

ZLATA MAGDA LENIĆ i BISERKA ŠČAVNIČAR

AUTIGENI TURMALIN U SEDIMENTNIM STIJENAMA SJEVERNE DALMACIJE I JUGOZAPADNE BOSNE

S 5 tabli u prilogu

Autigeni turmalin se u istraženom području pojavljuje u sedimentima gornjeg perma, eocena i miocena. Autigeneza turmalina se manifestira najčešće u obliku sekundarnog izrastanja na jezgri detritičnog turmalina. Razmatrani su problemi postanka autigenog turmalina u navedenim sedimentima.

UVOD

Detaljnim petrografskim istraživanjima sedimentnih stijena iz područja sjeverne Dalmacije i jugozapadne Bosne, opažena je pojava turmalina s autigenim izrastanjima u sedimentima nekoliko stratigrafskih jedinica. Turmalin s autigenim izrastanjima je nađen u klastitima gornjeg perma iz okoline Drniša, Knina i Kulen Vakufa, u eocenskim kalklitima iz područja Posedarja, Ervenika i Benkovca, te u miocenskim pjeskovitim kalkarenitima iz područja Lupine kod Kulen Vakufa. Pretaloženi turmalin s djelomično abradiranim autigenim izrastanjem je nađen u kvartarnim sedimentima iz područja Krbavskog polja i šire okoline Zadra.

Autigeni turmalin u sedimentnim stijenama su opisali: Déverin, (1934), Krynine (1946), Valetton (1955), Gokhale & Bagchi (1959), Awasthi (1961), Pastuhova (1965a), (1965b), Gelecyan (1967), Govinda Rajulu & Nagaraja (1969) i drugi. Na pojavu autigenih turmalina u vapnencima iz područja hrvatskog krša ukazao je Tućan (1911, 1933).

U Fondu dokumenata Instituta za geološka istraživanja u Zagrebu nalaze se podaci o pojavi autigenih turmalina u našim krajevima. U petrografskoj obradi sedimentnih stijena sjeverne Dalmacije, Like i jugozapadne Bosne, autigeni turmalin osim autora spominju Jović (1964, 1965), Šimunić (1965) i Mutić (1967).

AUTIGENI TURMALIN U PJEŠČENJACIMA GORNJEG PERMA

Autigeni turmalin opažen je u pješčenjacima iz serije crvenih klastita gornjeg perma, koji prate naslage gipsa na području Drniša, Knina, Srba i Kulen Vakufa (tab. V). To su pretežno pješčenjaci tipa protokvarcita, sa 75–90% kvarca u odnosu na ukupni prisutni detritus. Ostali detritični sastojci su čestice rezistentnih stijerna, feldspati, muskovit i klorit. Cement je pretežno kvarcni, taložen u optičkom i kristalografskom kontinuitetu oko detritičnih kvarcnih zrna. Klorit-sericitni matriks nalazi se u nekim varijetetima pješčenjaka koji pokazuju vezu s grauvakama, a koji su zbog zrelosti detritusa determinirani kao kvarc-grauvake. Feruginozni, hematitni i limonitni pigment je općenito čest. Sadržaj teških minerala izdvojenih iz ovih pješčenjaka varira od 0,1–1,5%. Teška frakcija siromašna je mineralnim vrstama. Dominiraju cirkon i turmalin uz uvijek prisutni rutil, dok se sporadično ili u neznatnim količinama pojavljuju brukit, apatit, epidot, bari i korund.

Turmalin iz teške frakcije pješčenjaka gornjeg perma privlači pažnju zbog osobitosti sekundarnog rasta, tj. izrastanja autigenog zelenkastog i plavo-zelenkastog turmalina na većini zrna detritičnog turmalina (tab. I, sl. 1–12). Rjeđe se nađu samostalni prizmatski izduženi i igličasti kristalici autigenog zelenog turmalina.

Detritična jezgra turmalina na kojoj je rastao autigeni turmalin ima oblik nepravilnog zrna, krhotine ili prizmatskog kristala bez terminalnih ploha. Zbog abrazije ona je poluzaobljena ili subangularna, a rijetko izrazito angularna. Njene dimenzije variraju od cca 0,05–0,20 mm. Detritična jezgra turmalina je najčešće smeđasta, a rjeđe zelenosmeđasta i ružičastosmeđa. Može sadržavati inkluzije crne praškaste ugljevitve supstance. Pleohroizam je jak: O = tamnosmeđe, tamnozeleno, crno; E = smeđe, zelenosmeđe, ružičastosmeđe.

Vrijednosti za indekse loma koji su izmjereni imerzionom metodom na nekoliko detritičnih jezgri smeđastih i zelenosmeđastih turmalina iznose: $N_O = 1,645-1,648$ i $N_E = 1,624-1,627$, što ukazuje na manje razlike u sastavu detritičnog turmalina.

Izrastanje autigenog turmalina se uvijek vrši u smjeru osi *c* na jednom polu kristala, a u optičkom kontinuitetu sa detritičnim zrnom turmalina, tj. s istom optičkom orijentacijom. Autigeni turmalin ima oblik složenih, paralelno grupiranih prutičastih kristala, koji rastu različitim intenzitetom i brzinom, završavajući stepeničasto ili zubičasto. Rjeđe je zona izrastanja homogena kristalna tvorba. U nijednom slučaju novo izrasli turmalin ne završava piramidskim ploham. Visina izrastanja je različita i varira od 0,025 do 0,20 mm. Odnos veličine detritičnog i autigenog dijela turmalina varira od 1:0,2 do 1:4,5.

Autigeni dijelovi turmalina su zelenkaste boje, prozirni i obično bez uklopaka. Potamnjuju paralelno. Optički karakter zone izduženja je negativan. Pleohroizam je dosta jak: O = intenzivno zeleno ili tamno-plavoze-

leno; $E = \text{blijedozeleno}$, blijedosmeđe . Indeksi loma, izmjereni metodom imerzije na više zrna autigenog turmalina iznose $N_0 = 1,646 \pm 0,001$; $N_E = 1,621 \pm 0,001$.

Potpuna sačuvanost novoizraslih djelova turmalina usprkos finoće izrastanja, nejednolike visine zubičastih završetaka ili pojedinačnih istaknutih prutića, ukazuje da su rasli »in situ«. Oni ispunjavaju raspoložive šupljini- ce u sedimentu. U mikroskopskim preparatima pješčenjaka vide se detritič- na zrna smeđeg turmalina sa zelenim autigenim izrastanjima, koja se pro- težu u preostali prostor među zrnima. Nema znakova koji bi ukazivali da su autigeno rasla turmalinska zrna bila transportirana i pretaložena u kvarcne pješčenjake perma iz starijih stijena.

AUTIGENI TURMALIN U EOCENSKIM KLASTIČNIM KARBONATNIM STIJENAMA

Autigeni turmalin je utvrđen u teškoj frakciji eocenskih klastičnih karbo- natnih stijena iz područja Posedarja, Obrovca, Ervenika i Benkovca (tab. V). Seriju klastičnih karbonatnih sedimenata u ovom području izgrađuju kalklititi (kalklitit-areniti i kalklitit-ruditi) u izmjeni s glinovitim kalci- litima i laporima.

U kalklitit-arenitima sjeverno od Posedarja utvrđena su među teškim mi- neralima brojna zrna i kristali autigeno raslih turmalina. Kalklitit-arenite izgrađuju fragmenti starijih karbonatnih stijena (pretežno fragmenti kred- nih vapnenaca), pretaloženi fosilni detritus, kvarc detritičnog i vulkanoge- nog porijekla, feldspati, čestice pelita i kvarcita, čestice izgrađene od mikro- kristalastog SiO_2 (čert i devitrificirano vulkansko staklo (?)) i listići klorita, muskovita i biotita. Količina teških minerala u ovim stijenama je manja od 0,15%, ali se pojavljuje veliki broj mineralnih vrsta; među njima do- miniraju turmalin, cirkon i granat, sporedni su rutil i kromit, a rijetki ti- tanit, staurolit, disten, epidot, kloritoid, brukit, anatas, andaluzit i amfibol. Kod skoro svih zrna turmalina je opažena pojava sekundarnog rasta. Auti- geni turmalin je rastao u optičkom kontinuitetu s detritičnim jezgrom tur- malina.

Jezgra autigeno raslih turmalina je nepravilna, malo zaobljena, rjeđe je ograničena kristalnim ploham. Dužina jezgre u smjeru osi c je od 0,02–0,12 mm, a okomito na to od 0,02–0,08 mm. Pleohroizam je izrazit: $O = \text{zelen}$, zelenosmeđ , tamnosmeđ do crn ; $E = \text{blijedozelen}$, $\text{blijedo-ze- lenosmeđ}$, svijetlo smeđ , ružičastosmeđ .

Autigeni turmalin najčešće obrasta detritično zrno turmalina tako, da ga regenerira do kristalne forme. Stvoreni su idiomorfni prizmatski kristali koji su na jednom kraju ograničeni ploham piramide (tab. II, sl. 1, 3, 4, 6, 8, 9; tab. III, sl. 2, 6). Rjeđe se javljaju »nedovršeni« kristali tur- malina stepeničaste površine (tab. III, sl. 7) ili zubičasta izrastanja u smje- ru osi c , razvijena samo na jednom dijelu detritične jezgre.

Granica između autigeno raslog dijela turmalina i detritične jezgre je najčešće oštra, rjeđe se opažaju postepeni prelazi. Kod postepenog prelaza se vidi zona »korijena« između detritičnog i autigeno raslog turmalina. Autigeno rasli turmalin je najčešće proziran, rijetko sadrži inkluzije. U analiziranim stijinama se, ovisno o sastavu turmalinske jezgre pojavljuju dva tipa autigeno raslih turmalina, tj. bezbojni i blijedo-plavozelenkasti. Na jezgri turmalina zelene boje rastao je bezbojni autigeni turmalin, dok se na detritičnim zrnima turmalina smeđe ili smeđezelenkaste boje razvio blijedo-plavozelenkasti autigeni turmalin.

Indeksi loma bezbojnih autigenih turmalina mjereni u imerzionim tekućinama iznose: $N_0 = 1,629$; $N_E = 1,609 \pm 0,001$. Dužina autigenog turmalina (u smjeru osi c) je od 0,01–0,09 mm. Dužina jezgre i autigeno izraslog dijela iznosi od 0,03–0,15 mm, a njihova debljina od 0,05 do 0,14 mm.

Autigeni turmalin iz karbonatnih stijena kod Obrovca opisao je T u ć a n (1913).

Petrografskim istraživanjima eocenskih klastičnih karbonatnih stijena iz područja zapadno od Ervenika, jugoistočno od Benkovca i sa lokaliteta Zeleni Hrast jugozapadno od Posedarja, utvrđena su među akcesornim teškim mineralima rijetka zrna autigeno raslih turmalina. To su pretežno zubičasta izrastanja u smjeru osi c na detritičnom turmalinu (tab. III, sl. 9, 10), a rjeđe autigeni turmalin regenerira detritičnu jezgru do forme prizme koja je na jednom kraju ograničena plohami piramide. Ovisno o sastavu turmalina u jezgri, autigeno rasli turmalin je bezbojan ili blijedo-plavozelenkast.

OSVRT NA POJAVE AUTIGENOG TURMALINA U MIOCENSKIM I KVARTARNIM SEDIMENTIMA

Autigeni turmalin je utvrđen u asocijaciji teških minerala miocenskih pjeskovitih kalkarenita iz područja Lupine kod Kulen Vakufa (J o v i ć, 1965). Pjeskovite kalkarenite u ovom području izgrađuje karbonatni detritus uz primjese nekarbonatnog detritičnog materijala. U asocijaciji teških minerala u ovim sedimentima dominiraju epidot, coisit i turmalin, sporedni su cirkon, rutil, kromit i granat, a rijetki titanit, amfibol, anatas i brukit. Na jezgri detritičnog turmalina je u smjeru osi c rastao autigeni turmalin u optičkom kontinuitetu. Detritična jezgra je najčešće zelene boje a rjeđe smeđasta, a autigeno rasli turmalin je bezbojan ili blijedoplavičast. Sekundarnim rastom na detritičnoj jezgri stvoreni su prizmatični kristali, koji su na gornjem kraju ograničeni plohami piramide (tab. IV, sl. 1, 2, 4 i 9). Opaženi su također »nedovršeni« kristali kod kojih je gornja površina kristala stepeničasta, što je vjerojatno uvjetovano nejednolikom brzinom rasta kristala (tab. IV, sl. 3, 5 i 6). Plohe autigeno raslih kristala turmalina su ravne i glatke ili rijetko slabo izbockane (tab. IV, sl. 7).

U petrografskoj obradi kvartarnih sedimenata Krbavskog polja Š i m u n i ć (1965) spominje pojavu zonarnih turmalina. Ovi turmalini se sastoje od jezgre zelenog, smeđeg ili rjeđe ružičastosmeđeg turmalina i autigeno raslog bezbojnog ili blijedoplavičastog turmalina. Kristali autigenih turmalina su zaobljeni, plohe kristala su abradirane i izbockane (tab. IV, sl. 10, 11, 12), što nesumnjivo ukazuje na pretaložavanje iz starijih sedimenata. Po svojim morfološkim i optičkim karakteristikama su vrlo slični autigeno raslim kristalima turmalina iz tercijskih sedimenata.

Pretaložena zrna autigeno raslog turmalina su nađena također u kvartarnim sedimentima okoline Zadra (M u t i ć, 1967). Među teškim mineralima iz kvartarnih pijesaka iz područja Nina, Privlake, Ražanca i Gorice (tab. V), javljaju se zaobljeni, djelomično abradirani prizmatski kristali turmalina koji se sastoje od detritične jezgre, zelene, zelenosmeđe, rjeđe ružičastosmeđe boje, na kojoj je u optičkom kontinuitetu rastao bezbojni ili blijedoplavkasti autigeni turmalin.

UVJETI POSTANKA AUTIGENOG TURMALINA

Pojava autigenog turmalina u sedimentima najčešće je povezivana sa submarinskom magmatskom aktivnošću (K r y n i n e, 1946). Njegovo pojavljivanje u sedimentima koji nisu u vezi s eruptivnim centrima, naveli su mnoge autore na zaključak o mogućnosti njegovog postanka u sedimentima, bez direktnog utjecaja magmatizma.

Koncentracija bora, jednog od simptomatičnih elemenata koji ulaze u sastav turmalina, je u sedimentnim stijenama znatno veća nego u eruptivima (H a r d e r, 1960). Unutar sedimentnih stijena bor je vezan pretežno za pelitomorfne sedimente, s naročitim obogaćenjem u ilitskim glinama salinih basena. Normalne marinske gline sadrže ga manje, a još niže koncentracije utvrđene su u glinama limničkih basena, što dokazuje da je sadržaj bora u sedimentima ovisan o salinitetu voda u basenu. Činjenica da se autigeni turmalin često pojavljuje u evaporitskim serijama, upućuje da su izvor natrija i bora za postanak turmalina mogle biti visoko mineralizirane slane vode. P a s t u h o v a (1965a, b) je u salifernim siltoznim glinama koje sadrže autigeni turmalin, utvrdila i primjese vulkanskog pepela, koji je djelomično izmjenjen u glinu. Ovaj vulkanski materijal, koji se mogao lako razložiti u uvjetima slanih voda bio je također izvor komponenata za tvorbu autigenog turmalina.

Najstarije naslage u kojima se pojavljuje autigeni turmalin u istraženim područjima su porozni, kvarcom obogaćeni pješčenjaci gornjeg perma i perm-skita. U istim pješčenjacima uz turmalin opažene su i druge autigene tvorbe. Procesi autigeneze manifestiraju se u njima najčešće u vidu sekundarnog rasta minerala, naročito kvarca, ali također cirkona i feldspata, te pojavom zrna autigenog barita.

Kvarcozni pješčenjaci koji nose autigeni turmalin protežu se u sklopu crvene klastične serije naslaga na potezu od Drniša i Vrlike preko Knina i Srba do Kulen Vakufa, a svuda su tijesno asociirani s gipsom. Nastajali su u uvjetima semiaridne klime i dugotrajnog trošenja u periodu peneplani-zacije, a produkti trošenja akumulirani su na zaravnjenim površinama i duž rubova evaporitnih basena. Kontakt s mineraliziranim vodama salinih basena bio je jedan od važnih faktora za formiranje novih minerala i za sekundarni rast prisutnog detritusa. Slane vode koje su prožimale terigene sedimente u basenu i preplavljivale one taložene duž niskih obalnih područja, omogućile su rane dijagenetske procese. Vjerojatno su tada ostvareni uvjeti za sekundarni rast turmalina. Ova autigeneza mogla se nastaviti i u kasnoj dijagenezi pod utjecajem slanijih konatnih voda, ili u epigenezi, pod utjecajem solima obogaćenih temeljnih voda.

Iako bi se pojava izrastanja autigenog turmalina u pješčenjacima gornjeg perma spomenutih područja mogla objasniti uvjetima postarjka i povezanošću klastita i evaporita u vremenu i prostoru, treba naglasiti da ova područja nisu bila lišena magmatske aktivnosti. Stijene tipa spilita pojavljuju se unutar klastita i evaporita u području Petrova polja, Vrlike, Kosova polja, Knina i Kulen Vakufa (Klisa). Iako su to stijene bazične magme koja je siromašna borom, ne bi se smjelo sasvim zanemariti njihov utjecaj na postanak autigenog turmalina u pješčenjacima gornjeg perma.

Autigeni turmalin iz eocenskih klastičnih karbonatnih naslaga se po svojim morfološkim i optičkim karakteristikama bitno razlikuje od autigenih turmalina iz klastita gornjeg perma. Zrna autigenih turmalina u eocenskim sedimentima su najčešće nešto veća od ostalih teških minerala. Plohe novoizraslih kristala turmalina su glatke a bridovi oštri. Na kristalima autigenih turmalina se ne opažaju pojave abrazije kao kod ostalih transportiranih teških minerala. Sve ovo navodi na zaključak o procesu autigeneze »in situ«. U prilog tome govori i činjenica da su u klastičnim eocenskim naslagama u području Posedarja, pored autigenog turmalina opaženi i drugi autigeni minerali (autigeni kvarc i feldspati).

Klastične karbonatne stijene (tzv. »Promina slojevi«) u području sjeverno od Posedarja, gdje su u teškim frakcijama nađene značajne koncentracije autigenog turmalina, su bile taložene u relativno plitkom morskom basenu. Karbonatne naslage u podlozi (naslage gornje krede i starijeg paleogena) su u ovom području prije taloženja »Promina slojeva« bile emigrirane i izložene dugotrajnom kemijskom trošenju, uslijed čega je mjestimično došlo do stvaranja boksita (ležišta Vinjerac-Posedarje, Ladine kod Novigrada, Jasenica i dr.). Možemo pretpostaviti da su eocenski klastični karbonatni sedimenti koji sadrže autigeni turmalin u vrijeme rane i kasne dijagenoze bili pod utjecajem mineraliziranih temeljnih voda. Također se može pretpostaviti da su na ove sedimente djelovale i mineralizirane vode s povišenom koncentracijom bora, porijeklom iz evaporitne serije. Na-

ime, u istraživanom području uz ležišta evaporita otkrivenih na potezu Drniš-Knin-Srb-Kulen Vakuf, nalaze se i naslage evaporita utvrđene istražnim bušenjem u okolini Zadra.

Dosadašnjim istraživanjima nije u području sjeverne Dalmacije u srednjem i gornjem eocenu utvrđena značajnija magmatska aktivnost izuzev rijetkih čestica vulkanogenog porijekla (čestice vulkanskog stakla i vulkanogeni kvarc), koje se pojavljuju u kalklititima koji sadrže autigeni turmalin u području Posedarja. Može se pretpostaviti da je razlaganjem čestica vulkanskog stakla moglo doći i do povišene koncentracije komponenata potrebnih za stvaranje autigenog turmalina.

Pojavu autigenih turmalina u miocenskim sedimentima u području Kulen Vakufa treba vezati za djelovanje temeljnih voda s povišenom koncentracijom bora. Ovo obogaćenje borom je vjerojatno vezano za evaporitsku seriju koja se u ovom području nalazi u podlozi miocenskih naslaga koje sadrže autigeni turmalin.

ZAKLJUČAK

Autigeni turmalin u istraženom području pojavljuje se u sedimentima triju stratigrafskih jedinica: gornjem permu, eocenu i miocenu. Autigenezu turmalina manifestira se najčešće u obliku sekundarnog izrastaja na jezgri detritičnog turmalina. U svakom od ovih horizonata autigeno izrastanje turmalina karakteriziraju određena morfologija, boja i optička svojstva. Ovakovi turmalini predstavljaju indeks minerale koji mogu odlično poslužiti za diferencijaciju i korelaciju naslaga, osobito klastita bez fosilnih ostataka.

LITERATURA

- Awasthi Nirja (1961): Authigenic tourmaline and zircon in the Vindhyan formations of Sonc Valley, Mirzapur District, Uttar Pradesh, India. *J. Sediment. Petrol.* 31/3, 482-484, Tulsa, Oklahoma.
- Déverin, L. ((1934): Sur la tourmaline authigène dans les roches sédimentaires. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 14, 528-529, Zürich.
- Gelecyan, G. G. (1967): Ob autigenom turmaline iz paleozojskih karbonatnih tošč Sibirskoj platformi. *Geologija i geofizika, Akad. nauk SSSR, Sibirskoe ot-delenie*, 7 (91), 155-159, Novosibirsk.
- Gokhale, K. V. G. K. & Bagchi, T. C. (1959): Authigenic tourmaline in the Banganapally Stage (Kurnool System), India. *J. Sediment. Petrol.* 29/3, 468-469, Tulsa, Oklahoma.
- Govinda Rajulu, B. V. & Nagaraja, H. R. (1969): Authigenic tourmalines from the Lower Kaladgi Sandstones, Jamkhandi, Mysore State. *J. Sediment. Petrol.* 39/1, 391-394, Tulsa, Oklahoma.
- Harder, H. (1960): Das Bor im Kreislauf der Erde. *Internat. Geol. Congress, XXI Session, Norden. Part I, Geochemical Cycles*, 10-13, Copenhagen.
- Jović, P. (1964): Izvještaj o sedimentno-petrografskoj obradi sedimentnih stijena na listu Drvar-53. *Fond dokum. Inst. geol. istraž.*, Br. 372/2, Zagreb.

- Jović, P. (1965): O sedimentno-petrografskoj obradi sedimentnih stijeraa na listu Drvar 106/51. Fond dokum. Inst. geol. istraž. Br. 3994/4, Zagreb.
- Krynine, P. D. (1946): The tourmaline group in sediments. *J. Geol.* 54/2, 65-87, Chicago.
- Mutić, R. (1967): Sedimentno-petrografske analize kvartarnih sedimentata na području lista Zadar-107. Fond dokum. Inst. geol. istraž. Br. 4304/2, Zagreb.
- Pastuhova, M. V. (1965a): Autigenie minerali v hemogeno-terigenih parodah Tuztagskoj solensnoj tolšči. *Litologija i poleznie iskopaemie*, Nr. 1, 31-52, Moskva.
- Pastuhova, M. V. (1965b): K poznaniu autigenih silikatnih i aluminosilikatnih mineralov v solenosnih parodah. *Litologija i poleznie iskopaemie*, N. 3, 78-90, Moskva.
- Šimunić, A. (1965): Petrografska analiza uzoraka sedimentata s lista Udbina-105/51. Fond dokum. Inst. geol. istraž., Br. 4006/6, Zagreb.
- Tučan, F. (1911): Die Kalksteine und Dolomite des kroatischen Karstgebietes. *Geol. anali*, 6/2, 609-813, Beograd.
- Tučan, F. (1933): Pogledi na geokemiju dinarskog krša. *Rad Jugosl. akad.* 246, Matem.-prirodosl. razr. 76, 37-108, Zagreb.
- Valeton, I. (1965): Veränderungen an Zirkon und Turmalin in Buntsandstein und Keuper. *Heidelbg. Beitr. Mineral. Petrogr.* 5, 100-104, Heidelberg.

Z. MAGDALENIĆ and B. ŠČAVNIČAR

AUTHIGENIC TOURMALINE IN SEDIMENTARY ROCKS OF NORTHERN DALMATIA AND SOUTH-WESTERN BOSNIA

Authigenic tourmaline appears in the region of northern Dalmatia and south-western Bosnia in the sediments of three stratigraphic horizons: Upper Permian, Eocene, and Miocene.

The oldest rocks in which the authigenic tourmaline has been observed are the Upper Permian sandstones associated with gypsum deposits in the region of Drniš, Knin, Srb, and Kulen Vakuf (pl. V). The examined sandstones are mostly proto-quartzites cemented by quartz. Their heavy mineral residue is composed of zircon, tourmaline, and rutile as major, and brookite, apatite, epidote, baryte, and corundum as minor, constituents.

The majority of detrital tourmaline grains show authigenic growth. The host tourmaline grains are irregular or prismatic, and more or less abraded. Their colour is brown, greenish brown, or pink brown. Pleochroism of the host grains is strong: O - deep brown or dark green to black; E - brownish, greenish brown, pink, reddish. The range of refractive index values of some measured grains of detrital tourmaline is 1.645-1.648 for N_0 and 1.624-1.627 for N_E .

The authigenic growth on the detrital nucleus shows polar development at one end of the *c* axis, with perfect optical continuity between the outgrowth and the host grain. The length of the outgrowth varies from 0.025 to 0.20 mm. The size ratio between detrital and authigenic part of tourmaline varies from 1:0.2 to 1:4.5. Authigenic tourmaline is greenish, transparent, and usually without inclusions. Pleochroism is quite strong: O - dark green, deep greenish-blue; E - pale green, pale brownish, pale pink. The refractive indices are: $N_0 = 1.646 \pm 0.001$; $N_E = 1.621 \pm 0.001$.

Well preserved outgrowth in spite of the fineness of the newgrowth and often with a very accentuated denticular termination, point at their primary occurrence. Thin sections of the Upper Permian sandstones show that the authigenic tourmaline grew *in situ* during the diagenesis, filling out small pores in the sediment.

It is necessary to remark that in the same sandstones some others products of authigenesis have been observed, as the secondary growths of quartz, zircon and feldspars, and authigenic baryte grains.

The next horizon in which the development of authigenic tourmaline has been observed are clastic carbonate deposits of the Eocene developed in the region of Ravni Kotari, e. g., in the area of Posedarje, Obrovac, Ervenik, and Benkovac (pl. V).

In the area northwards of Posedarje the Eocene clastic carbonate rocks contain, besides reworked carbonate sediments, small amount of quartz, feldspars, particles of chert, volcanic glass, quartzite and flakes of chlorite, muscovite and biotite. In the heavy residue dominate tourmaline, zircon, and garnet, accompanied by rutile and chromite, while titanite, staurolite, kyanite, epidote, chloritoid, anatase, andalusite, and amphibole appear rarely. Almost all tourmaline grains show the phenomenon of authigenic growth at the termination of the *c* axis and in optical continuity with the substratum. The host grains are irregular and usually subrounded, but seldom also crystals with prismatic faces occur. The pleochroism of the host tourmaline grains is distinct: O—green, green-brownish, deep brown, black; E—pale green, pale green brownish, pale brown, pinkish brown. On the nucleus of green tourmaline colorless newgrowths have been formed while on brown or greenbrownish tourmaline grains pale blue-green overgrowths have been developed. Idiomorphic prismatic crystals of authigenic tourmaline, terminated with pyramids, are frequent (pl. II, fig. 1, 3, 4, 6, 8, 9; pl. III, fig. 2, 6). Rarely incomplete crystals with stairs-like surface (pl. III, fig. 7) or small denticular outgrowths on the one polar end of the host tourmaline grains are developed. The boundary between the host and the newgrowth is sharp or gradual. On several grains well developed zones of *»roots«* between the overgrowth and the host grain can be seen. The length in the direction of the *c* axis of the host grain varies from 0.02 to 0.12 mm, and that of the overgrowths from 0.01 to 0.09 mm. The refractive indices of colourless overgrowths are: $N_0 = 1.629$; $N_E = 1.609 \pm 0.001$.

The development of authigenic tourmaline has been noticed also in the Eocene clastic carbonate deposits in the area of Obrovac, Ervenik, Benkovac, and in the environs of *»Zeleni Hrast«* south-west of Posedarje.

Authigenic tourmaline in heavy residues of Miocene sandy calcarenites in the area of Lupine in the environs of Kulen Vakuf has been noticed by Jović (1965). Beside tourmaline, in the heavy mineral association also occur epidote, zoisite, zircon, rutile, chromite, garnet, titanite, amphibole, anatase and brookite. On the host grain of green or brown tourmaline, in the direction of the *c* axis, colourless to very pale bluegreen authigenic crystals of tourmaline have been formed. The habit of crystals is prismatic with pyramidal termination (pl. IV, fig. 1, 2, 4, 9). Rarely incomplete crystals with stair-like surface occur (pl. IV, fig. 3, 5, 6).

Reworked tourmalines with partly abraded authigenic overgrowths have been noticed in Quaternary deposits in the area of Krbavsko polje (Šimunić, 1965) and in the area of Zadar (Mutić, 1967).

The genesis of authigenic tourmaline has been discussed by many authors (Kry-nine, 1946; Pastuhova, 1965; Gelecyan, 1967). They connected its origin with submarine magmatic activity, the presence of volcanic vitric ash in sediments or with the elevated concentration of boron in the saline waters of evaporite basins.

The clastics red beds of the Upper Permian, where authigenic tourmaline has been found, appear in close connection in time and space with evaporite deposits. They were deposited in semi-arid conditions on the peneplaned surfaces, low coastal areas, and along the borders of evaporite basins. Saline waters soaked terrigenous sediments and enabled the process of authigenesis. In early diagenesis they probably influenced

on the authigenic growth of tourmaline, as well as on the new growth of quartz, zircon, and feldspar grains. The process may have continued in the late diagenesis through the influence of saline connate water, or even in the epigenesis by the influence of salt-enriched ground water.

Inside the areas of terrigenous-evaporite deposits, basic igneous rocks (spilites) have been found. It can be supposed that they may also have influenced on the formation of authigenic tourmaline.

The development of authigenic tourmaline in Eocene sediments might be connected with mineralized waters containing an increased concentration of boron inherited from evaporite series. Namely, in the region under study, besides evaporite outcrops (Drniš, Knin-Srb-Kulen-Vakuf), thick evaporite deposits have been discovered by deep drilling in the subsurface in the environs of Zadar.

Before clastic carbonate sedimentation took place in the area of Posedarje, a phase of emergence with prolonged chemical weathering and development of bauxite had existed. It may be supposed that the groundwater in the basis of the Eocene clastic carbonate rocks was enriched by components necessary for the development of authigenic tourmaline.

It should be also mentioned that clastic carbonate rocks bearing authigenic tourmaline contain some traces of volcanic particles (particles of volcanic glass), an alteration of which may have provided some components for the development of authigenic tourmaline.

The development of authigenic tourmaline in Miocene sedimentary rocks in the area of Kulen Vakuf may probably be connected with the chemical activity of ground waters with an increased concentration of boron. The boron-enriched ground water is supposed to be in connection with the evaporites which underlie the Miocene sediments in this area.

It may be concluded that authigenic tourmaline from different stratigraphic units of the investigated area is characterized by certain morphological and optical properties. Thus authigenic tourmaline may be used as a guide mineral for the differentiation and correlation of stratigraphic units, especially in sedimentary rocks without fossil remains.

Primljeno (Received): 10. 01. 1973.

Institut za geološka istraživanja

*Institute of Geology
Zagreb, Beogradska 113*

TABLA – PLATE I

- 1-12. Izrastanja autigenog turmalina na jezgri detritičnog turmalina iz pješčenjaka gornjeg perma. Područje Knina i Kulen Vakufa. 71 x.
- 1-12. Outgrowth of authigenic tourmaline on detrital tourmaline grains from sandstones of the Upper Permian. Region of Knin and Kulen Vakuf. 71 x.



1



2



3



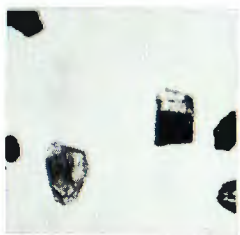
4



5



6



7



8



9



10



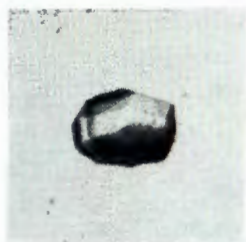
11



12

TABLA - PLATE II

- 1-9. Prizmatski kristali autigenih turmalina ograničeni plohama piramide, razvijeni na jezgri detritičnog turmalina. Eocenske klastične karbonatne naslage. Područje Posedarja. 110 x
- 1-9. Prismatic crystals of authigenic tourmaline with pyramidal termination, developed on detrital tourmaline grains. Clastic carbonate deposits of the Eocene. Region of Posedarje. 110 x



1



2



3



4



5



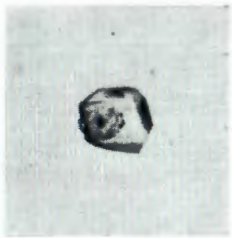
6



7



8



9

TABLA - PLATE III

- 1-6. Izrastanja autigenog turmalina oko jezgre detritičnog turmalina. Eocenske klastične karbonatne naslage. Područje Posedarja. 10 x
- 1-6. Overgrowths of authigenic tourmaline on a detrital tourmaline nucleus. Clastic carbonate deposits of the Eocene. Region of Posedarje. 110 x
- 7-8. »Nedovršeni« kristali autigenog turmalina razvijeni na jezgri detritičnog turmalina. Eocenske klastične karbonatne naslage iz područja Posedarja. 110 x
- 7-8. »Incomplete« crystals of authigenic tourmaline developed on detrital tourmaline grains. Clastic carbonate deposits of the Eocene. Region of Posedarje. 110 x
- 9-10. Izrastanja autigenog turmalina na jezgri detritičnog turmalina. Eocenske klastične karbonatne naslage. Područje Benkovac. 110 x
- 9-10. Outgrowth of authigenic tourmaline on the detrital tourmaline grains. Clastic carbonate deposits of the Eocene. Region of Benkovac. 110 x



1



2



3



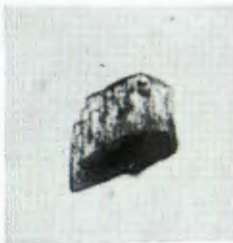
4



5



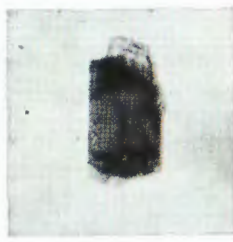
6



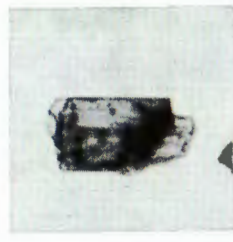
7



8



9



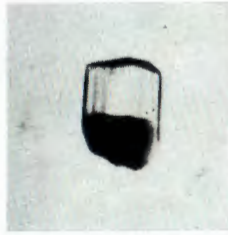
10

TABLA - PLATE IV

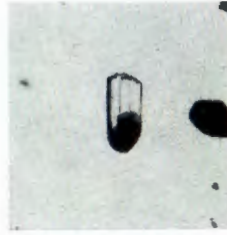
- 1-9. Izrastanje autigenog turmalina. Miocenske klastične karbonatne naslage iz područja Lupine kod Kulen Vakufa. 75 x
- 1-9. Authigenic tourmaline overgrowth within the Miocene clastic carbonate deposits of Lupine near Kulen Vakuf. 75 x
- 10-12. Djelomično abradirani kristali autigeno raslih turmalina iz kvartarnih naslaga Krbavskog polja. 78 x
- 10-12. Partly abraded crystals of authigenic tourmaline from the Quaternary deposits of Krbavsko polje. 78 x



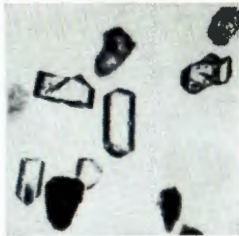
1



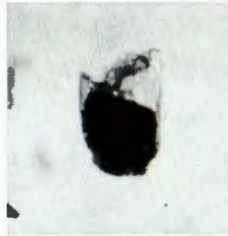
2



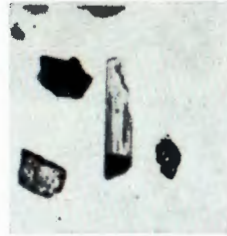
3



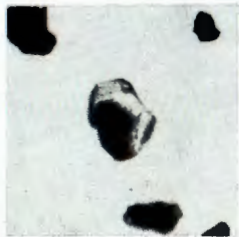
4



5



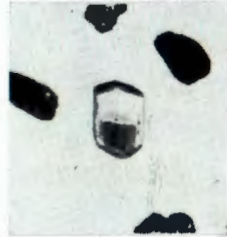
6



7



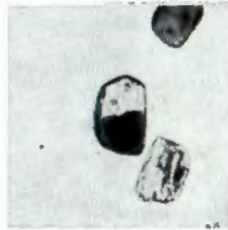
8



9



10



11



12

TABLA - PLATE V

1. Autigeni turmalin u sedimentima gornjeg perma
Authigenic tourmaline in sediments of the Upper Permian
2. Autigeni turmalin u eocenskim sedimentima
Authigenic tourmaline in sediments of the Eocene
3. Autigeni turmalin u miocenskim sedimentima
Authigenic tourmaline in sediments of the Miocene
4. Pretaloženi autigeni turmalin u kvartarnim naslagama
Reworked authigenic tourmaline in Quaternary deposits

AUTIGENI TURMALIN U SEDIMENTNIM STIJENAMA SJEVERNE DALMACIJE I JUGOZAPADNE BOSNE

0 5 10 15 20 25 30 km

- 1
- ▲ 2
- 3
- ◻ 4

