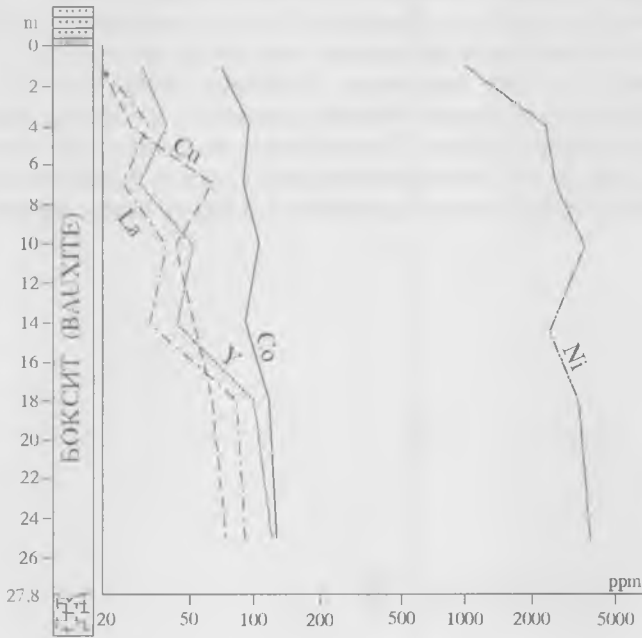


Сл. 3. Вертикална дистрибуција неких микроелемената у бокситима слабијег квалитета за лежиште "Трафостаница".

Fig. 3. Vertical distribution of some microelements in the lower quality bauxites in the Trafostanica deposits.

Код квалитетних боксита у лежишту "Трафостаница" осцилације у садржају микроелемената су знатно мање изражене. Код ових боксита запажа се повећање садржаја микроелемената ка подини, тако да су њихове концентрације највеће непосредно изнад подинских тријаских кречњака. У овом случају тријаски кречњаци су највероватније играли улогу геохемијске базичне баријере. Неки микроелементи као што су: Ni, Co, Cu, Y, La и др., су били мобилнији и обогаћивали су се надоле,

достигући највеће концентрације изнад карбонатне подлоге. У неким случајевима достижу такве концентрације да образују и сопствене минерале (сл. 4).



Сл. 4. Вертикална дистрибуција неких микроелемената у бокситима бољег квалитета за лежиште "Трафостаница".

Fig. 4. Vertical distribution of some microelements in the higher quality bauxites in the Trafostanica deposit.

У бокситоносном подручју Мачката, у фази истраживања боксита одређени су (радиометријски) и садржаји природних радионуклида U, Th и K. Истраживања су обављена на великом броју проба (151) које су узете из боксита, бокситичних глина и глина које прате боксит. На основу тих резултата може се закључити да је садржај

урана и торијума најнижи у глинама, њихове концентрације су повећане у бокситичним глинама, а највеће су у бокситима. Садржаји U, Th и K дати су у табели 2.

Табела 2 – Table 2

Елемент Element	Од From	До To	Средњи Middle
U (ppm)	0,31	11,70	3,58
Th (ppm)	3,67	34,55	20,42
K (%)	0,05	2,59	0,61

О садржају радиоактивних елемената у бокситима има релативно мало података у литератури. Податке о садржајима урана у неким карстним бокситима претходне Југославије и Србије налазимо у радовима Maksimović i Dangić (1988), Maksimović & Pirc (1990), Dangić i Gordanić (1994), Gordanić i Timotijević (1995) и др. Maksimović & Pirc (1990), су анализирали садржај урана у бокситима из 12 лежишта Грчке и претходне Југославије и добили су као средњи садржај (117 проба) вредност од 8,85 ppm. За боксите Власенице средњи садржај U износи 7,26, а за Гребник 7,64 ppm. За боксите Мачката средњи садржај U за 151 анализирану пробу, је далеко нижи и износи 3,58 ppm.

Повећани садржаји U и Th, као и подаци о њиховој дистрибуцији указују на могућност јасног разликовања боксита од глина и околних стена. Ово даје велике могућности у истраживању применом радиометријских метода.

ЗАКЉУЧАК

Бокситоносно подручје Мачката, које се налази на североисточним обронцима Златибора у западној Србији, карактеришу бројне појаве и лежишта карстног боксита кредне старости. Боксити су бемитско–каолинитског типа са променљивим учешћем алуминије и силиције, као и гвожђа. Они су променљивог квалитета, од веома квалитетних са ниским садржајем силиције, до некавалитетних који чине прелаз ка глиновитим бокситима. Боксити, поред основних компоненти које улазе у њихов састав, садрже и одређену асоцијацију микроелемената.

Резултати проучавања геохемијских карактеристика боксита су веома корисни са научног и практичног значаја. Савременим приступом у истраживању појава и лежишта могу се успешно решити проблеми порекла елемената и матичног материјала, као и сложених услова постанка карстних боксита. Садржаји појединих елемената и микроелемената су знатно повећани тако да у извесним случајевима имају и економски значај.

За боксите Мачката карактеристична је вертикална дистрибуција бемита и каолинита. Основна карактеристика је да се максимални садржаји бемита палазе у средишњем делу слоја, док се садржај каолинита повећава од повлате ка подини. Аналогно томе и садржај Al_2O_3 је највиши у средишњем делу бокситног стуба, док SiO_2 расте од повлате према подини. Утврђена је и позитивна корелација TiO_2 и Al_2O_3 , при чему са повећањем садржаја алуминијума расте и садржај титана.

У бокситима се, као микроелементи јавља читав низ ретких и других елемената, који у неким лежиштима могу да достигну и значајне концентрације. Осим економског, ови елементи представљају значајне металогенетске показатеље и ин-

дикаторе. Утврђене су повећане концентрације Cr, Ni, Co, Mn, V, La, Sr и др. Повећани садржаји Fe, Cr, Ni и Co указују да део материјала потиче од ултрабазичних и базичних стена. За боксите Мачката карактеристична је вертикална дистрибуција микроелемената. Констатовано је да се њихова концентрација повећава од повлате ка подини и да је највећа концентрација појединих елемената непосредно изнад подине.

Варијације садржаја микроелемената у бокситу везане су како за разлике у саставу матичног материјала тако и за разлике у степену бокситизације. Осцилације у вертикалној дистрибуцији микроелемената су израженије код мање квалитетних боксита. Код квалитетних боксита запажа се повећање микроелемената ка подини где су и највећи садржаји. Микроелементи, као што су Ni, Co, Cu, Y, La и др. су били мобилнији и обогаћивали су се на доле достижући највеће концентрације непосредно изнад карбонатне подлоге.

Боксити Мачката садрже повећане концентрације радиоактивних елемената и то: U до 11,70 ppm и Th до 34,55 ppm. Повећани садржаји ових елемената указују на могућност јасног разликовања боксита од околних стена и могућност примене радиометријских метода у истраживању.

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Geol. Penins. Balk.	62	325–341	Београд, децембар 1998 Belgrade, Decembre 1998
---	----	---------	---

UDC 550.4:553.492.1(497.11–15)

Original scientific paper

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MAČKAT BAUXITES IN ZLATIBOR (SERBIA)

by

Sladjan Timotijević* and Damnjan Protic*

The Mačkat bauxite-bearing district occurs on northeastern slopes of Zlatibor (south of Užice) and is restricted to the zone of Internal Dinarides. This district is characterized by numerous occurrences and deposits of karstic bauxites Cretaceous in age. Bauxites are of boehmite–kaolinite type, with variable alumina, silica and iron as chief constituents, which might be, beside economical value, extremely useful in solving numerous researching problems. The geochemical investigations have yielded data on origin of elements and source material generating bauxites, then on composition, genesis of bauxites and others.

Key words: bauxite, geochemistry, microelements, occurrences, deposits, floor, roof, Internal Dinarids, Mačkat, Zlatibor, Serbia.

INTRODUCTION

Intensive and systematic researches of bauxites in western and eastern Serbia begin in 1978. Results of that work have indicated the existence of bauxites formerly not known in these areas. Here have been discovered considerable occurrences and deposits, with reserves of several hundreds thousand to several million tons. Bauxites are of karstic type, exhibiting very variable quality, from very valuable ones with low silica to these of low quality, representing transition to clayey bauxites.

The Mačkat bauxites are confined to the zone of Internal Dinarids, in which on the territory of Serbia are known two bauxite-bearing horizons. These are Lower Cretaceous bauxites in western Serbia (Pocuta, Tara, Mačkat) and Upper Cretaceous bauxites in Me-tohija, reported as Grebnik bauxites. Numerous data on properties and age of bauxites in Serbia, especially gathered during last about fifteen years, offer opportunity at the present time to speak with enough certitude about features of these bauxites. The Mačkat bauxites are stratigraphically embeds between Triassic calcareous sediments in the floor and Albian–Cenomanian clastites in the roof.

* Geoinstitute, Rovinjska 12, 11000 Belgrade.

The Mačkat bauxites at Zlatibor were discovered not until 1981, during geological prospecting of the field south of Užice. The more intensive explorations were executed until 1987, when were discovered formerly not known bauxite occurrences and deposits. Several deposits and around ten ore occurrences were discovered by relatively limited quantity of investigations, pointing out the important outlook of this bauxite-bearing district, thus numerous problems have remained open.

In this paper the geochemical features of bauxites have been presented. Special attention has been paid to content and distribution of trace elements accompanying the main elements in bauxites, either in the whole bauxite-bearing district or in the bauxite layer itself, going from the floor to the roof. Such an access is very important, not only from the economical aspect, but in deciphering the complex and still insufficiently explained conditions of bauxite origin as well.

GEOLOGY OF DISTRICT, BAUXITE OCCURRENCES AND DEPOSITS

The Mačkat bauxite-bearing district is situated around ten kilometres south of Užice, at north-eastern flanks of Zlatibor, and is restricted to geotectonical unit of Internal Dinarids. In this zone, actually in the part belonging to Serbia, are present already known Grebnik Bauxites, as well as newly discovered bauxites in the Pocuta, Tara and Mačkat bauxite ore fields. Bauxites are Cretaceous in age, of similar features and appearance figure, except the Grebnik bauxites, which exhibit someone specifics.

The Mačkat district is characterised by pretty uniform geological setting. The geological column is here built up of Triassic sediments, products of Diabase-Chert Formation, then of Cretaceous and Miocene sediments. Lesser intrusions of serpentized peridotites and Triassic volcanites are incorporated in the geological setting of this ore field (Fig. 1).

Triassic sediments are of the largest distribution. Lower, Middle and Upper Triassic rock units are here distinguished. Lower Triassic units are of very limited distribution, occurring only along the larger structures, represented by quartzes clasytites and calcareous sediments. Middle Triassic well-bedded, thick-bedded and subordinated dolomitic limestones continuously overlie the lower Triassic rock units. In the bauxite footwall occur massive and thick-bedded limestones of Ladinian-Carnian stage, gradually developed from the Middle Triassic limestones.

Jurassic products are represented by Diabase-Chert Formation, composed of variegated cherts, sandstones, claystones, siltstones and subordinated limestones and basic magmatites. A lesser mass of serpentized peridotite is discovered in the north-western part of the field.

The Cretaceous series transgressively overlies both Triassic sediments and Diabase-Chert Formation and locally the red bauxites. Clastic sediments are the oldest layers representing the direct roof of bauxites. The Albian-Cenomanian clastic sediments are overlain by bedded, thick-bedded and massive Cenomanian limestones ending the Cretaceous sequence.

The Miocene fresh-water lacustrine sediments occur northerly of Mojsilovići and Kaldrma. According to lithological composition the complex of green clastites and gravel of Mačkat has been distinguished (Timotijević, 1988).

Bauxites in the Mačkat district are of karstic or Mediterranean type respectively. They stratigraphically rest upon the paleokarstified Triassic limestone and are covered by

Cretaceous sediments. Origin of bauxites is related to the post-Jurassic time, characterized by a long-lasting continental period. In that period formation of lateritic crust of weathering took place on country rocks, and in the same time Triassic limestones were affected by karstification. Later, under favorable climatic and other conditions, the crust of weathering had been destructed and transported at short distances, being deposited in the already created karstic relief. Judging by geochemical migration of elements in deposits, it looks very probable that bauxitization took place in the direct vicinity of weathering crust or after shorter transport. After Timotijević (1995) the bauxite deposits are of lense-like to irregular-bedded shape and may be voluminous, exhibiting reserves of several million tons, as it is the case with the Trafostanica deposit.

The Mačkat bauxite occurrences and deposits are confined to the group of variable chemical and mineralogical composition. That variability is present either among individual ore bodies, or in frames of the same ore body. In the bauxite layer occur bauxites of better quality and so most commonly in the central part, whereas in both foot and roof parts are of poorer quality. This is in close relation to the shape of bauxite appearance. In the Trafostanica deposit the most common are compact bauxites, although they may be loose as well. The clayey bauxites are also characteristic and usually occur in the lowest levels of the layer or at the periphery of the deposit.

GEOCHEMICAL FEATURES OF BAUXITES

In exploration of bauxite deposits, as well as in other mineral raw materials, from the scientific and practical point of view the geochemical methods are considerably used as well. Solutions of problem of element's origin in deposits, than source material, genesis, ore composition and other questions are practically impossible without geochemical investigations. They are used in bauxite researches for solving numerous problems and especially in studies of complex conditions of bauxite genesis.

Bauxites of Mačkat district are of the karstic type. Mineralogical-chemical features of bauxites, contents of trace elements and genesis of bauxite have been reported in numerous works (Timotijević, 1986, 1988, 1995; Timotijević & Bojić, 1986; Timotijević & Podunavac, 1994). Bauxites are of boehmite type with increased iron, thus could be considered as ferruginous bauxites. Besides, in bauxites occur numerous microelements and terrigenous minerals in considerably augmented quantities. Studies of trace elements in bauxites have indicated that the source material, generating bauxites, derives from various rocks: basic and ultrabasic, acidic and metamorphic ones. Judging from data on vertical distribution of microelements, as well as their enrichment in lower parts of bauxites, the bauxitization took place in karstic depressions after final deposition of material from the lateritic crusts of weathering (Timotijević, 1995).

By systematic and complex chemical, geochemical and mineralogical investigations of Mačkat bauxites it has been established that the occurrences and deposits in the whole area are of uniform basic mineral and chemical composition, and are of similar geochemical characteristics. Mineral composition is essentially featured by boehmite, hematite, kaolinite and Ti-oxides, and the chief chemical elements are Al, Fe, Si and Ti. For bauxite deposits the useful constituent is generally Al_2O_3 , whereas SiO_2 is considered as detrimental component

for the extractational technology. The quantitative ratio or silica modulus respectively of these constituents have indicated the bauxite quality and possibility of its use for alumina production.

In the bauxite mineral composition the boehmite, hematite, kaolinite and Ti-minerals are found as chief constituents. The ratio of boehmite as chief Al_2O_3 bearer and kaolinite as main SiO₂ bearer is the essential bauxite quality indicator considering mineral composition. It is characteristic that the high quality bauxites exhibit high boehmite percentage and low kaolinite percentage, whereas high SiO₂ is an indicator for augmented kaolinite. The quantitative relations of these two minerals are highly variable. In contrast to horizontal distribution, where high differences are not remarkable, the vertical distribution from the roof to the floor of the bauxite-bearing layer is particularly expressed. The vertical boehmite and kaolinite distribution is essentially characterized by maximum boehmite grades in the central part of the layer, whereas the kaolinite grade becomes higher going from the roof to the floor (Fig. 2).

Variations of contents of chief minerals and elements, characterizing not only the various deposits but also different parts of the same deposit, are most probably related either to various bauxitization degree or to differences in composition of that material. On the base of the above, as well as of examination of several hundreds bauxite samples, the Al_2O_3 grade is the highest in the central part of the bauxite column, whereas SiO₂ increases from the roof to the floor. In most of cases the Fe_2O_3 grade decreases going to the floor as well, but the however, by the lesser quality bauxites it increases going to the floor, with minor exceptions. All occurrences and deposits exhibit rather unequal titanium content. A positive TiO₂ and Al_2O_3 correlation is established, thus the aluminium increase being positively correlated with titanium.

The process of silica and alumina separation in the Mackat bauxite occurrences and deposits were, in favourable paleoclimatic conditions, very favourable. Carrying away the silica from bauxite material, deposited on the karstic basement, depended first of all from amounts of sinking waters, which had circulated throughout this material in conditions of the good drainage system. These conditions were not everywhere equal, producing bauxites of variable chemical and mineral composition. In the bauxite genesis, favourable conditions in that time promoted intensive extraction of silica from material deposited in karstic depressions. After Maksimovic (1976) by these processes were affected migrate microelements as well, thus the augmented concentrations of these occurring in lower levels of the bauxitic bed and in footwall clays.

The bauxite, beside basic constituent (such as Al_2O_3 , SiO₂, Fe_2O_3 , TiO₂ and CaO), include a distinct microelement's association (Ga, V, Nb, Be, Cu, Pb, Zn, Mo, Mn, Ni, Co, Zr, Cr, La, Sr, Y and Ba). It has been established that bauxites may bear numerous trace and other elements, which may attain it some deposits or parts of deposits considerable concentrations. Beside economical importance these elements are prominent metallogenic indicators. Namely, investigations of microelements contents and distribution may influence the conclusions on origin of materials which served for creation of bauxites. Some microelements, such as Cr, Ni, Co, V, La and Sc show increased grades. Besides, these bauxites are characterized by high iron. Augmented Fe, Ni, Cr and Co contents point out that this material derives from ultrabasic and basic rocks.

Study of distribution of microelements are of particular geochemical importance for bauxite deposits. In contrast of horizontal distribution not showing remarkable differences, in vertical distribution from the roof to the floor variations are considerable. In all deposits is generally expressed tendency of the microelements increase going to the floor, with some lesser exceptions. In Table 1 is shown variation of microelements grades in several drill holes in the Trafostanica deposit.

Variations in microelements grades in bauxites are related to both difference in composition of the source material and difference in bauxitization degree. As much the bauxitization is intensive, it leads to enrichment of elements in the floor parts of the bauxite horizon. But however, beside the expressed tendency of enrichment of these elements in the floor part of bauxites, it has been observed the inverse vertical distribution as well, but much seldom than usual. This appearance is especially observable in deposits or parts of deposits of lower quality in the whole Mačkat bauxite-bearing district. Oscillations in microelements grades in these are very expressive (Fig. 3).

Oscillations in microelement grades are much lesser in high quality bauxites of the Trafostanica deposit. In these bauxites increasing of microelements toward the floor is observable, in that way the highest concentrations occur directly above the footwall Triassic limestones. In this case the Triassic limestones most probably played the role of geochemical basic barrier. Some microelements, such as Ni, Co, Cu, Y, La and others were more mobile enriching themselves downward, attaining the highest concentrations above the carbonate basement. In some cases such concentrations are sufficiently high to form own visible minerals (Fig. 4).

In the Mačkat bauxite-bearing district, during investigations of bauxites (radiometrically) were determined grades of natural radionuclides such as U, Th and K. Examinations included 151 samples of bauxites, bauxitic clays and clays accompanying bauxites. On the basis of these results it could be concluded that the lowest uranium and thorium grades are in clays, higher in bauxitic clays and the highest in bauxites. Results are presented in Table 2.

Little information's is available in literature on contents of radioactive elements in bauxites. The data on uranium grades in some karstic bauxites in former Yugoslavia and in Serbia have been found in papers of Maksimović & Dangić (1988); Maksimović & Pirc (1990); Dangić & Gordanić (1994), Gordanić & Timotijević (1995) and others. Maksimović & Pirc (1990) analyzed uranium contents in bauxite from 12 deposits of Greece and former Yugoslavia averaging (from 117 samples) 8.85 ppm. The uranium average values for Vlasenica bauxites are 7.26 ppm, for Grebnik 7.64 ppm. For Mačkat bauxites the mean uranium grade in 151 samples is much lower, showing 3.58 ppm.

Augmented uranium and thorium grades, as well as data on their distribution indicate the possibility the bauxites to be clearly distinguished from clays in country rocks, giving a powerful tool for search them by use of radiometric methods.

CONCLUSION

The Mačkat bauxite-bearing district, occurring at northern flanks of Zlatibor in western Serbia, is characterized by numerous karstic bauxite occurrences and deposits, Cretaceous in age. Bauxites are of boehmite-kaolinite type with variable alumina, silica

and iron quantities. They are of variable quality, ranging from the high grade bauxites with low silica contents, to the very low quality ones, passing into clayey bauxites. Beside the basic components featuring their composition, bauxites include a distinct association of trace elements.

The results of studies of geochemical characteristics of bauxites are very useful from both scientific and practical points of view. Problems of origin of elements and primary material, as well as the complex conditions of origin of karstic bauxites can be successfully solved by modern approaches to explorations of their occurrences and deposits. Contents of individual major and trace elements are considerably augmented exhibiting in some cases economical importance.

The Mačkat bauxites are essentially characterized by vertical distribution of boehmite and kaolinite, showing maximum boehmite contents in the medial part of the layer, while the kaolinite grade increases going from the hanging wall to the footwall. Analogous to this situation the Al_2O_3 content is the highest in the medial part of the bauxite column, and the SiO_2 content increases from top to bottom. The positive $TiO_2-Al_2O_3$ correlation was established, showing that the high aluminium is accompanied by high titanium.

In bauxites occur numerous rare and others elements as trace elements, which in some deposits reach considerable concentrations, such as Cr, Ni, Co, Mn, V, La, Sr and others. Beside the economical importance these elements represent remarkable metallogenical indicators. In that way the augmented Fe, Cr, Ni and Co grades indicate that a part of material derives from ultrabasic and basic rocks. The Mačkat bauxites are characterized by changes in vertical distribution of trace elements exhibiting increases going from top to bottom, so that the highest concentration of some elements are found directly above the footwall.

Variations in the trace elements contents in bauxite are related either to differences in composition of original material or to differences in the degree of bauxitization. Oscillations in vertical distribution of trace elements are more remarkable in the lower quality bauxites, but high quality bauxites show augmentation of contents toward the depth, reaching maximum at the footwall. The trace elements, such as Ni, Co, Cu, Y, La and others are more mobile, being enriched downward, evidencing the highest concentrations directly above the carbonate basement.

The Mačkat bauxites show increased contents of radioactive elements, as follows: U to 11.70 ppm and Th to 34.55 ppm. This fact point out the possibility bauxites to be clearly distinguished from the country rocks and also the possibility the radioactive methods to be used in explorations.

Translated by A. Antonovic

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Dangic A. i Gordanic V., 1994: Geohemija boksita Pocute (z. Srbija): Pojavljivanje i sadrzaji radioaktivnih elemenata i kalijuma - Radovi Geoinstituta, 29, 207-214, Beograd.
- Gordanic V. i Timotijevic S., 1995: Radioaktivnost boksita zapadne Srbije.- Monografija "Jonizujuca zracenja iz prirode". Institut za nuklearne nauke "Vinca", 83-91, Beograd.

- Maksimovic Z., 1976: Mikroelementi u nekim našim ležištima boksita i njihov značaj.- IV Jugoslovenski simpozijum o istraživanju i eksploataciji boksita, 29-33, Herceg Novi.
- Maksimovic Z. i Dangić A., 1988: Način pojavljivanja mikroelemenata u našim boksitima u vezi problema njihovog iskorišćenja.- VI Jugoslovenski simpozijum o istraživanju i eksploataciji boksita, 61-65, Herceg Novi.
- Maksimović Z. & Pirc S., 1990: Uranium in Mesozoic karstic bauxites of Yugoslavia and Greece.- 2nd Meeting of IGCP-287, Oct. 1990. Delphi Greece, Abstracts of the IGCP Project 287: Tethyan Bauxites. N^o 3, p. 16, Beograd.
- Timotijević S., 1986: O genezi boksita zapadne Srbije.- Radovi Geoinstituta, 19, 61-71, Beograd.
- Timotijević S., 1988: Nova saznanja o geologiji boksitonošnog područja Mačkata.- Radovi Geoinstituta, 21, 7-25, Beograd.
- Timotijević S., 1995: Metalogenetsko prognoziranje ležišta boksita zapadne Srbije.- Posebna izdanja Geoinstituta, 14, 1-102, Beograd.
- Timotijević S. i Bojić M., 1986: Boksiti Zlatibora.- Radovi Geoinstituta, 19, 151-172, Beograd.
- Timotijević S. i Podunavac D., 1994: Geologija ležišta boksita zapadne Srbije.- Radovi Geoinstituta, 29, 271-291, Beograd.