

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	60	1	449-459	Београд, децембар 1996 Belgrade, Decembre 1996
--	----	---	---------	---

УДК 553.061.12/17:553.637(497.11)

Оригинални научни рад

## ГЕНЕТСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЛЕЖИШТА БОРАТА У ЈЕЗЕРСКОМ МИОЦЕНСКОМ БАСЕИУ ЈАРАНДОЛА (СРБИЈА)

од

Чедомира Мудрњића\* и Стојана Анчића\*\*

Истраживања и проучавања лежишта бората овог интересантног генетског и економског типа лежишта, у лимничком басену миоцена Јарандола, у досадашњем периоду (1967–1995), показала су значајне резултате. На бази бројних разноврсних геолошких, геохемијских, седиментолошких, минералошких, хемијских и других видова испитивања и изучавања, аутори су у овом раду покушали дати тумачење о условима образовања, времену постајка и генези, овог, у светским размерама значајног генетског нивоа лежишта. По схватању аутора, а на основу досадашњих релевантних истраживања и испитивања, као и корелације са идентичним генетским типовима лежишта у свету, првенствено у Турској, а затим у Калифорнији, лежишта бората у језерском басену Јарандола припадају хидротермалном вулканогено–седиментном генетском типу.

Поред сличности са наведеним светским, лежишта бората Јарандола поседују и своје генетске карактеристике, које су последица локалне геолошке еволуције, морфоструктурне грађе и развића минералие парагенезе, са новим минералним врстама.

**Кључне речи:** Јарандолски басеи, минерали бора, хидротермалиа вулканогено–седиментна лежишта.

### УВОД

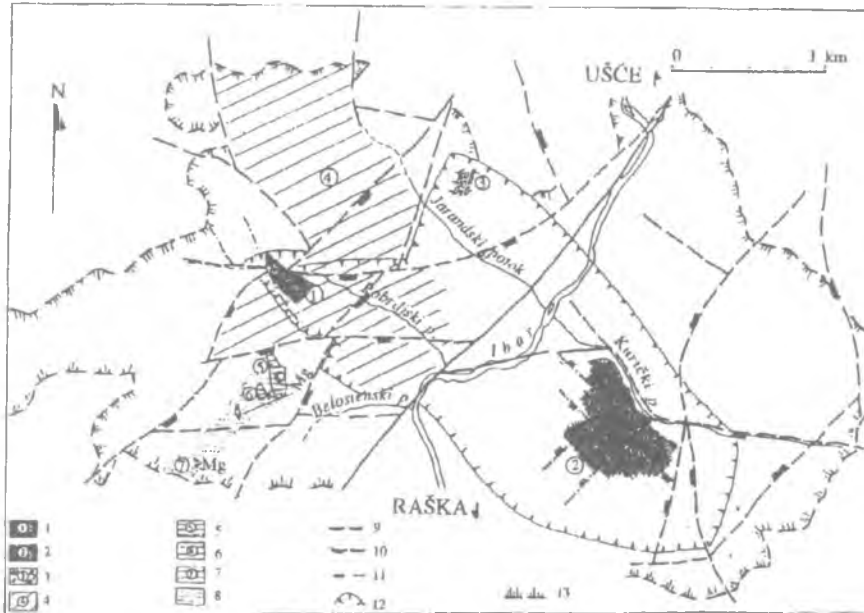
Јарандолски миоценоски лимнички басен, површине око 22 km<sup>2</sup>, био је предмет пажње бројних геолога истраживача током овог века (1907–1995), првенствено због утврђених бројних лежишта и појава минералних спровина, као што су камени угљеви, магнезити и борати. Лежиште каменог угља је у експлоатацији, лежиште магнезита је откопано (Бела Стена), а лежишта бората су у фази детаљних истраживања.

Први подаци о постојању минерала бора у Јарандолском басену потичу од Стојановића (1967) открићем минерала хаулита у Побрђском потоку. Од 1979. започела су интензивнија геолошка истраживања бората Јарандола на бази минералогетске анализе и прогнозе. У првој фази израђена је геолошка карта басена (1:10000), а потом је урађена детаљна геохемијска проспекција на бор у ужем простору Побрђског потока. На основу ових резултата пројектовани су истражна бушења и рударски истражни радови. Позитивни истражни радови изведени, са мањим прекидима, од 1979. до 1995. доказали су да поред лежишта Подбрдски поток (западни део басена), постоји и лежиште Пискања, откривено истражним бушењем

\* Рударско–геолошки факултет, Универзитета у Београду, Бвшина 7, Београд.

\*\* Геозавод, Институт за неметале, Карађорђева 48, Београд.

1988. (југоисточни део басена). Оба лежишта још увек инсу просторно оконтурена, али је значајно сазнање да код оба постоје два рудна слоја, при чему се код лежишта Пискање они налазе на већој дубини и веће су дебљине (сл. 1, 2).



Сл. 1. Тектонска скица Јарандолског басена и лежишта минералних сировина (по Б. Максимовићу 1984, и С. Аничич – Л. Секе, 1994). Легенда: 1. Лежиште борних минерала (Побррски поток); 2. Лежиште борних минерала (Пискања); 3. Зона ислуж. борних минерала (Расповићи); 4. Угљоносни простор Јарандола; 5. Лежиште магнезита (Бела Стена); 6. Рудно тело магнезита (Боравак); 7. Рудно тело магнезита (Слане Воде); 8. Перспективан простор за магнезите; 9. Предрудни раседи са спуштеним блоком; 10. Предрудни раседи са спуштеним блоком; 11. Пострудни раседи са спуштеним блоком; 12. Перспективни простор за борне минерале; 13. Контуре басена.

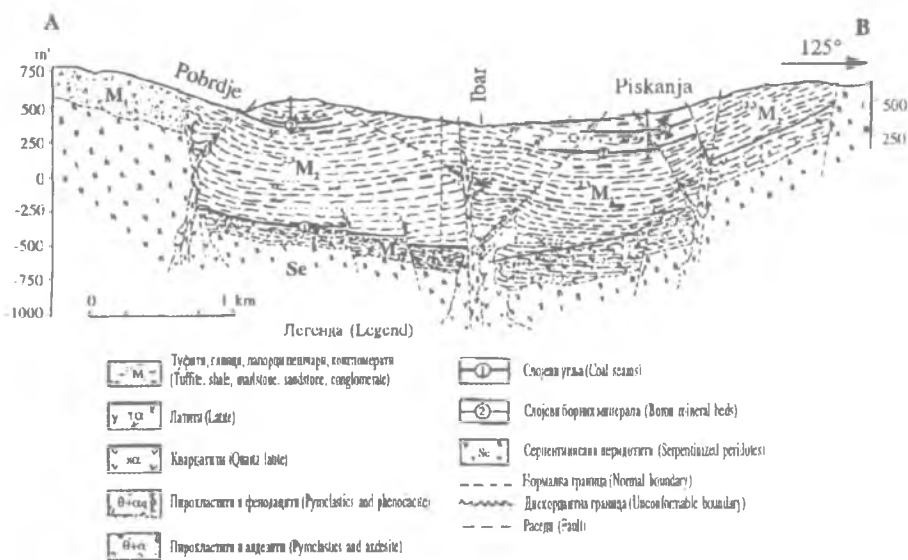
Fig. 1. Tectonic map of Jarandol basin and mineral ore bodies (after B. Maksimović, 1984; and S. Aničić and L. Seke, 1994). Legend: 1. Podbrdski Potok boron mineral deposit; 2. Piskanja boron mineral deposit; 3. Haspanovići boron mineral leaching zone; 4. Jarandol coal field; 5. Bela Stena magnesite deposit; 6. Boravak magnesite ore body; 7. Slane Vode magnesite ore body; 8. Prospective magnesite deposit; 9. Inferred pre-ore faults; 10. Pre-ore faults with down-thrown block; 11. Post-ore faults with down-thrown block; 12. Prospective boron mineral deposit 13. Basin contour.

Исказана схватања о генези ових лежишта бората уопштено се свде да припадају вулканогено-сидиментном типу, без детаљније анализе услова, начина и времена постанка. Аутори су управо на бази анализе и синтезе досадашњих релевантних геолошких истраживања и ироучавања покушали ближе дати тумачење о геиетским карактеристикама, овог, у светским размерама веома значајног генетског и индустријског типа лежишта бората.

### ПРИМЕЊЕНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА, ИСПИТИВАЊА И ПРОУЧАВАЊА

На бази сазнања о постојању миинерала бора хаулита у лимничком миоценском басену Јараидола и прогнозно минерагенетске анализе могућег развоја ових типова

лежишта бората, првенствено у нашим неогеним басенима који се налазе у оквиру појединих терцијарних вулканских области Србије, започела су интензивнија геолошка истраживања и проучавања бората Јарандола. Детаљна геолошка карта била је подлога за све остале видове проспекцијских метода (геолошка, геохемијска, геофизичка), а резултати истражног бушења (Побрђски поток, Пискања), као и рударских истражних радова у Побрђском потоку, пружили су услове за поједина детаљна испитивања и проучавања морфоструктурне грађе лежишта, услова залегања, развића минералног састава и парагенезе, хемијског састава руде, седиментолошка, стратиграфска и друга испитивања. Основно и битно сазнање односи се на доказана два рудна слоја, како у Побрђском потоку, чија је просечна дебљина 1,0 m, односно 1,3 m, тако и у Пискањи, дебљине 4,6 m и 3,3 m. Лежиште у Побрђском потоку досадашњим истражним радовима оконтурено је на површини од 25 ha, а Пискања на око 2,5 km<sup>2</sup>, за која, допунским пројектом истражних радова треба да се у целини оконтуре лежишта у простору и дефинише обим њихове сировинске базе.



Сл. 2. Геолошки профил кроз Јарандолски басен (по С. Аничићу, 1994)  
Fig. 2. Geologic section through Jarandol basin (after S. Aničić, 1994).

Паралелно са извођењем истражних радова вршена су разноврсна испитивања и проучавања, првенствено минералног и хемијског састава бората, а затим, седиментолошка и стратиграфска испитивања лимничке вулканогено-седиментне серије басена. Хемијске анализе показале су да средњи садржај  $B_2O_3$  износи 37,7% за оба рудна слоја у лежишту Побрђски поток и 36,39% за оба слоја у лежишту Пискања. Поред стандардно анализираних компоненти за ове минералне сировине, доказано је и присуство Li, Sr, Ba, а затим и незнатно присуство у руди битумије. Поред минералošких испитивања (микроскопска, рентгенска, ДТА и др.), вршене су микро анализе и изотопска испитивања.

Сва ова теренска и лабораторијска испитивања и проучавања, значајно су утицала на наша сазнања и схватања о генези лежишта, еволуцији и грађи басена,

саставу и седиментолошким карактеристикама лимничких седимената, вулканита, минералном саставу руда бората и боросиликата, као и откриће нових минерала бора. Отварањем лежишта рударским радовима пружиће се могућност нових и допуских видова испитивања и проучавања у циљу потпунијег објашњења услова образовања, овог песумњиво генетски и економски значајног типа лежишта бората.

## ЕВОЛУЦИЈА И ГЕОЛОШКА ГРАЂА МИОЦЕНСКОГ БАСЕНА ЈАРАНДОЛА

Магматско–тектонски покрети у области Копаоника и шире, по свему судећи започели су крајем олигоцена и наставили се током неогена, а посебно за време миоцена. Са процесима активизације, диференцијације и консолидације вулканогено–интрузивног комплекса калко алкалне магме у субвулканском и вулканском нивоу, западно од долине Ибра (Ушће–Рашка) издигнут је блок Голије, а источно, Копаоника. Издизање ових блокова у чијим су језгрима интрузивна тела гранодиоритског састава са пробојима, дајковима и изливима дацито–андезита, кварцлатита, латита и њихових пирокластита, праћено је спуштањем блока дуж долине Ибра (С–Ј) у коме је формирана депресија. У тој депресији–потолини (или тектонском рову) почетком миоцена формиран је лимнички басен. На овакву еволуцију, у почетном стадијуму, Јарандолског лимничког миоценског басена (заједно са басенима Ушћа, Тадења, Рвати) указало је више аутора, који су ове и суседне области изучавали (Илић, 1952; Стајевић, 1991; Obradović i dr., 1992, 1995; Joksimović i dr., 1995; Vukašinić i dr., 1995; Janković, 1995, и др.). На карактер издизања и спуштања ових блокова, а на бази морфоструктурне анализе сателитских и аеро снимака, Стајевић (1991) истиче да би Ибарска депресија одговарала спуштеним апикалним деловима мегасвода који су настали пражњењем и дегазацијом централног магматског огњишта. Joksimović i dr. (1995) истичу да је Јарандолски басен формиран раседањем блокова серпентинита и старијих дацито–андезита у средини са изузетно живом полифазном вулканском активношћу. Vukašinić i dr. (1995) истичу на основу интерпретације аеромагнетских испитивања да су у овом басену изражене негативне аномалије. Janković (1995) наводи да Јарандолски басен вероватно представља једну разорену калдеру, која је током миоцена запуњавана лимничким седиментима. Сва наведена, као и нека раније исказана тумачења и интерпретације о узроцима формирања, еволуцији и геолошкој грађи Јарандолског лимничког миоценског басена, у крајњем су у сагласности. Таква схватања и тумачења, сматрамо да су коректна научна основа услова образовања и еволуције Јарандолског лимничког миоценског басена, у коме су просторно размештена лежишта каменог угља, магнезита и бората. Током своје еволуције кроз доњи и средњи миоцен у више временских интервала, а и позније, вршено је тектонско продубљавање басена, праћено изливашњем и пробојима вулканита, тако да дубина басена према подацима бушења износи око 1000 m, а према геофизичким испитивањима најдубљи делови и до 1500 m.

Фуидамент, односно подипу и обод Јарандолског неогеног басена чије јурски серпентинити, делом и старији андезити. Почетком доњег миоцена образована је депресија у којој су након таложења подинских седимената угља (10–30 m), при условима топле хумидне климе у плитководној средини мочваре стварана лежишта угља, претежно у северном делу басена. Анализом продуктивног угљоносног хоризонта (60–120 m) са 6 угљених слојева (Јеленковић, 1975), може се закључити да је већ у том периоду долазило до прекида у стварању лежишта угља као последица

продубљивања басена изазвана радијалном тектоником и магматском активношћу. Већ у то време, а и позније па слојеве угља и околине седименте вршен је енормни утицај геотермског флукса, при чему је значајно повишен степен карбонификације, тако да су образовани камени угљеви, као својеврсни природни феиомен, како то истиче Pantić (1995). Такав топлотни утицај са пратећим хидротермалним гасовито–течним флуидима, имао је несумњиво битног утицаја и на образовање лежишта бората.

Након седиментације подинске серије и продуктивног угљоносног хоризонта, што се према испитивањима фосилне флоре (Pantić, 1961) одиграло током доњег миоцена, надаље, током средњег миоцена континуирано је вршена седиментација типичних језерских фација. Ови седименти, наизменично стратификовани, изграђени су од ситнозрних туфогених кластита, глинаца, лапораца, аркоза и доломитичних карбоната. У јужном делу басена, практично уз обод серпентинита у серији финозрних кластита са карбонатним и туфогеним седиментима образована су лежишта магнезита (Бела Стена, Боравак и др.). У горњим нивоима серије средњег миоцена извршена је депозиција бората у форми слојевитих тела. Током највећег дела средњег миоцена, према испитивањима Obradović i dr. (1992, 1995) владали су услови претежно аридне климе, а седименти су таложени у алкалној средини са палеотемпературама од 0–50°C. Дебљина лимничких седимената средњег миоцена износи 500–700 m у чијим се горњим нивоима просторно налазе лежишта бората у форми два слоја.

Судећи на бази суперпозиционих односа, услова депозиције и орудавања, поред слојевите морфоструктурне грађе, уочљиве су орудијене жилице, бројанице и мугле у наведеним седиментима, посебно у непосредној подини и кровини рудних слојева. На основу таквих односа стиче се утисак да је најмање у два временска интервала током горњег дела средњег миоцена, а могуће и позније, извршена интензивна депозиција борних минерала из гасовито–течних хидротермалних флуида.

На основу анализе стратиграфског и седиментолошког стуба, као и суперпозиционих односа вулканита подине, обода и оних који пробијају миоцену седиментну серију, несумњиво проистиче да је еволуција басена и таложење језерских седимената током миоцена праћена интензивном и временски вишефазном вулканском активношћу и радијалном тектоником. Карактер таквих процеса и збивања у подручју Јарандола и шире околине Копаоника одржава се и у савременим условима преко неотектонских померања, сеизмичке активности и утицаја термалног флукса.

## УСЛОВИ ОБРАЗОВАЊА, ВРЕМЕ ПОСТАНКА И ГЕНЕЗА БОРАТА ЈАРАНДОЛА

Образовање лежишта бората у лимничком миоценом басену Јарандола, несумњиво је просторно и генетски повезано са неогеном магматско–тектонском активношћу ових простора Србије. Јарандолски басен у суштини представља депресију – тектонски ров запуњен језерским седиментима, у коме су се изливали или их пробијају вулканити интермедијарног састава. На основу просторног положаја, два основна рудна слоја међуслојно залежу у горњим нивоима средњег миоцена у оквиру серије глинаца, лапораца, пешчара, туфогених и карбонатних седимената. Поред основне слојевите морфоструктурне грађе, минерали бора у непосредној подини и повлати појављују се у виду жилица бројаница и мугли. У рударским истражним радовима (Побрђски поток) уочава се да борати делом метасоматски потискују посебно карбонатну материју, а као повољна литолошка средина су стене пови-

шене порозности. Основне екранизирајуће стене су глиновитог, алевролитског и туфогеног састава.

На основу суперпозиционих одпоса и новезаности вулканита интермедијарног састава са лежиштима бората Јарандола, може се закључити да су рудоносни хидротермални флуиди обогаћени бором извршили депозицију у најмање два временска интервала током горњег дела средњег миоцена, а могуће и позније. Продуктивни део серије у којој се налазе лежишта бората просторно су у виду благе синформе. Оба лежишта су раседима деформисана и по свему судећи, раздвојена су пострудном тектоником, посебно Ибарским раседом, тако да се сада лежиште Пискања налази на знатно већој дубини залегања у односу на Побрђски поток.

Код лежишта Побрђски поток основни рудни минерал је колеманит (преко 85% састава), са пратећим хаулитом. У лежишту Пискања основни рудни минерали бора су колеманит и улексит. Као сиоредни и ретког појављивања регистровани су ињојит, калциборацит, вичит, nobелит, а затим пробертит, тинкал, тинкал–конит, хидроборацит. Као нови минералн бора регистровани су рашит и студеницит. Поред калцита, занимљива је појава битумије у виду смоластих грудвица и капљица које запуњавају шупљине у агрегату руде. Ова појава се тумачи интензивним термичким утицајем на органску супстанцу која је дисиминирапа у седиментима. У појединим анализираним узорцима, поред бора, доказано је присуство Li, Sr, Ba, као геохемијски индикаторних компоненти за овај тип лежишта.

На основу досадашњих свих релевантних истраживања и проучавања може се извести закључак да лежишта бората у Јарандолском лимничком миоценском басену припадају хидротермалиом вулканогено седиментном типу. Она су несумњиво генетски повезана са калко–алкалним магматизмом, чији су диференцијати консолидовани у субвулканском и вулканском нивоу на овим просторима. Из хидротермалних гасовито течних флуида обогаћених бором извршена је депозиција минерала бора у екранизирајућој средини језерских седимената у форми слојева за време горњег дела средњег миоцена, а могуће и позније.

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	60	1	449-459	Београд, децембар 1996 Belgrade, Decembre 1996
--	----	---	---------	---

UDC 553.061.12/.17:553.637(497.11)

Original scientific paper

## GENETIC TYPE OF BORATE DEPOSITS IN JARANDOL MIOCENE LAKE BASIN, SERBIA

by

Čedomir Mudrinić\* and Stojan Aničić\*\*

Prospectings and studies of borate deposits in the Miocene limnic basin of Jarandol from 1967 to 1995 were quite successful in identifying the genetic type and estimating the economic value of the deposits. On the basis of many diverse geological, geochemical, sedimentological, mineralogical, chemical, and some other studies, this is an attempt to interpret the formation conditions, time and origin of this type of deposit of a general significance. In the opinion of the authors, and on the basis of relevant investigations and studies, and correlations with similar genetic types of deposits over the world, primarily in Turkey and in California, borate deposits in the lake basin of Jarandol are of the hydrothermal volcanic–sedimentary type.

Though similar to other borate deposits, the Jarandol borate deposits have some specific genetic characteristics as a result of the local geologic evolution, morphostructure and development of mineral paragenesis, and include new mineral species.

**Key words:** Jarandol basin, Boron minerals, hydrothermal volcanic–sedimentary deposits.

### INTRODUCTION

The Miocene limnic basin of Jarandol, about 22 km<sup>2</sup> in surface area, was much studied in this century (1907–1995), primarily for the numerous proved mineral deposits and occurrences of bituminous coal, magnesite and borate. The coal deposit is worked, magnesite is excavated (Bela Stena), and borate deposits are explored.

The first mention of boron mineral in Jarandol basin is made by Stojanović (1967) when haulite mineral was found in the Podbrdski Potok. More detailed geological investigation for Jarandol borate was carried out from 1979, on the basis of mineral genetic analysis and forecast. The first stage of investigation included preparation of a geological map of the basin (1:10.000) and detailed geochemical prospecting for boron in the Podbrdski Potok proper. The acquired information was used in planning exploratory drilling and mine workings. These works were carried out with short breaks from 1979 to 1995. Besides the Podbrdski Potok de-

---

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

\*\* Geozavod, Institute of Nonmetallic Ores, Karadorđeva 48, Belgrade.

posit (western part of the basin), drilling of 1988 discovered Piskanja deposit (southeastern part of the basin). Neither deposit has been outlined, but it was learned that each consisted of two ore beds, deeper and thicker at Piskanja than the other (Figs. 1, 2).

Published explanations of the origin of these borate deposits can be generally summarized as being the volcanic-sedimentary type, without an analysis of the conditions, manner and time of formation. It is on the basis of both analysis and synthesis of relevant geological information that the authors try to interpret the genetic type of this internationally significant borate deposit.

## METHODS OF INVESTIGATION, TESTING AND STUDY

The knowledge of the presence of boron mineral haulite in Jarandol limnic Miocene basin and the estimate of its reserves, primarily in Neogene basins within some Tertiary volcanic regions of Serbia, led to intensified geologic prospecting and study of Jarandol borates. A detail geological map was the base for all other investigation (geological, geophysical) methods, and the drilling (Podbrdski Potok, Piskanja) and mine explorations provided information for further detailed study of the morphostructure of deposits, strike and dip, mineral ore distribution and paragenesis, chemical composition of ore, sedimentological, stratigraphical and other studies.

The starting point was the proved ore beds of average thicknesses 1.0 m and 1.3 m at the Podbrdski Potok, and 4.6 m and 3.3 m at Piskanja. The outlined extent of ore beds in the Podbrdski Potok has 25 ha in surface area, and about 2.5 km<sup>2</sup> at Piskanja which is yet to be additionally explored for the extent and economic estimate.

The explorations in field were paralleled with various tests and studies, foremostly mineral and chemical compositions, and sedimentological and stratigraphical studies of the limnic volcanic-sedimentary series in the basin. Chemical analyses showed the average B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content of 37.7% for both ore beds at the Podbrdski Potok, and 36.39% for both beds at Piskanja. Besides the standard components in this type of mineral ore, it contains Li, Sr, Ba, and negligent bitumies. Microscopic and isotopic analyses were performed in addition to mineralogical ones (microscopy, X-ray, DTA, etc.).

All the mentioned investigations resulted in a much better knowledge of the deposit origin, evolution and structure of the basin, composition and sedimentary character of the limnic deposits, igneous rocks, mineral composition of borate and borosilicate ores, and identification of new boron minerals. With the development of the deposits by mine workings, new investigations and studies will be possible for explanation of the formation of the certainly significant, genetically and economically, borate deposits.

## EVOLUTION AND GEOLOGY OF THE JARANDOL MIOCENE BASIN

Magmatic and tectonic movements in the general region of Kopaonik seem to had begun in the late Oligocene, continued during the Neogene, and were notable particularly in the Miocene. The processes of activation, differentiation, and consolidation of the volcanic intrusive complex of calc-alkalic magma at subvolcanic and volcanic levels, west of the Ibar valley (Ušće-Raška), elevated the Golija and Kopaonik blocks. The uplifting of the blocks, which included bodies of granodioritic composition with intrusions, dykes



and extrusions of dacite–andesite, quartz latite, latite and their pyroclastics, was paralleled with the down–throw of a block along the Ibar valley (N–S) and formation of a depression. The limnic basin formed in this depression (or tectonic trough) in the early Miocene. This evolution, its early stage, of the Jarandol limnic Miocene basin (and Ušće, Tadenje, Rvati basins) is mentioned by authors who studied this and adjoining regions (Ilić, 1952; Stajević, 1991; Obradović et al., 1992, 1995; Joksimović et al., 1995; Vukašinović et al., 1995; Janković, 1995; etc.). Referring to the nature of the up– and down–throwing of blocks, and on a morphostructural analysis of satellite and aerial photographs, Stajević (1991) states that the Ibar depression could have been the subsided apical parts of a megaarch, formed by emptying and degasation of the central vent. Joksimović et al. (1995) describe the formation of Jarandol basin by faulting of blocks of serpentinite and old dacite andesite in the middle and very strong multiphase volcanism. Vukašinović et al. (1995) state, on the basis of aeromagnetic survey interpretations, negative anomalies in the basin. Janković (1995) interprets the Jarandol basin as a likely collapse caldera which was filled during the Miocene with limnic deposits. All the mentioned, and some earlier published explanations and interpretations of the formation, evolution, and geology of Jarandol limnic basin, are essentially consistent, and we take them for a correct scientific background. Through several intervals of its Lower and Middle Miocene history, and later, the basin deepened in tectonic events and received extrusions and intrusions of igneous rocks; the measured depth of the basin is about 1000 metres (drilling) or to 1500 metres (geophysical survey).

Rocks lying under and around the Jarandol basin are Jurassic serpentinites, and partly pre–existing andesites. In the depression formed in the early Lower Miocene, pre–vailingly in its northern part, a coal measures unit was deposited composed of the lowest sediments (10–30 m) and coal seams formed in a shallow–water marsh environment during the warm and humid climate. The analysed productive coal measures (60–120 m) with six coal seams (Jelenković, 1975) suggest possible breaks in coal deposition as a consequence of the basin deepening caused by radial faults and magmatism. At the time of deposition, and later, coal beds were much affected by geothermal heat flows which led to increased carbonification and bitumenization, a specific natural phenomenon, as stated by Pantić (1995). This thermal effect of the gaseous and liquid fluids flow was certainly essential for the formation of borate deposits.

The deposition of coal measures, which occurred, according to fossil flora identification (Pantić, 1961), during the Lower Miocene, was succeeded by a continuous deposition of typically lake facies. These deposits are composed of a sequence of fine–grained tuffaceous clastics, shales, marlstones, arkoses, and dolomitic carbonate rocks. In the south of the basin, by the serpentinite margin, in a series of finegrained clastics and carbonate and tuffaceous sediments, magnesite deposits were formed (Bela Stena, Boravak, etc.). Borate was deposited in stratified bodies at upper levels of the Middle Miocene series. Arid climate prevailed through most of the Middle Miocene, when sediments deposited in an alkaline environment at temperatures between 0° and 50° C. Limnic deposits of the Middle Miocene vary in thickness from 500 to 700 metres and bear borate beds in the upper levels.

In addition to layered bodies, notable are mineral veins, strings and nodules in the deposits, more numerous under and over the ore bodies. These formations suggest fast

deposition of boron minerals from gaseous or liquid hydrothermal fluids during two intervals of the upper Middle Miocene, and later.

It was deduced from the stratigraphic and sedimentological column, and from the superposition of volcanic rocks underlying, marginal or intruding the Miocene sedimentary series, that the deposition of lake sediments during the Miocene was accompanied by strong widespread volcanism and radial faulting. The nature of these processes and events in Jarandol and general Kopaonik region is reflected on the recent situation: neotectonic displacements, seismic activity and thermal heat flow effects.

### CONDITIONS AND TIME OF JARANDOL BORATE FORMATION

The formation of borate deposits in the limnic Miocene Jarandol basin is certainly spatially and genetically related to Neogene magmatic and tectonic activities in the region. Jarandol basin is basically a depression or tectonic trough filled with lake sediments, into which intermediate igneous rocks were extruded or intruded. Two main ore beds are interstratified in the upper Middle Miocene levels of a series of shales, marlstones, sandstones, tuffaceous and carbonate rocks. Both over and under the ore beds, boron minerals occur in veins, strings or nodes. Borates are noted in mine workings (Podbrdski Potok) as a metasomatic replacement of carbonate rocks of increased porosity. Principal crusting rocks contain high percents of clay, silt or tuff.

From the superposition and the relation of intermediate igneous rocks with borate deposits of Jarandol, it has been inferred that boron-high ore-bearing hydrothermal fluids deposited in at least two intervals of the upper Middle Miocene, and possibly later as well. The productive part of the series including borate deposits is a gentle synform. Both deposits are deformed by faults and seem to have been separated by a post-ore tectonic event, most likely the Ibar fault. The Piskanja deposit lies at present at a much greater depth than that of the Podbrdski Potok.

The essential ore mineral in the Podbrdski Potok is colemanite (over 85%), and the accessory is haulite. Essential minerals in Piskanja are colemanite and ulexite, and the rare accessories are inyoite, calciborite, vichite, nobleite, and probertite, tincal, tincalconite, hydroboracite. New boron minerals are rashite and studenicite. Besides calcite, the occurrence is notable of bitumies in the form of resinous nodules or drops filling voids in ore aggregates. This occurrence is explained by a high thermal effect on the organic matter disseminated in the deposits. Some of analysed samples contained, additionally to boron, Li, Sr, Ba which are geochemical index components of this type of deposit.

On the basis of all relevant investigations and studies, the borate deposits of the Jarandol limnic Miocene basin belong to the hydrothermal volcanic-sedimentary type. The deposits are certainly related to the calc-alkalic magmatism, whose differentiates consolidated in subvolcanic or volcanic level of this region. Boron mineral deposited in layers from the boron-high hydrothermal gaseous-liquid fluids in crusted lake shore sediments during the upper Middle Miocene, or possibly later as well.

### ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Janković S., 1995: Opšte metalogenetske karakteristike Kopaoničke oblasti.– Simpozijum: Geologija i metalogenija Kopaonika, 79–101, Beograd–Kopaonik.
- Јеленковић Ј. (=Jelenković), 1975: Ибарски басен. У: Петковић К (ур.) Геологија Србије – каустобиолити, књ. VII, 1.– Завод за регионалну геологију и палеонтологију, 58–64, Београд.
- Joksimović D., Aničić S., Stefanovska D. i Seke L., 1995: Mineralno–sirovinska potencijalnost Jarandolskog basena.– Simpozijum: Geologija i metalogenija Kopaonika, 350–368, Beograd–Kopaonik.
- Malinko S. V., Aničić S., Joksimović D., Liscin A. E., Dorokova G. I., Jaumova M. A., Vlasov V. V. i Ozol A. A., 1995: Studenicit  $\text{NaCa}_2\text{B}_3\text{O}_{14}(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , novij borat iz Srbije, Jugoslavija.– Zapiski vserossijsogo mineralogičeskogo obščestva, č. CXXIV, No. 3., Moskva.
- Obradović J., Stamatakis G. M., Aničić S. and Economou S. G., 1992: Borate and borosilicate deposits in the miocene Jarandol basin, Serbia, Yugoslavia.– Economic Geology, vol. 87., number 8, 2169–2174.
- Obradović J., Karamata S., Vasić N. i Grubin N., 1995: Karakteristike lakustrinskih sedimentata Jarandolskog basena.– Simpozijum: Geologija i metalogenija Kopaonika., 147–155, Beograd–Kopaonik.
- Pantić N., 1961: O starosti ugljunosne sedimentne serije kod Jarandola (dolina Ibra) na osnovu novih paleoflorističkih podataka.– Vesnik Zavoda za geol. i geof. istr., XIX, 287–299, Beograd.
- Pantić N., 1995: O jednom geološkom fenomenu, miocenskim kamenim ugljevima Kopaoničke oblasti.– Simpozijum: Geologija i metalogenija Kopaonika, 398–401., Beograd–Kopaonik.
- Stajević B., 1991: Tercijarne tektono–magnatske strukture Kopaoničke oblasti i njihov metalogenetski značaj.– Tehnika, rudarstvo, geologija, metalurgija, XLII, br. 11–12, 738–740, Beograd.
- Stojanović D., 1967: Haulit iz Jarandolskog tercijarnog basena.– VI Savetovanje geologa Jugoslavije, Ohrid, knj. 3, 35–42, Skopje.
- Vukašinović S., Banović Ž. i Nikolić D., 1995: Osnovne geološke implikacije aeromagnetskih podataka Kopaonika i šireg prostora.– Simpozijum: Geologija i metalogenija Kopaonika, 229–234, Beograd–Kopaonik.