

Geol. vjesnik	Vol. 39	str. 75—94	Zagreb 1986.
---------------	---------	------------	--------------

UDK 552.541:551.351

Izvorni znanstveni rad

Postanak crnih oblutaka i ulomaka («black pebbles») u periplimatskim vapnencima titona zapadne Istre i barema otoka Mljeta

Josip TIŠLJAR

Institut za geologiju i mineralne sirovine, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU — 41000 Zagreb

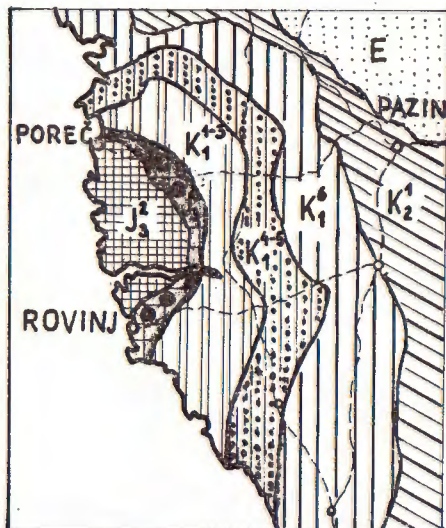
Crni obluci i fragmenti, koji se često javljaju unutar ritmički sedimentarnih subtidalnih do intertidalnih vapnenaca titona zapadne Istre i barema, rjeđe i alba, otoka Mljeta, interpretirani su kao ostaci razaranja supratidalnih do plitkih intertidalnih reduktivnih taloga. Razaranje tih taloga vršilo se je pri povremenim olujnim ili visokim plimatskim valovima. Nastali detritus, tj. crni obluci i fragmenti, istaložen je u udubljenjima subtidala i intertidala, osobito u plimatskim kanalima. Crna boja matičnog taloga nije se očuvala zbog oksidacije dijelom erodiranog crnog taloga nakon što su prestali reduktivni uvjeti.

In the Western Istria (Tithonian) and Island of Mljet (Barramian and Albanian), there are conglomerates and/or breccias with black pebbles and fragments occurring like 5—50 cm thick layers or irregular lenses wedging out laterally. They are interstratified with micrites and fenestral micrites pelmicrites exclusively, which exhibit structural and textural characteristics of gradual shallowing from the base (subtidal) to the top of the sequence with desiccation cracks (intertidal to vadose). The black pebbles originate by storm-wave activity upon the black, supratidal and top intertidal, reducing, brackish-freshwater deposits. One may find them like fragments of intertidal or subtidal conglomerates and/or breccias and tidal channel breccias.

UVOD








Plitkovo-dni stilolitima bogati svijetlosivi vapnenci titona zapadnois-tarske antiklinale (slika 1) i svijetlosmeđasti vapnenci barema i alba na otoku Mljetu (sl. 2) često sadrže 10—60 cm debele slojeve, proslojke i leće breča i/ili konglomerate u kojima, između ostalih valutica i ulomaka, nalazimo crne oblutke i ulomke. Njihovo pojavljivanje, jednako kao što je to slučaj i na drugim lokalitetima i drugim stratigrafskim jedinicama karbonatne platforme Vanjskih Dinarida, ima veliku ulogu u interpretaciji uvjeta i okoliša taloženja s njima asociiranih sedimenata.

U ovom radu prikazani su rezultati terenskih i laboratorijskih petroloških i sedimentoloških istraživanja karbonatnih sedimenata, kao i breča i konglomerata u kojima se pojavljuju crni obluci i ulomci («black pebbles»), u titonu zapadne Istre i baremu otoka Mljeta. Osim toga data je



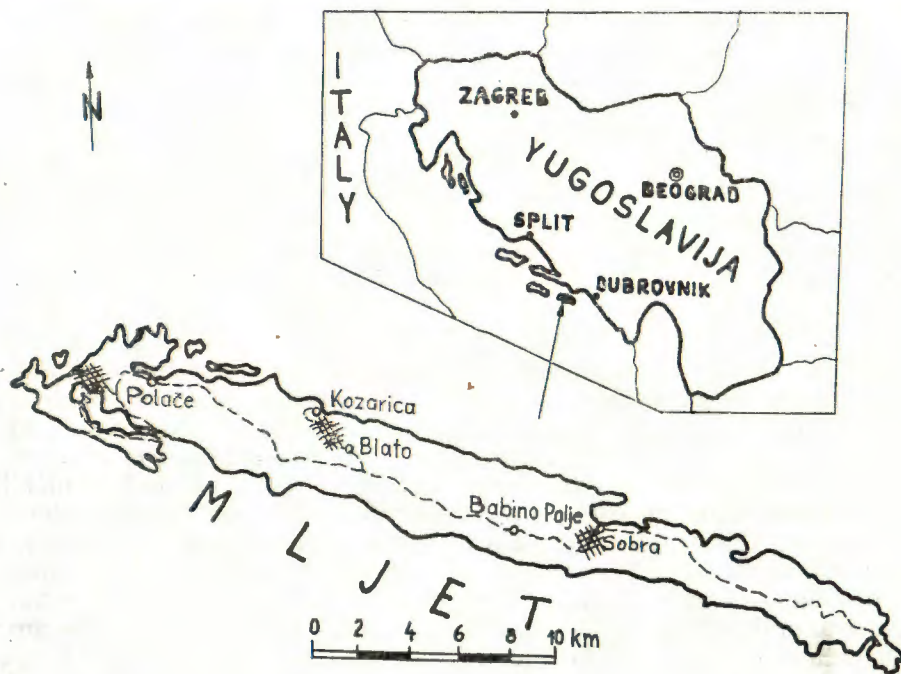
LEGENDA :

M 1:500 000

- | | | | |
|---|--|--|---|
|  | E Eocen (flysch) |  | J ₃ Tithonian |
|  | K ₂ ¹ Cenomanian |  | J ₃ ² Kimeridgian |
|  | K ₁ ⁶ Albian | • | Izdanci-outcrops |
|  | K ₁ ⁴⁻⁵ Barremian-Aptian | | |
|  | K ₁ ³ Neocomian | | |

Sl. 1. Geološka karta zapadne Istre (prema: Savezni geol. zavod, 1970., djelomično izmjenjeno)

Fig. 1. Geological map of Western Istria (from: Federal Geol. Institut, 1970., with several modifications)



Lokacije izdanaka - Outcrops

Sl. 2. Karta lokacija izdanaka na otoku Mljetu

Fig. 2. Location map of the outcrops on the Island of Mljet

interpretacija uvjeta i okoliša stvaranja i akumulacije crnih oblutaka i ulomaka te kratka korelacija odgovarajućih stijena u drugim područjima Vanjskih Dinarida.

PREGLED OPCIH STRATIGRAFSKIH I SEDIMENTACIJSKIH ZNAČAJKI

Za razumijevanje postanka crnih oblutaka i ulomaka vrlo je važno poznavanje općih paleogeografskih i sedimentacijskih prilika na širem području pa će ovdje biti navedeni najbitniji podaci. Za detaljnije upoznavanje problematike čitatelj se upućuje na citiranu literaturu.

Zapadna Istra

Stratigrafiju zapadne Istre, kao i sedimentacijski vrlo interesantan odnos između naslaga kimeridža i titona, odnosno titona i donje krede, dao je Poljšak (1965). Prema njemu »nakon izrazito plitkovodne, a dijelom i grebenske i pseudogrebenske sedimentacije u toku kimeridža došlo je u ovom području u toku donjeg titona do mjestimičnih lokalnih emerzi-

ja«. Za vrijeme kratkotrajne kopnene faze lokalno se taloži boksitni materijal, a kontakt između kimeridža i titona nema izraženiju kutnu diskordanciju. Obilježen je jasno uočljivim transgresivnim brečama i tankim slojevima laporovite gline. Ovu lokalno izraženu emerziju P o l š a k (1965) povezuje s općom paleogeografskom situacijom koja je tokom malma i titona vladala u obodnim dijelovima mediteranske geosinklinalne oblasti. Tu svakako moramo obratiti pažnju na česta oplićavanja i više manjih lokalnih regresija te ponovna preplavlivanja. Takve opće sedimentacijske prilike odražavaju se, promatrano u detaljno snimljenim geološkim stupovima malmskih i donjokrednih naslaga, čestom ritmičkom sedimentacijom (T i š l j a r, 1978).

U zapadnoj Istri, osobito iznad boksitnih ležišta oko Rovinja, najstariji se dio ca 40—80 m debelih naslaga titona odlikuje sedimentima taloženi u uvjetima oscilirajuće transgresije. Tu se izmjenjuju 2—30 cm debeli slojevi i proslojci mikritnih vapnenaca, lapora, glina i intraformacijskih breča (T i š l j a r et al., 1983). Zbog periodičnih oplićavanja i oscilacija u energiji vode dio donjeg i srednjeg dijela titona sastoji se od ritmičkih sedimentiranih mikrita/pelmikrita, fenestralnih mikrita i »mud pebble« konglomerata i/ili breča. U tom dijelu titona pojavljuju se crni oblutci i ulomci. Na njima slijede ritmovi mikritno-onkoidnih sekvencija u kojima mikritni članovi imaju erodirane gornje slojne površine ili sadrže pukotine isušivanja ili desikacijske breče kao posljedice periodičkih oplićavanja od lagunarno-subtidalnog do intertidalnog okoliša (T i š l j a r, 1983), a mjestimično i »desikacioni ciklusi«. Desikacioni ciklusi se sastoje od subtidal-lagunarnih mikrita/mrvičastih mikrita, mikrita s desikacionim pukotinama i/ili desikacionim brečama, onkoidalno-intrasparitskih vapnenaca taloženih nakon preplavlivanja i na vrhu ciklusa vadoznih tvorevina kao posljedice izronjavanja i subaerskog trošenja u vadoznoj zoni (T i š l j a r et al., 1983).

Gornji dio titonskih se sedimenata sastoji od izmjene onkoidalnih mikrita, mikrita/biomikrita, onkolita koji sadrže onkoide tipa agalnih lopti i intrasparita taloženih u zaštićenim plićacima i lagunama unutrašnjeg dijela karbonatne platforme.

Na vapnencima titona slijede berijaski supratidalni ranodijagenetski dolomiti u ritmičkoj izmjeni s kasnodijagenetskim dolomitima (T i š l j a r, 1977). U donjoj kredi sve do gornjeg apta, kada nastupa jače izraženo oplićavanje s više kratkotrajnih emerzija lokalnog karaktera (T i š l j a r et al., 1983), dominira sedimentacija u subtidal-lagunarnom i intertidalnom okolišu s taloženjem mikrita, pelmikrita, pelsparita, biomikrita, LLH-stromatolita i onkolita.

Otok Mljet

Osnovne stratigrafske i tektonske karakteristike gornjojurskih i donjokrednih sedimenata otoka Mljeta dali su K o r o l i j a et al. (1968). Unutar donjokrednih naslaga oni su na Mljetu odvojili dva člana: Vapnence barem-apt-albske starosti kao transgresivni član na naslagama gornjeg malma koji duž transgresivnog kontakta sadrži manje boksitne pojave, breče i zaglinjenja. Drugi član su vapnenci s ulošcima dolomita kojima pripisuju albsku starost.

Šebetić (1976) spominje česte submarinske erozije u barem-aptu Pe-lješca, Češvinice i Mljeta. Po njemu »na najjaču submarinsku eroziju uka-zuju intraformacijski Janjina vapnenački konglomerati i laporovito-konglomeratični slojevi te vapnenačke breče«. Sve te stijene on svrstava u »Janjina član« i za njih pretpostavlja »da su nastale jakim, ali relativno kratkim djelovanjem valova i struja na karbonatnu masu dna bazena«.

Pripadnost vapnenaca, u kojima se pojavljuju crni ulomci i oblutci, ba-remu, odnosno albu, utvrdili su prilikom naših zajedničkih litofacijelnih i biofacijelnih istraživanja dr B. Š o k a č i dr I. V e l i ć te im se ovom pri-likom zahvaljujem na dozvoli korištenja njihovih biostratigrafskih od-redbi.

Središnji dio otoka Mljeta, tj. područje između Blata, Kozarice i So-bre (sl. 2), u kome se u karbonatnim sedimentima baremske i albske sta-rosti nalaze crni obluci i ulomci, izgrađen je od malmskih plitkovodnih vapnenaca i kasnodijagenetskih dolomita, plitkovodnih vapnenaca neo-koma, apta i alba. Vrlo često ovi su donjokredni vapnenci neravnomjerno intenzivno i mrljasto kasnodijagenetski dolomitizirani. Nešto detaljnije ovdje ćemo prikazati samo rezultate litofacijelnih i sedimentoloških istra-živanja donjokrednih sedimentata:

Neokom se odlikuje ritmičkom sedimentacijom u kojoj se opetovano ponavljaju sekvencije sastavljene od oko 1,5 m debelog sloja mikrita/pel-mikrita, oko 0,4—0,8 debelog sloja gastropodnog biomikrita s kalupnom građom i korodiranim kalupno-skeletnim šupljinama i/ili tragovima rova-nja crva te 0,1—0,3 m bočno nejednolično debelog sloja fenestralnog pel-mikrita, a ponegdje i vadolita. Korozijom proširene kalupno-skeletne šup-ljine gastropoda i tragovi rovanja crva (bioturbacije) ispunjene su sivoze-lenkastim internim sedimentom, koji je često više-manje dolomitiziran. Vadolit se sastoji od skršenih i regeneriranih vadoznih ooida (vadoida) ko-ji su pretrpjeli stanoviti prenos i bili akumulirani na plimatskom sprudu, a rjeđe su to »in situ« vadoidi. Intergranularne pore ispunio im je mozaič-ni druzni kalcitni cement, rjeđe mehanički istaloženi vadozni kristalni silt, a kod »in situ« vadoida nalazimo još i mikrostalaktitski cement te mi-kritnu osnovnu masu bogatu šupljinama otapanja. U pojedinim su sekvencijama gastropodni biomikriti, osobito oni s bioturbacijama, a katkada i fenestralni pelmikriti i vadoliti, neravnomjerno intenzivno i mrljasto ka-snodijagenetski dolomitizirani.

Ritmička sedimentacija u neokomu posljedica je učestalih oscilacija morske razine i/ili dna bazena, kako se to lijepo može pratiti po vertikal-noj izmjeni okoliša: zaštićeni plićak — plitki subtidal — intertidal — izronjavanje u vadoznu zonu.

U sedimentima barema takve su oscilacije još jače izražene i učestalije. To se manifestira vrlo čestim izronjavanjima u zonu mlata vala i krat-kotrajnim lokalnim emerzijama s taloženjem intraformacijskih breča ko-je sadrže crne ulomke, »mud pebble« — konglomerata glinovitih proslo-jaka ili fenestralnom građom i vadoznim tvorevinama i/ili erodiranim slojnim površinama (sl. 4).

Tokom apta prevladavala je sedimentacija u zatvorenim plićacima i/ili lagunama. Izronjavanja i jačih oscilacija nema. Taloži se velika količina karbonatnog mulja, obavijenih skeleta bačinela i gastropoda (mikriti, ba-činelski onkoidni mikriti i onkoliti). U donjem dijelu alba dominiraju mi-

kritni, pelmikritni, mjestimice fenestralni pelmikritni i stromatolitni vapnenci. Sporadično uz fenestralne i stromatolitne pelmikrite nalazimo tanje uloške intraformacijskih breča koje sadrže rijetke, 2—60 mm velike, crne ulomke. Lateralno rasprostranjenje tih breča je malo i isprekidano; u pravilu u obliku manjih leća ili breče samo ispunjavaju udubine plimatskih kanala. Sredinom i u mlađem dijelu alba prevladava sedimentacija u plicacima s pokretljivom vodom (biointraspariti, biosparruditi s kršjem rudista), a česta je i kasnodijagenetska dolomitizacija.

PETROLOŠKE I SEDIMENTOŠKE ZNAČAJKE

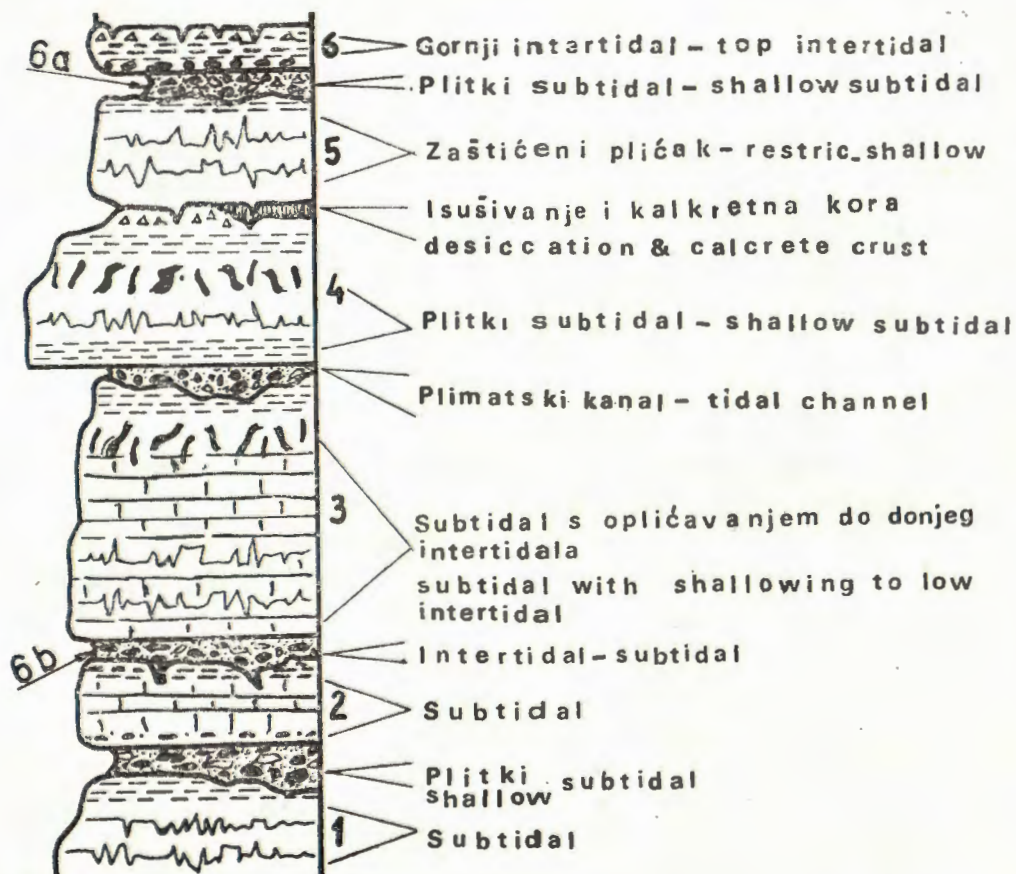
Konglomerati i breče koji sadrže crne oblutke i ulomke mogu se detaljnije istražiti uglavnom samo na svježim izdancima u zasjecima cesta, kopovima i kamenolomima jer su te stijene na površini terena obično raspadnute. Crni ulomci se dobro zapažaju samo na svježim izdancima i zbog toga što su im površine izložene atmosferilijama potpuno izbljedile ili su im obraštene lišajevima svijetlosive boje (sl. 6a).

Zapadna Istra

U opisu »vapnenca s tintinidama« (titon) zapadne Istre Polšek (1965) spominje da se »mjestimično javlja više uložaka debljine 20—50 cm koji se sastoje od konglomerata s laporovitim vezivom, glinovitog lapora i tankopločastog vapnenca«. On navodi 5—8 takvih uložaka te da je u njima dio valutica izgrađen od crnog vapnenca koji ne pripada niti jednoj od otkrivenih stijena malma pa smatra »da one najvjerojatnije vode porijeklo iz starijih jurskih naslaga a nanešene su ovamo iz područja koja su u to vrijeme bila zahvaćena emerzijom«.

Najljepše izdanke stijena s crnim ulomcima i oblucima nalazimo u kamenolomu Mondolaco i »Aldo Rismondo« kod Rovinja, u starom kamenolomu na južnoj obali Limskog kanala te u više kamenoloma oko sela Kirmenjak jugoistočno od Poreča (sl. 1). Pojavljuju se kao 5—50 cm debeli slojevi, prosljoci i ulošci bočno vrlo promjenljive debljine, ili u obliku izduženih tankih leća, a mjestimice i manjih plimatskih kanala (sl. 3). Stratificirani su isključivo s mikritima, fenestralnim mikritima/pelmikritima koji od baze prema vrhu sloja pokazuju teksturna i strukturna obilježja tipična za postupno oplićavanje od zatvorenog plicaka ili subtidala u donji intertidal. Ta se oplićavanja manifestiraju postupnim, rjeđe i oštrim, vertikalnim prelazom od homogenog mikrita/pelmikrita u fenestralni mikrit, sa ili bez bioturbacija, da bi sloj završio erodiranom slojnom plohom i/ili pukotinama isušivanja (slojevi 1—4 na sl. 3) ili desikacijskom brečom, a mjestimično i kalkretnom korom sloj 4 na sl. 3).

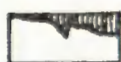
Mikriti su vrlo gusti, porcelanastog izgleda, plitkoškolkastog loma. Boja im je blijedosiva ili slabo žučkastoblijedosiva. Sastoje se od gusto pakovanog vrlo sitnog karbonatnog mulja sa ili bez sitnih kuglastih peleta. Samo sporadično sadrže krhotine alge *Clypeina jurassica* i tintinide. Rjeđi su mrvačisti mikriti (»clotted micrite«) i pelmikriti. Gornji, ponegdje i donji, djelovi mikritnih slojeva obiluju sitnim, nepravilnim fenestrama ispunjenim mozaičnim kalcitnim cementom, a katkada sadrže i krupne



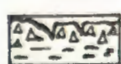
LEGENDA - Legend:



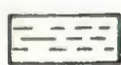
KONGLOMERAT S CRNIM OBLUCIMA
Conglomerate with black pebbles



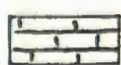
KALKRETNA KORA
Calcrete crust



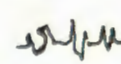
DESIKACIJSKA BREČA
Desiccation breccia



FENESTRALNI MIKRIT/PELMIKRIT
Fenestral micrite/pelmicrite



MIKRIT
Micrite



STILOLITI
Stylolites

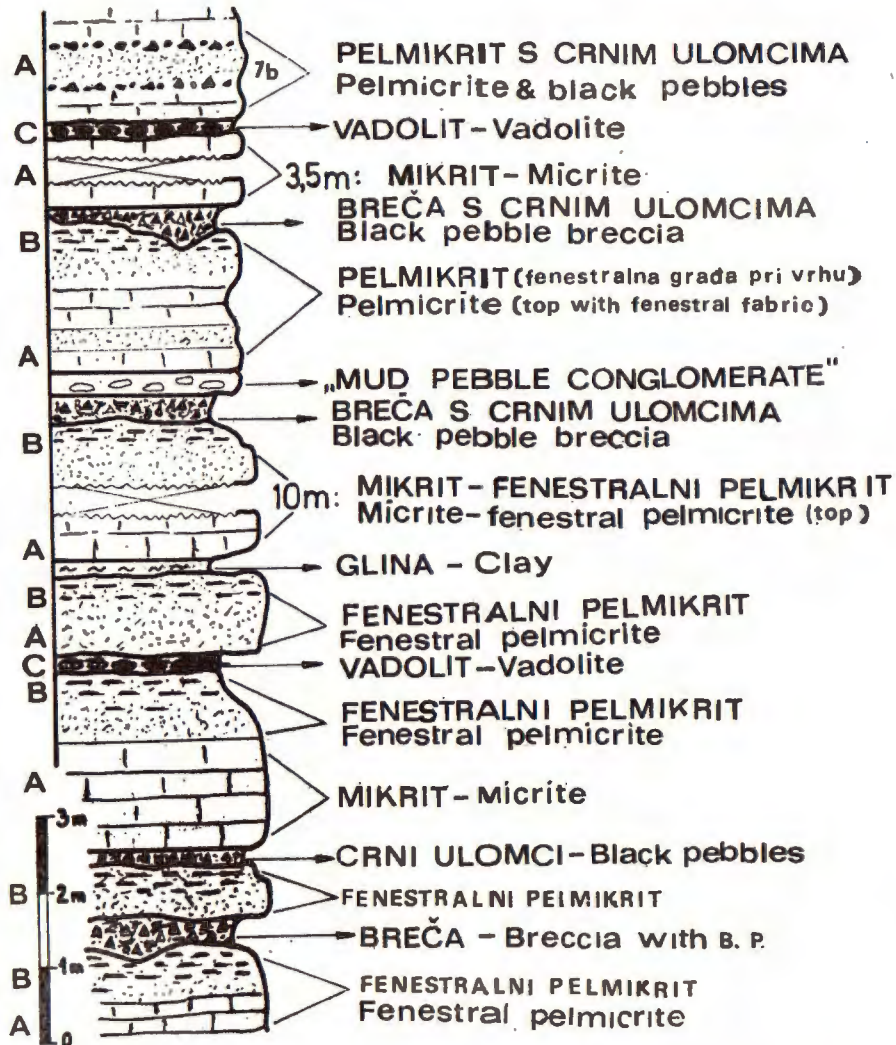


TRAGOVI ROVANJA
Burrows

6a MJESTO SNIMKA
6b. Location of photo

Sl. 3. Shematski prikaz vertikalnog razvoja facijesa s crnim oblucima - kameno-
lom »Mondolaco«, Istra (titon)

Fig. 3. Schematic section showing vertical black pebble facies development - quarry
»Mondolaco«, Western Istria (Tithonian)



Sl. 4. Shematski prikaz vertikalnog razvoja facijesa s crnim ulomcima i oblucima u baremu otoka Mljeta: A — zaštićeni plićak do subtidal; B — plitki subtidal do donji intertidal; pri vrhu sloja erodirana slojna površina i jasna fenestralna građa; C — plimatski sprud i/ili vadozna zona: naplavljeni i/ili autoh-toni vadozni ooidi (vadoidi).

Fig. 4. Schematic section showing vertical black fragment and black pebble facies development in the Barremian of the Island of Mljet: A — restricted shallow — subtidal; B — shallow subtidal to low intertidal (fenestral fabric and erosional surface — top); C — tidal bar and/or vadose zone (vadose ooids deposited by flood and/or *in situ* vadoids).

onkoide tipa algalnih lopti ili u samom vrhu sloja pojedinačne kalkretne pizoide. Bioturbacije su najčešće zastupljene s vertikalnim i subvertikalnim tragovima rovanja promjera od 4—8 mm i dužine 3—10 cm. Fenestralna građa ukazuje na oplicavanje i blagi utjecaj meteorskih voda na još nekonsolidirane taloge pri njihovom izronjavanju u gornji subtidal ili donji intertidal, a masovna pojava tragova rovanja na ukopavanja crva u mulj prije nego što su za njih počele nastupati nepovoljne ekološke prilike, tj. izronjavanje s dehidratacijom taloga. Desikacijske pukotine, kao i mjestimični tanki ulošci desikacijskih breča, na gornjim plohama mikrita očigledan su dokaz kratkotrajnog izronjavanja karbonatnog mulja iznad srednje razine oseke (donji intertidal do gornji subtidal). U slučajevima izrazitijeg izronjavanja stvaraju se i tanke kalkretne kore i pojedinačni pizoidi ili vadoidi. Horizontalni stiloliti seizmogram tipa, premda česti u tirm mikritima, u ovim našim razmatranjima nemaju nikakovo značenje jer su kasnodijagenetskog postanka. Katkada u nekoliko prvih centimetara u bazi, a češće u vrhu sloja mikrita nalazimo sitne i krupne crne oblutke i ulomke uklopljene u mikritnu masu (slika 6b i 6c).

Na sloju mikritnog vapnenca s gore opisanim petrološkim i sedimentološkim značajkama nalazimo naše proslojke, uloške ili leće konglomerata i/ili breča (slika 3; slika 6a). Sastoje se od varijabilnih količina oblutaka i ulomaka svijetlih, smeđih, tamnosivih i crnih vapnenaca te zelenkastosivog laporovitog veziva. Stupanj cementacije je vrlo slab: praktički uopće ne postoji čvrsta veza između pojedinih oblutaka ili ulomaka, osim kod ranije spomenutih uklapanja u bazu ili vrh sloja mikrita (slika 6c). Dimenzije im variraju od 0,2 do 250 mm. Dio je zaobljen, katkada plastično deformiran i prignječen jedan u drugi («mud pebbles»), a dio uglavst i potpuno nepravilan (slika 6a i 6b). Na osnovi mikroskopskih izbrusaka konstatirano je, da bez obzira na boju i stupanj zaobljenosti, svi tipovi oblutaka i ulomaka pripadaju mikritima, pelmikritima i fenestralnim mikritima, a građa, struktura i fosilni sadržaj identični su im s vapnencima podine. Oni tamnije i oni crne boje od svijetlih se razlikuju samo po povišenom sadržaju organske supstancije, uglavnom ostataka sitnog bilja, i vrlo sitno dispergiranih kuglica pirit organskog porijekla. Pirit je konstatiran i rendgenskim analizama njihovog netopivog ostatka (otapanje crnih oblutaka u monokloroctenoj kiselini). To je organski pirit nastao životnim procesima bakterija koje u reduktivnoj sredini reducira ju sulfata. U pojedinim mikroskopskim izbruscima napravljenim iz crnih oblutaka i ulomaka zapažamo sitne ostatke biljaka, a rjeđe i tanke spletove i kanaliće ispunjene organskom supstancijom (korijenje sitnih biljaka?). Vrlo rijetko pojedini slojevi konglomerata (na pr. između 5. i 6. sloja mikrita na sl. 3) sadrže krupne (10—20 cm), nepravilne stromatolitne kvрге i sitne ulomke kalkretnih kora. Kvrge se sastoje od polukružnih ili nepravilno koncentrično raspoređenih stromatolitnih lamina međusobno različito intenzivno pigmentiranih nijansama smeđe boje kao posljedice varijabilne količine organske supstancije. Više snopova takvih lamina direktno je, poput kore, obraslo fragment mikrita. To su vjerovatno krupni fragmenti tzv. «club-shaped» stromatolita, koji u oblicima sličnim buzdovanima, nastaju u gornjem intertidalu neznatno iznad normalne razine plime u području do kojeg prskaju valovi (Playford & Cockba in, 1976). U sloj konglomerata komadi takvog stromatolita na-

plavljeni su u našem slučaju zajedno s ostalim krupnozrnastim detritusom za vrijeme olujnih valova ili jačih plimatskih struja.

Matriks konglomerata i breča je u pogledu mineralnog sastava vrlo jednoličan. Parcijalnim kemijskim analizama 5 uzoraka matriksa konglomerata iz kamenoloma Mondolaco i 3 uzorka iz kamenoloma Kirmenjak ustanovljen je udio CaCO_3 (kalcita) između 18,8 i 31,4%. Netopivi ostaci, pretežno zastupljeni česticama dimenzija glina i praha, analizirani su rendgenski. Prema tim analizama prevladavajući sastojak je ilit i klorit, manje obilan je montmorilonit, a kao akcesorije zapaženi su albit, zeoliti (?) i turmalin.

OTOK MLJET

U donjoj kredi otoka Mljeta vrlo lijepe izdanke breča s crnim ulomcima i oblucima nalazimo u zasjeku ceste Babino Polje—Sobra, u zasjeku puta Blato—Kozarica i na sjevernoj obali Malog jezera u nacionalnom parku (sl. 2).

Kako je to prikazano na sl. 4 i 7b, breče s crnim ulomcima pojavljuju se kao 10—70 cm debeli proslojci, leće ili ispune plimatskih kanala unutar subtidalnih mikrita/pelmikrita i intertidalnih fenestralnih mikrita/pelmikrita, peritidalnih »mud pebble« konglomerata i vadolita sastavljenih od skršenih i naplavljenih vadoznih ooīda. Slično kao što je to slučaj u titonu zapadne Istre i ovdje nalazimo teksturne i strukturne karakteristike tipične za ritmičku sedimentaciju u uvjetima postupnog oplicavanja od zatvorenog plicaka ili subtidala u donji intertidal i vadoznu zonu. U vertikalnom slijedu sedimenata to se manifestira prelazom homogenog mikrita/pelmikrita u fenestralni mikrit/pelmikrit s erodiranom gornjom slojnom plohom i/ili vadoznim tvorevinama, a mjestimice i plimatskim kanalima (sl. 4).

Razlikuju se dva tipa breča: 1. — Slabovezane breče s laporovitirn ili glinovitim matriksom i 2. — Čvrsto vezane breče s mikritnim matriksom.

1. — Slabovezane breče se sastoje od krupnih, pretežno 15—70 mm velikih, svijetlih i crnih ulomaka mikritne, pelmikritne i fenestralne građe te zelenkastosivog laporovitog ili glinovitog matriksa (ilit-klorit-montmorilonit). Crni ulomci u tim brečama su bitno manje zastupljeni od svijetlih ulomaka. Uz ulomke sporadično se javljaju i crni obluci.

2. — Čvrsto vezane breče (sl. 7b) se pojavljuju kao proslojci u donjim ili gornjim dijelovima debelih slojeva pelmikrita ili fenestralnog mikrita/pelmikrita. Sadrže gotovo isključivo samo crne ulomke u mikritnom matriksu. To su ulomci koji su naplavljeni u karbonatni mulj i zajedno s njim litificirani u čvrstu stijenu. Od okolnog mikrita/pelmikrita razlikuju se samo po povišenom sadržaju organske supstancije i sitno-raspršenom piritu. Pirit se naročito lijepo može determinirati rendgenskim snimanjima netopivog ostatka crnih ulomaka.

INTERPRETACIJA OKOLISA TALOŽENJA I POSTANKA CRNIH OBLUTAKA

Crni ulomci (»black pebbles«) se spominju u svjetskoj literaturi, uz stalnu evoluciju interpretacije postanka, već više od 150 godina. U novijim radovima interpretirani su kao produkti plitkomorskih do slatko-vod-

nih okoliša (Häfeli, 1966); kao produkti subaerskog trošenja na supratidalu (Ward et al., 1970); kao transgresivni detritus taložen pri oscilacijama morske razine (Flügel, 1978) te kao relikti erodiranih reduktivnih intertidalnih i supratidalnih sedimenata (Strasser & Davaud, 1983).

Kompleksna petrološka i sedimentološka istraživanja gornjojurskih i donjokrednih sedimenata zapadne Istre i otoka Mljeta su dokazala učestalu ritmičku sedimentaciju kao posljedicu opetovanih oplićavanja i produbljivanja bazena. Ritmičnost je posebno izražena vertikalnom izmjenom okoliša: zaštićeni plićak i/ili laguna — plitki subtidal — intertidal — vadozna zona ili supratidal (Tišljar, 1978; Tišljar et al., 1983). U kontekstu takvih sedimentacijskih uvjeta moramo promatrati i pojave crnih oblutaka i ulomaka. Pri rješavanju njihovog postanka i porijekla bit problematna može se sažeti u dva osnovna pitanja: 1. — od kuda su naplavljeni i 2. — zašto nigdje nisu pronađeni izdanci odgovarajućih matičnih stijena crne boje?

Odgovore na ta dva ključna, a i ostala popratna, pitanja pokušati ćemo dati jednim sedimentacijskim modelom, koji potpuno uvažava do sada poznate paleogeografske i sedimentacijske uvjete i okoliše taloženja stijena s kojima su crni obluci i ulomci stratificirani, njihovu petrološku i stratigrafsku vezu sa stijenama domaćinima, kao i mišljenja gore citiranih autora, osobito Flügela (1978) te Strassera i Davauda (1983).

U takvom sedimentacijskom modelu moramo razmotriti dva sedimentacijski antagonistička procesa od kojih su oba sedimentološkom faktografijom dokazana u našim razmatranim naslagama. To su:

- A — Faza izdizanja ili oplićavanja s mjestimičnim izronjavanjem i stvaranjem supratidalnog i vadoznog okoliša i
- B — Faza tonjenja, odnosno preplavlivanja izronjenih dijelova karbonatne platforme.

A — Faza izdizanja ili oplićavanja s mjestimičnim izronjavanjem

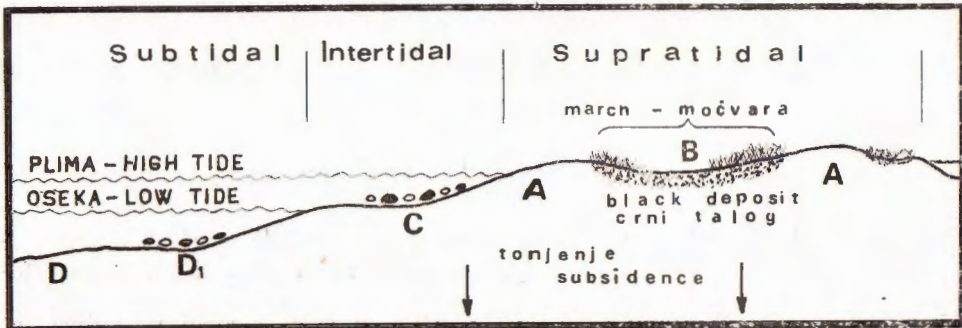
U fazi izdizanja dijelova karbonatne platforme (ili spuštanja morske razine?), kako to proizlazi iz regionalne analize litofacijesa jurskih i donjokrednih sedimenata (Tišljar, Velić & Sokač, 1983), pojedini će dijelovi bazena, zbog morfologije dna i/ili različitog intenziteta izdizanja, u određenom vrijeme doći u zonu od donjeg subtidala do supratidala. Dakle, dio nevezanih ili samo slabo konsolidiranih, još mekih karbonatnih taloga, izroniti će iznad srednje razine plime (supratidal), dio će ih ostati u zoni izmjene plime i oseke (intertidal), a pretežni će dio ostati u subtidalnim plićacima i zadržati odlike submarinske sedimentacije. U našem konkretnom slučaju ovakvo izdizanje lako se prepoznaje u slojevima vapnenaca po pojavi fenestralne građe u gornjim dijelovima slojeva, pukotinama isušivanja na gornjim slojnim ploham ili po desikacijskim brečama i kalkretnim korama (slika 3 i 4).

Ako u nekom, u supratidal izronjenom, dijelu karbonatnog taloga zaostane u manjim udubljenjima i depresijama morska voda, koja se primanjem meteorskih voda oslađuje, ili se u uleknućima nakupi oborinska voda, stvorit će se okoliš s karakteristikama brakične i/ili slatkovodne mo-

čvare. Tu se razvija niže bilje, a zbog redukativnih uvjeta pri dnu i bakterije koje reduciraju sulfate. Karbonatni sediment, tj. još mekani karbonatni mulj, u takvom okolišu prima sve više organske supstancije i sitna zrnca pirita kao produkte reduciranja sulfata pri životnim procesima bakterija. Boja sedimenta postaje sve tamnija i na koncu potpuno crna. Zbog relativno kratkog trajanja redukativnih uvjeta crni sediment nema veću debljinu. Naime, ukoliko faza izdizanja napreduje dalje ili samo stagnira, postupno će sve više prevladavati oksidacijski uvjeti da bi s vremenom potpuno potisnuli redukativne. Talog zbog oksidacije gubi crnu boju — izbljeđuje. Crna boja taloga u takvim se uvjetima ne može očuvati.

B — Faza tonjenja, odnosno preplavlivanja izronjenih dijelova

Ako razmjerno brzo nakon izdizanja dijelova bazena u supratidalni okoliš, uz stvaranje gore opisanih redukativnih uvjeta (brakične i/ili slatkovodne močvare), počinje proces tonjenja s postupnim preplavlivanjem supratidala, povremene jače plimatske struje i olujni valovi erodiraju supratidalne sedimente pa i crni talog. Pri tome, ne samo da nestaju redukativni okoliši, već se odlomljeni komadi, kako oni svijetle tako i oni crne boje, povratnim strujama prenose u udubljenja intertidalnih i subtidalnih plicaka i u plimatske kanale. Tu se talože zajedno s ostalim karbonatnim submarinskim i sprudnim nevezanim detritusom ali i s detritusom donesenim sa supratidala (sl. 5). Komadi slabo očvrstnutog, još plastičnog su-



Sl. 5. Shematski prikaz primarnog okoliša postanka crnog taloga i uvjeta taloženja crnih oblutaka: A — oksidacijski uvjeti: erozija sedimenta i transport detritusa pri olujnim i visokim plimatskim valovima; B — redukcijski uvjeti: zacrnjavanje sedimenta organskom supstancijom i piritom (sulfatne bakterije), erozija crnog sedimenta pri olujnim i visokim plimatskim valovima, prenos detritusa u C i D₁; C i D₁ = taloženje detritusa (svijetli i crni obluci) u depresijama i plimatskim kanalima; D = normalna subtidalna sedimentacija.

Fig. 5. Schematic drawing of the black deposit environment and sedimentary conditions of the black pebbles deposition: A — oxidizing condition: storm and high tide erosion and transport of the light deposit; B = reducing condition: blackening of deposit with organic matter and pyrite (sulfate reducing bacteria), storm and high tide erosion and transport of the black deposits; C, D₁ = small depression and tidal channels: deposition of the black and light pebbles; D = normal subtidal sedimentation.

pratidalnog sedimenta se pri tome mogu zaobljavati u oblutke («mud pebbles»), a komadi erodiranog jače litificiranog sedimenta zbog kratkog prenosa uglavnom ostaju uglasti.

U razdobljima kada nema olujnih valova niti visokih plima, a supratidal postupnim tonjenjem još nije potpuno preplavljen, preostali crni talog, nakon što mu je erozija skinula površinski dio i razorila močvarno-reduktivni okoliš, dolazi u oksidativne uvjete. Zbog toga on polagano mijenja boju od crne preko tamnosive, sivosmeđe u svijetlosmeđu ili svijetlosivu. Novi povremeni olujni valovi i visoke plime, uz postupno tonjenje, zahvaćaju sve veću i veću površinu supratidala, a pri tome sve dublje i dublje erodiraju tamni talog i okolne svijetle sedimente. Tamni talog pomalo nestaje, uglavnom zbog sve dublje erozije ali i oksidacijskih procesa u razdobljima bez olujnih valova. Nakon potpunog preplavljanja supratidala crnog taloga više nema, a novi se sediment taloži na podinu (fenestralni mikrit) s erodiranom površinom. Boja sedimenta te podine je normalna, a u njemu su više ili manje, ovisno o erozijom skinutoj debljini, očuvani tragovi razmjerno geološki kratkotrajnog izronjavanja (subaersko trošenje i vadozne tvorevine).

Kakva je daljnja sudbina crnih oblutaka i ulomaka, koji su se zajedno s ostalim detritusom istaložili u udubinama subtidala i intertidala te u plimatskim kanalima?

Zbog istovremenog taloženja karbonatnog mulja i glinovite supstancije koja je donešena sa supratidala (matriks konglomerata i breča) ili submarinskog i sprudnog detritusa (crni obluci i ulomci uloženi u pelmikritima kao što je to slučaj na sl. 6c i 7b) crni obluci i ulomci su dobro izolirani od oksidacijskih procesa pa je njihovo izbljeđivanje onemogućeno. Na taj način crna se je boja mogla i fosilno očuvati.

DISKUSIJA

Ovim interpretacijskim modelom moguće je objasniti, ne samo porijeklo i okoliš stvaranja crnih oblutaka i ulomaka, već i zašto nigdje nisu pronađeni izdanci matičnih crnih stijena. Nadalje, model daje odgovore na pitanja zašto se u istom sloju konglomerata ili breča pojavljuju obluci i ulomci od potpuno crne, preko tamnosmeđe pa do normalne boje podinskih vapnenaca. To je posljedica erozije olujnim valovima i visokim plimama svijetlog supratidalnog i crnog reduktivnog supratidalnog sedimenta, a dijelom i posljedica izbljeđivanja crnog taloga između pojedinih faza erozije (razdoblja bez olujnih valova) nakon eliminacije reduktivnih uvjeta. Ovim modelom objašnjeno je, također, i to što crni obluci i ulomci imaju identičnu građu i strukturu s onima svijetle boje i s vapnencima podine. Oblici pojavljivanja i geometrija slojeva, leća i uložaka konglomerata i breča je isto tako potpuno u skladu s modelom interpretacije: oni su taloženi samo lokalno i s malim lateralnim prostiranjem u odgovarajućim udubljenjima i plimatskim kanalima na intertidalu i subtidalu.

Kako je već u uvodu spomenuto, crni obluci i ulomci pojavljuju se i u drugim područjima i stratigrafskim jedinicama karbonatne platforme u Vanjskim Dinaridima. Prilikom litofacijelnih i sedimentoloških istraživa-

Sl. 6. Konglomerati i breče s crnim oblucima u titonskim vapnencima zapadne Istre:

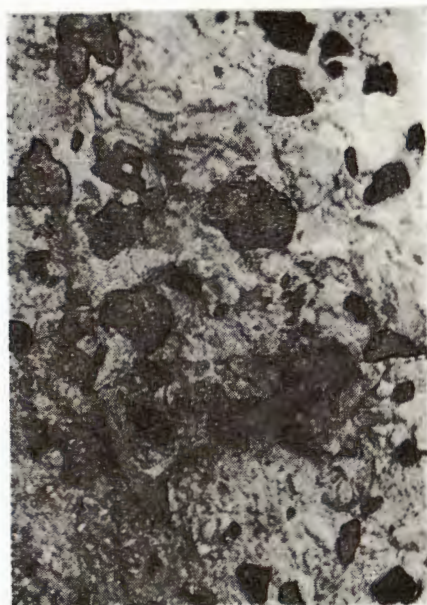
- a — Konglomerat sastavljen od svijetlih i crnih oblutaka. Zbog oksidacije boja crnih oblutaka na površini je siva. U podini stilolitični mikrit/pelmikrit. Kamenolom Mondolaco.
- b — Crni obluci na gornjoj slojnoj plohi fenestralnog mikrita (sloj br. 2 na sl. 3). Kamenolom Mondolaco.
- c — Breča s crnim ulomcima i oblucima u bazi sloja fenestralnog onkoidnog pelmikrita. Crni obluci i ulomci pokazuju varijabilnu boju i stupanj zaobljenosti. Kamenolom Kirmenjak, polirana ploča.

Fig. 6. Black pebbles bearing conglomerates and breccias in the Tithonian limestones of the Western Istria:

- a — Black and light pebbles bearing conglomerate. On the surfaces of black pebbles are gray in colour (a surface oxidation). Conglomerate is overlain onto the stilolitic micrite/pelmicrite. The Mondolaco quarry.
- b — The layer surface of fenestral micrite with black pebbles (layer No. 2 on the fig. 3). The Mondolaco quarry.
- c — Breccia with black fragments and pebbles in the basis of the fenestral oncoloidal pelmicrite. Black pebbles shown various colour and degrees of roundness. The Kirmenjak quarry, polished slab.



a



b



c

Sl. 7. Facijes breča s crnim ulomcima i oblucima otoka Mljeta:

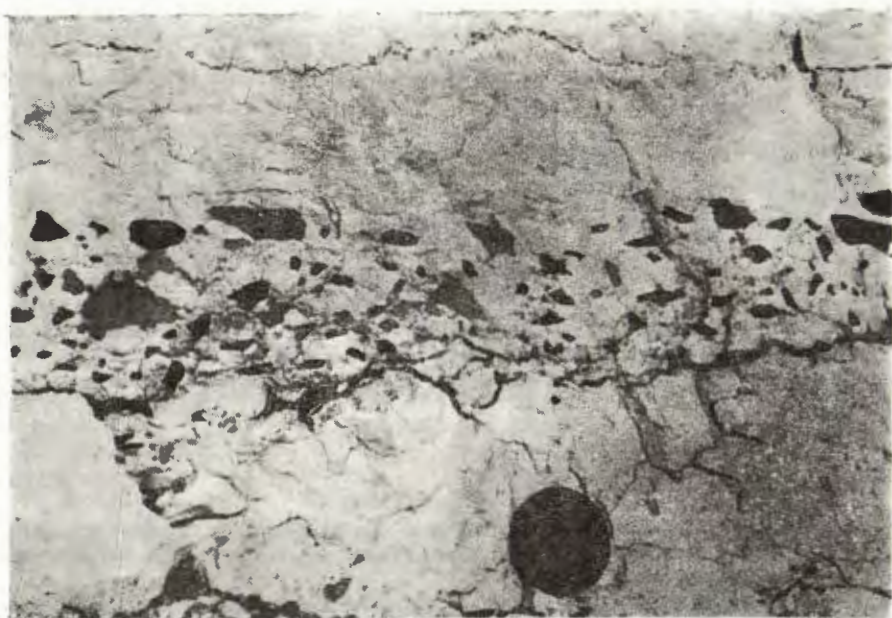
- a — Pukotine isušivanja na gornjoj slojnoj plohi fenestralnog mikrita.
- b — Fenestralni mikrit/pelmikrit s crnim ulomcima u mikritno/pelmikritnom matriksu. Zasjeak ceste Babino Polje — Sobra (barem).

Fig. 7. Black pebble facies on the Island of Mljet:

- a — Desiccation cracks on the fenestral micrite layer surface.
- b — Black pebble bearing fenestral micrite/pelmicrite (Black pebble breccia with micrite/pelmicrite matrix). The roadcut near Sobra (Barrenriam).



a



b

nja nalazio sam ih u aptu Biokova, neokomu Dinare, baremu i aptu područja Cerovac—Hum u zaleđu Dubrovnika i gornjoj kredi (cenoman-turon ?) dubokih naftnih bušotina južnog Jadrana. U gornjem senonu otoka Brača unutar subtidal-intertidalnih vapnenaca spominju ih Jelaska et al. (1983).

Na svim tim lokalitetima uvijek ih nalazimo u konglomeratima i/ili brečama, ili u početnom dijelu mikritnih slojeva, uslojene sa subtidal do intertidalnim, mjestimično i vadoznim, vapnencima. Njihov postanak i uvjeti taloženja mogu se objasniti na isti, ili vrlo sličan način, kao što je to učinjeno u ovom radu, tj. primjenom ovdje prikazanog sedimentacijskog modela.

Primljeno 20. 12. 1985.

LITERATURA

- Flügel, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. Springer-Verlag, 213 str., Berlin-Heidelberg-New York.
- Häfeli, C. (1966): Die Jura/Kreide-Grenzschiichten im Bielerseegebiet (Kt. Bern). *Eclogae geol. Helv.*, 59/2, 565-696. Basel.
- Jelaska, V., Ogorelec, B. & Ercegovic, M. (1983): The Upper Cretaceous depositional environments of the Carbonate platform on the Island of Brač. Excursion Guide Book, 4th IAS Regional Meeting, 99—124, Split.
- Korolija, B., Borović, I., Grmani, S., Marčić, S., Jagačić, T., Magaš, N. i Milanović, M. (1968): Tumač OGK za list Korčula K—33—47. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Playford, P. E. & Cockbain, A. E. (1976): Modern algal stromatolites at Hamelin Pool, a hypersaline barred basin in Shark Bay, Western Australia. *Development in Sedimentology*, 20, Elsevier, 389—411. Amsterdam-Oxford-New York.
- Polšak, A. (1965): Stratigrafija jurskih i krednih naslaga srednje Istre. *Geol. vjesnik*, 18/1, 167—188, Zagreb.
- Savezni geološki zavod (1970): Geološka karta SFR Jugoslavije, 1:500.000, Beograd.
- Sokač, B., Velić, I. i Tišljar, J. (1980): Model biostratigrafskog raščlanjivanja i analize sredina taloženja u karbonatnim sedimentima donje krede Biokova. *Zbornik radova IX Kong. geol. Jugoslavije*, 226—233, Sarajevo.
- Strasser, A. & Davaud, E. (1983): Black pebbles of the Purbeckian (Swiss and French Jura): lithology, geochemistry and origin. *Eclogae geol. Helv.*, 76/3, 551—580, Basel.
- Šebečić, B. (1976): Sedimentološke osobine karbonatnih naslaga otoka i poluotoka južnog i srednjeg Jadrana. — *II Skup sedimentologa Jugoslavije*, 101—113, Beograd.
- Tišljar, J. (1977): Ranodijagenetska i kasnodijagenetska dolomitizacija i dledolomitizacija u krednim karbonatnim sedimentima zapadne i južne Istre (Hrvatska, Jugoslavija). *Geol. vjesnik*, 29, 287—321, Zagreb.
- Tišljar, J. (1978): Tidal flat, lagoonal and shallow marine carbonate sediments in the Upper Jurassic and Cretaceous of Istria (Yugoslavia). *Acta geologica*, IX/5, *Prir. istraž. JAZU*, 42, 159—194, Zagreb.
- Tišljar, J. (1983): Coated Grains Facies in the Lower Cretaceous of the Outer Dinarides (Yugoslavia). In T. Peryt (ed): *Coated Grains*. Springer-Verlag, 566—576, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo.
- Tišljar, J., Velić, I., Radović, J. & Crnković, B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow marine and perireefal Carbonate Sediments of Istria. Excursion Guide-Book, 4th IAS Regional Meeting, 13—35. Split.

- Tišljari, J., Velić, I. & Sokač, B. (1983): Flachwasserkarbonate der Unterkreide im dinarischen Karstgebiet entlang der jugoslawischen Adriaküste. *Zit-teliana*, 10, 201—206, München.
- Ward, W. C., Folk, R. L. & Wilson, J. L. (1970): Blackening of eolianite and caliche adjacent to saline lakes, Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico. *J. sediment. Petrol.*, 40/2, 548—555, Tulsa, Oklahoma.

Origin of the Black Pebbles and Fragments in the Peritidal Limestones of the Western Istria (Tithonian) and Island of Mljet (Barremian)

J. Tišljari

Subtidal and intertidal Tithonian limestones of the Western Istria (fig. 1) as well as Barremian limestones of the Island of Mljet (fig. 2) bear several lenses and interbeds conglomerates and/or breccias containing 0.2—250 mm big black pebbles and fragments (fig. 6 and 7) in some places. Parent rocks or their outcrops which might have been a source of material for black pebbles have not been discovered in a wider region yet.

This paper deals with results of field and laboratory, petrological and sedimentological investigation of the carbonate rocks bearing black pebbles, presenting also facies and environment analysis of their origin.

In the Western Istria (Tithonian), there are conglomerates and/or breccias with black pebbles and fragments occurring like 5—50 cm thick layers or irregular lenses wedging out laterally, and like sediments of tidal and subtidal channels supergradually (fig. 3). They are interstratified with micrites and fenestral micrites/pelmicrites exclusively, which exhibit structural and textural characteristics of gradual shallowing from the base to the top of the sequence, i. e. gradual change from restricted shallows and/or subtidal into low intertidal environment (fig. 3). The shallowing is manifested by rhythmic sedimentation of homogenous micrite/pelmicrite — micrite with bioturbation (burrows) and fenestral micrite with erosion surface and/or desiccation cracks. Conglomerates and/or breccias with black pebbles are overlain onto the eroded fenestral micrite/pelmicrite bed surfaces and a surface with desiccation cracks or in the tidal channels (fig. 3 and fig. 6b). Fenestral fabric and desiccation cracks point out the shallowing to a stage of shallow subtidal and low intertidal and sometimes even emergence into vadose or supratidal. Thin calcrete crusts and vadose features had been formed in the same conditions as well (top of the layer 4 on the fig. 3).

There is, on the Island of Mljet, similar lithological and sedimentary situation (fig. 4 and 7). In comparison to the Tithonian of Western Istria, desiccation cracks are rarer and vadose features more frequent. Conglomerates and breccias contain variable quantity of light brown, dark gray and black pebbles and fragments, and green-gray mainly or micritic matrix (fig. 6a and 7b). One may find black pebbles and fragments in the base or at the top of the micrite layer incorporated into micritic or fenestral micritic ground-mass (fig. 6b and 7b). All types of pebbles and fragments shown micritic, pelmicritic or fenestral micritic texture identical to the limestones, whom they alternate with. Black pebbles and fragments differ from the light ones and from the limestones host rocks as well only by increased organic matter content (plant remnants, black spots) and higher concentration of fine dispersed pyrite of biogenic origin (sulfate reducing bacteria). Conglomerate matrix consists of calcite (18.8—31.4% CaCO₃), illite and chlorite, and montmorillonite sporadically.

Origin of the black pebbles and black fragment must be considered in the context of the whole sedimentary conditions: It is a rhythmical sedimentation as a consequence of repeated shallowing and deepening of the basin. The unknowns in black pebble origin might be specified into two basic questions: 1. — where they had been washed out from, and 2. — why the black parent limestone rock have not been found anywhere? The answers to these questions, comprehended in a single sedimentary model are presented in the paper, taking into account up-to-date knowledge about sedimentary conditions and environments of deposition of black pebble bearing limestones.

The model comprises processes and conditions which predominate during two antagonistic sedimentary phases: A — uplifting phase or shallowing with sporadic emergence, and B — subsidence phase, i. e. repeated flooding of already emerged sediments. In the course of uplifting and shallowing, certain smaller prominent parts of the carbonate platform (since developed bottom morphology and/or different rate of uplifting) will emerge in a supratidal environment at some time. There are places of brackish or freshwater marshes with growing plants. The reducing conditions are favorable for proliferation of desulfurizing bacteria, producing H_2S . Carbonate sediments under such circumstances accept quite a bit of organic matter and biogenic pyrite and receive black colour (blackening of sediment). If the emergence phase persists even further in time or stagnates, reducing conditions will diminish gradually on behalf of oxidizing. The deposit loses black hue and fades and black limestone rocks are not preserved at all.

During subsidence phase, i. e. gradual overflooding of the supratidal, temporal stronger tidal streams or storm wave erode supratidal sediments and the black deposits as well. The fragments of the black and light sediments are transported by wave and tidal activity back in the intertidal or subtidal area and deposited in depression or tidal channels (fig. 5). In a period of quietness without tidal or storm waves, while supratidal is still out of the sea dominance, the rest of the black deposits (after partial erosion) is not any more under reducing conditions. Due to oxidizing processes, the black colour of mechanically disturbed sediments gradually disappears. By another tempest activity along by successive sinking, the sea invades the supratidal area more and more, grasping and eroding dark sediments. The fragments and pebbles, resulting in such an activity, are black, dark gray, light gray or brown in colour.

Due to erosion and oxidation, after complete overflooding, the black deposits do not exist anymore. New sediment (micrite or pelmicrite) is being deposited onto the eroded surface of the older sediments.

Accumulated black pebbles and fragments in intertidal and subtidal area due to contemporaneous deposition of the carbonate and clayey mud (conglomerate matrix) are well isolated from oxidizing environment and afterwards covered soon by a new carbonate sediment (micrite and/or pelmicrite).

This model renders explanation about origin of the black pebbles, diversity in their colour, as well as a clue to a puzzling fact of non-existing parent black rocks, a possible source of the black pebbles.

According to that, the black pebbles originate by storm-wave activity upon the black, supratidal and top intertidal, reducing, brackish-freshwater deposits. One may find them like fragments of intertidal or subtidal conglomerates and/or breccias.