

Določitev meje T/J z analizo stabilnih izotopov $\delta^{13}\text{C}$ in $\delta^{18}\text{O}$ (Krim, Slovenija)

Determination of T/J boundary by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ stable isotope analysis (Krim Mountain, Slovenia)

MILOŠ MILER¹, JERNEJ PAVŠIČ², MATEJ DOLENEC³

¹ Hribi 2, 1291 Škofljica, Slovenija; E-mail: mmiler@email.si

² Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, 1000 Ljubljana, Slovenija; E-mail: jernej.pavsic@ntf.uni-lj.si

³ Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija; E-mail: matej.dolenec@s5.net

Received: June 21, 2007

Accepted: October 23, 2007

Izvleček: Izotopske analize ogljika in kisika v dolomitih triasne in jurske starosti iz profilov Žvencelj-Novih zavodov in Tresenk-Rupendol na območju Krimskega hribovja, so bile preliminarne, izvedene z namenom določitve meje med triasom in juro. Zaradi neprekinjene sedimentacije karbonatov na prehodu iz triasa v juro in pomanjkanja fosilnih ostankov meja ni bila natančno določena. Predpostavljena je bila tam, kjer med zrnatim dolomitom glavnega dolomita v loferskem razvoju ni več laminiranega dolomita. Za prehod iz triasa v juro je značilna negativna ogljikova anomalija. Ta je verjetno posledica zgornjetriasne regresije morja. Na zgornjetriasno regresijo kažejo tudi vedno pogostejše dolomitne breče v zgornjem delu zgornjetriasnih plasti. Za spodnjeliasne plasti so značilne povišane vrednosti $\delta^{13}\text{C}$, ki sovpadajo z nenadno transgresijo morja. Na podlagi rezultatov izotopskih analiz ogljika in kisika je bila meja med triasom in juro natančneje postavljena med črnimi dolomitnimi brečami zgornjetriasne starosti in svetlosivimi zrnatimi dolomiti spodnjeliasne starosti.

Abstract: Carbon and oxygen stable isotope analyses of Triassic and Jurassic dolomites from Žvencelj-Novih zavodov and Tresenk-Rupendol sections on Krim Mountain area, were preliminary and were carried out with the purpose of determining T/J boundary. Due to lack of fossil remains and continuous carbonate sedimentation during T/J transition, the exact position of T/J boundary has not been defined yet. It was presumed in coarse-grained Main dolomite in which intermediate beds of laminated dolomites are no longer present. The T/J transition is characterised by negative excursion in $\delta^{13}\text{C}$. The carbon isotope variability is probably a consequence of Upper Triassic marine regression which is also indicated by more frequently appearing beds of dolomitic breccias in the upper part of Upper Triassic. Fol-

lowing positive shift in $\delta^{13}\text{C}$ values is characteristic of Lower Liassic beds and is consistent with sudden marine transgression. Based on results of carbon and oxygen isotope analyses the T/J boundary was more accurately placed between Upper Triassic black dolomitic breccias and Lower Liassic light grey coarse-grained dolomites.

Ključne besede: meja T/J, dolomiti, stabilni izotopi ogljika in kisika, Dinarska karbonatna platforma, Krim

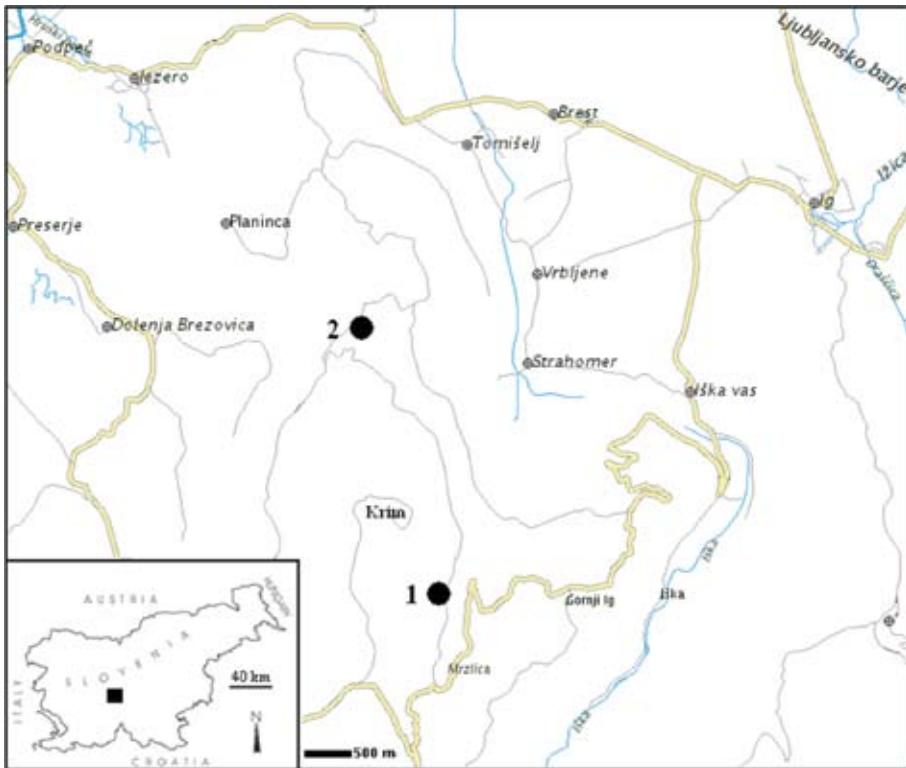
Key words: T/J boundary, dolomites, carbon and oxygen stable isotopes, Dinaric Carbonate Platform, Krim Mountain

Uvod

Konec triasa je prišlo do enega največjih množičnih izumrtij, ki po svojem obsegu preseže celo izumrtje ob koncu krede (McROBERTS ET AL., 1997). Pri tem je izumrlo nekaj več kot polovica vseh rodov morskih organizmov. Različni avtorji navajajo različne razloge za izumrtje, kot so zmanjšana bioprodukcija in akumulacija C^{12} v rezervoarju ogljika (KUMP & ARTHUR, 1999), povečanje količine CO_2 v atmosferi zaradi vulkanizma (KUMP & ARTHUR, 1999), sproščanje metana iz metanovih hidratov kot posledica vulkanizma in sledeče spremembe okolja, ki so vplivale na organizme (PALFY ET AL., 2001), zmanjšanje morskih habitatov zaradi regresije morja in širjenje anoksične vode med sledečo transgresijo (HALLAM, 1981) ter prekinitev morske in kopenske prehranjevalne verige zaradi znižanja primarne produkcije (McROBERTS ET AL., 1995). Verjetno pa je šlo za kombinacijo naštetih dogodkov.

Raziskave meje T/J na območju avstrijskih Severnih apneniških Alp (McROBERTS ET AL., 1997; KRYSSTYN ET AL., 2005) in Csövar na Madžarskem (PALFY ET AL., 2001) kažejo, da je za prehod iz triasa v juro značilna negativna $\delta^{13}\text{C}$ anomalija anorganskega in organskega ogljika. Veliko množičnih izumrtij je povezanih z negativno $\delta^{13}\text{C}$ anomalijo in bolj ali manj vzporedno anomalijo $\delta^{18}\text{O}$. To pomeni, da so povezana tudi s spremembami v globalnem ogljikovem ciklu (PALFY ET AL., 2001).

Negativna $\delta^{13}\text{C}$ anomalija je posledica zgornjetriasne regresije morja, pri kateri je prišlo do povečanega dotoka meteorne vode in oksidacije organske snovi v morju (McROBERTS ET AL., 1997; PALFY ET AL., 2001). Izotopska sestava kisika v diagenetsko nespremenjenih karbonatih pa lahko odraža izotopsko sestavo in temperaturo morske vode (SCHRAG ET AL., 1995).



Slika 1. Geografski položaj profilov Žvencelj-Novi zavodi (1) in Tresenk-Rupendol (2) na območju Krima

Figure 1. Geographic location of Žvencelj-Novi zavodi (1) and Tresenk-Rupendol (2) sections (Krim Mountain, Slovenia)

GEOLOŠKA ZGRADBA IN PALEOGEOGRAFIJA

Za potrebe analize izotopske sestave kisika in ogljika v karbonatih na meji T/J so bile vzorčevane kamnine v profilih Žvencelj-Novi zavodi in Tresenk-Rupendol. Profila sta na območju Krimskega hribovja in sicer vzhodno ter severozahodno od Krima (slika 1). Krimsko hribovje leži v severnem delu Zunanjih Dinaridov, ki so v triasu in juri pripadali Dinarski karbonatni platformi.

Na območju Krimskega hribovja je na prehodu iz triasa v juro potekala neprekinjena karbonatna sedimentacija (PLENIČAR, 1970). Zaradi postopne litostratigrafske meje in odsotnosti fosilnih ostankov meja med zgornjetriasnimi in spodnjelijasnimi plastmi ni bila biostratigrafsko določena. Po Pleničarju (1970) in Buserju (1986) je meja postavljena tam, kjer med zrnatim dolomitom ni več laminiranega dolomita oziroma tam, kjer se pojavljajo sive dolomitne breče z zrnatim dolomitnim vezi-

vom in ostrorobimi klasti laminiranega dolomita. Po Novaku (2003) pa je meja T/J v litološkem pogledu postavljena v pas, kjer se zaključuje loferska sedimentacija, paleontološko pa po izumrtju megalodontid.

Zgornjetriasne plasti predstavlja glavni dolomit v loferskem razvoju (slika 2). Gre za menjavanje sivega do svetlosivega zrnatega dolomita, sivega do temnosivega stromatolitnega dolomikrita, ki ponekod navzgor prehaja v siv onkodolomikrosparit in temnosivih do črnih dolomitnih breč s svetlosivimi klasti. Siv in svetlosiv zrnat dolomit, ki ponekod vsebuje megalodontidne školjke, predstavlja člen C loferske cikloteme in je nastal v podplimskem okolju. Siv in temnosiv stromatoliten dolomikrit s horizontom sivega onkodolomikrosparita, ki ga tvorijo ostanki onkoidov tipa »*Sphaerocodium bornemanni*«, predstavlja člen B, ki je nastal v medplimskem okolju. Temnosive do črne dolomitne breče pa so nastale v nadplimskem okolju in predstavlja-

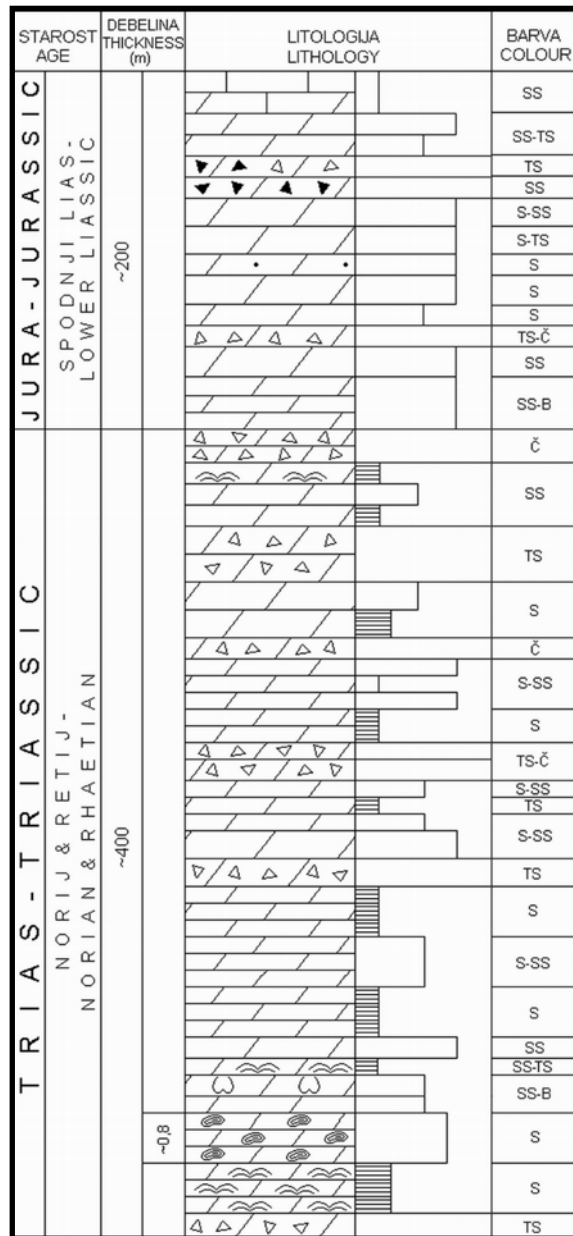
jo člen A. Menjavanje teh členov je posledica pogrezanja šelfa, evstazije in produkcije karbonata. Dolomitnih breč člena A je navzgor vedno več, kar kaže na postopno regresijo morja (McROBERTS ET AL., 1997; KRYSSTYN ET AL., 2005). Večje debeline breč v skrajnem zgornjem delu zgornjega triasa so lahko tudi posledica močnejše sinsedimentne tektonike.

V spodnjem delu spodnjeliasnih plasti je menjavanje sive do črne dolomitne breče s klasti zrnatega in laminiranega dolomita, s sivim do svetlosivim zrnatim dolomitom. Sive do črne dolomitne breče so verjetno nastale še v plitvem okolju pod vplivom sinsedimentne tektonike (McROBERTS ET AL., 1997). Zaradi poglobljanja morja oz. spodnjeliasne transgresije (HALLAM, 1997) stromatolitne lamine niso več nastajale in so zato v sivem zrnatem dolomitu odsotne. V zgornjem delu spodnjeliasnih plasti pa se že pojavlja svetlosiv mikriten apnenec.

MATERIALI IN METODE

Analiziranih je bilo 16 vzorcev iz profilov Žvencelj-Novih zavodov in Tresenk-Rupendol. Uporabljeni so bili sveži neprepereli vzorci dolomitov. Vzorci dolomitov so bili zmleti v homogen prah. Vsak izmed 16 vzorcev je bil razdeljen na 4 manjše 8 miligramske vzorce, ki so bili odtehtani s tehtnico Mettler Toledo AE240.

Pri reakciji 100 % fosforne kisline (H_3PO_4) s karbonatom pri 50 °C se je tvoril plin CO_2 , ki je bil nato analiziran z masnim spektrometrom Varian MAT 250. Vrednosti rezultatov so bile normalizirane glede na standarda IAEA-CO-1 ($8 \times$ po 4 mg) z $\delta^{13}C$ vrednostjo +2,48 ‰ in $\delta^{18}O_{VPDB}$ vrednostjo -2,44 ‰ ter NBS-19 ($8 \times$ po 4 mg) z $\delta^{13}C$ vrednostjo +1,95 ‰ in $\delta^{18}O_{VPDB}$ vrednostjo -2,20 ‰. Vsi vzorci so bili analizirani na Inštitutu Jožef Štefan v Ljubljani.



Slika 2. Litostratigrafski stolpec zgornjetriasnih in spodnjeliasnih plasti na območju Krima

Figure 2. Lithostratigraphic column of Upper Triassic and Lower Liassic beds in Krim Mountain area

REZULTATI RAZISKAV

Izotopske analize ogljika in kisika so bile preliminarne, opravljene z namenom natančnejše določitve postopne meje med triasom in juro zaradi pomanjkanja fosilnih ostankov v dolomitih. Izotopske sestave ogljika in kisika iz profilov Žvencelj-Novi zavodi in Tresenk-Rupendol so navedene v tabeli 1 in 2 ter grafično prikazane na sliki 3.

Vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ v profilu Žvencelj-Novi zavodi (tabela 1) se gibljejo med +0,62 ‰ in

+1,82 ‰, vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ pa med -4,15 ‰ in +0,67 ‰. V profilu Tresenk-Rupendol (tabela 2) pa so vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ med +1,04 ‰ in +2,72 ‰ ter $\delta^{18}\text{O}$ med -5,28 ‰ in +0,64 ‰.

Najvišja vrednost $\delta^{13}\text{C}$ je v obeh profilih dosežena v zgornjetriasnem sivem stromatolitnem in svetlosivem drobno in srednjezrnatem dolomitu (vzorci IA0, IA16-2 in IA16-1), ki se pojavlja med stromatolitnim. Minimalna vrednost je pri obeh profilih dosežena v debeli črni in temnosivi

Tabela 1. Izotopska sestava ogljika in kisika v dolomitih iz profila Žvencelj-Novi zavodi

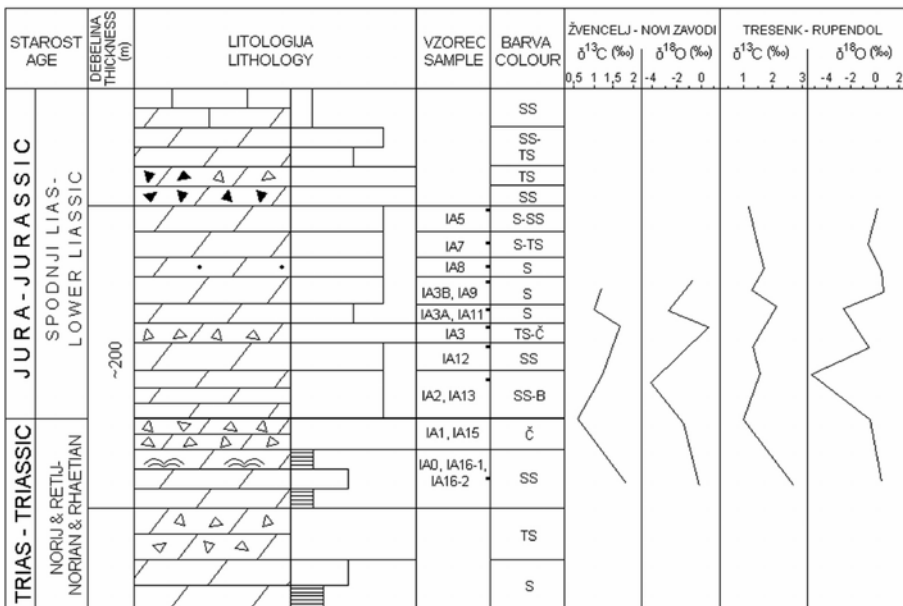
Table 1. Isotopic composition of carbon and oxygen in dolomites from Žvencelj-Novi zavodi section

Vzorec-Sample	$\delta^{18}\text{O}$	std.	$\delta^{13}\text{C}$	std.
IA0	-0,16	0,00	1,82	0,04
IA1	-1,36	0,03	0,62	0,08
IA2	-4,15	0,06	1,22	0,03
IA3	0,67	0,07	1,75	0,07
IA3a	-2,70	0,06	1,00	0,08
IA3b	-0,68	0,03	1,19	0,01

Tabela 2. Izotopska sestava ogljika in kisika v dolomitih iz profila Tresenk-Rupendol

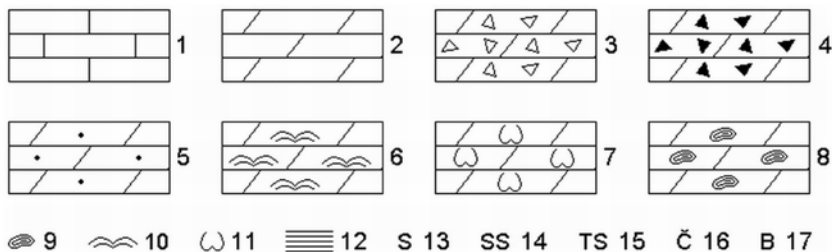
Table 2. Isotopic composition of carbon and oxygen in dolomites from Tresenk-Rupendol section

Vzorec-Sample	$\delta^{18}\text{O}$	std.	$\delta^{13}\text{C}$	std.
IA16-2, IA16-1	0,45	0,12	2,72	0,09
IA15	-0,40	0,15	1,04	0,14
IA13	-5,28	0,04	1,55	0,07
IA12	-0,46	0,08	1,36	0,12
IA11	-2,63	0,01	2,12	0,04
IA9	0,64	0,04	1,30	0,05
IA8	0,53	0,02	1,72	0,05
IA7	-0,57	0,14	1,48	0,13
IA5	0,20	0,03	1,21	0,05



Slika 3. Litostratigrafski stolpec in izotopska sestava ogljika in kisika v dolomitih raziskanih profilov

Figure 3. Lithostratigraphic column and isotopic composition of carbon and oxygen in dolomites from studied sections



Legenda k sliki 2 in 3

1 - apnec, 2 - dolomit, 3 - dolomitna breča s svetlosivimi klasti, 4 - dolomitna breča s črnimi klasti, 5 - bituminozni dolomit, 6 - stromatolitni dolomit, 7 - dolomit z megalodontidami, 8 - onkoidni dolomit, 9 - onkoidi, 10 - stromatoliti, 11 - megalodontidne školjke, 12 - vzporedna laminacija, 13 - siva, 14 - svetlo siva, 15 - temno siva, 16 - črna, 17 - bela

Explanation of Figure 2 and 3

1 - limestone, 2 - dolomite, 3 - dolomitic breccia with light grey clasts, 4 - dolomitic breccia with black clasts, 5 - bituminous dolomite, 6 - stromatolitic dolomite, 7 - dolomite with Megalodontids, 8 - oncoidal dolomite, 9 - oncolids, 10 - stromatolites, 11 - Megalodontids, 12 - parallel lamination, 13 - grey, 14 - light grey, 15 - dark grey, 16 - black, 17 - white

dolomitni breči (vzorca IA1 in IA15), ki predstavlja skrajni zgornji del zgornjega triasa in je verjetno nastala v času viška zgornjetriassne regresije morja. Prvo zvišanje vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ v svetlosivih zrnatih dolomitih (vzorca IA2 in IA13) sovpada z začetkom spodnjeliasnega zvišanja gladine morja oziroma transgresije. Meja med triasom in juro je bila tako postavljena med črnimi dolomitnimi brečami in svetlosivim zrnatim dolomitom (slika 3).

Vrednost $\delta^{18}\text{O}$ v vzorcih IA1 in IA15, vzporedna minimalni vrednosti $\delta^{13}\text{C}$, je relativno visoka in bi lahko sovpadala s povišano temperaturo v času viška regresije. Minimalna vrednost $\delta^{18}\text{O}$ v vzorcih IA2 in

IA13 pa poteka vzporedno s prvim povišanjem vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ in sovpada z znižanjem temperature oziroma spremembo kemizma morske vode (pornih voda) pri spodnjeliasni transgresiji morja. Nadaljna nihanja vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ in $\delta^{18}\text{O}$ predstavljajo manjša nihanja gladine morja med napredujočo spodnjeliasno transgresijo.

Med analiziranimi različki dolomitov prevladujejo zrnati dolomiti in vezivo dolomitnih breč ter redki mikritni in laminirani mikritni dolomiti. Zrnati dolomiti so nastali s poznodiagenetsko dolomitizacijo, laminirani mikritni dolomiti pa imajo ohranjeno prvotno strukturo kamnine in so nastali z zgodnjediagenetsko dolomitizacijo.

RAZPRAVA

Rezultati izotopskih analiz ogljika in litoloških raziskav kažejo, da je debela črna in temnosiva dolomitna breča nastala pod vplivom močne sinsedimentne tektonike verjetno v času viška zgornjetriassne regresije morja, ob kateri je prišlo do povečanega dotoka meteornih voda, in predstavlja skrajni zgornji del zgornjega triasa. Svetlosivi zrnati dolomiti nad brečo so nastali v nekoliko globlji vodi med začetkom spodnjeliasne transgresije morja.

Podatki o izotopski sestavi kisika kažejo, da je bila v zgornjem delu zgornjega triasa, v času viška regresije, temperatura vode verjetno nekoliko povišana. Nasprotno se je v spodnjem delu spodnjega liasa, zaradi napredujoče transgresije, temperatura vode znižala oziroma je prišlo do spremembe kemizma morske vode (pornih voda).

Za mejo T/J je značilna negativna $\delta^{13}\text{C}$ anomalija, ki je posledica povečanega dotoka meteorne vode in oksidacije morske organske snovi med zgornjetriassno regresijo morja. Zaradi regresije je prišlo do subaerske oksidacije organske snovi, pri čemer se je C^{12} vezal v CO_2 in se uravnotežil z oceansko vodo. Pri tem se je rezervoar ogljika v oceanski vodi obogatil z lažjim izotopom ogljika (DOLENEC ET AL., 1998; PALFY ET AL., 2001). Pri transgresiji morja pa se je zgodilo ravno obratno. Oceanska voda se je relativno obogatila s težjim ogljikovim izotopom. Poleg tega pa zaradi poglobljanja morja stromatolitne lamine med spodnjeliasnimi zrnatimi dolomiti niso več nastajale.

Zaradi pomanjkanja oziroma odsotnosti fosilnih ostankov meja med triasom in juro ni bila paleontološko utemeljena. Naše

raziskave so izhajale iz stare predpostavke, da je meja med triasom in juro postavljena tam, kjer se med zrnatim dolomitom laminiran dolomit ne pojavlja več (PLENIČAR, 1970; BUSER, 1986). V litološkem pogledu je meja T/J postavljena v pas, kjer se zaključí loferska sedimentacija, paleontološko pa po izumrtju megalodontid (NOVAK, 2003). Samo na podlagi litoloških in sedimentoloških značilnosti ne moremo določiti natančnega položaja meje, lahko pa vsaj približno opredelimo interval, v katerem se meja nahaja. Vzorci so bili odvzeti v intervalu od zrnatega dolomita, ki leži pod laminiranim dolomitom do prvega pojava mikritnega apnenca, nad katerim leži ooidni apnenec, ki je biostratigrafsko dokazano srednjeliasne starosti. Obravnavano zaporedje kamnin tako skoraj zagotovo obsega skrajni zgornji del retija in spodnji del spodnjega liasa ter s tem tudi mejo T/J.

Primerjava obravnavanih plasti z zgornjetriasnimi in spodnjeliasnimi plastmi Severnih Apneniških Alp (McROBERTS ET AL., 1997; KRYSZYN ET AL., 2005) je pokazala, da so v Severnih Apneniških Alpah v noriju nastajali glavni dolomiti in dachsteinski apnenci v laguni, ki so jo pričeli v zgornjem retiju prekrivati bioklastični apnenci in laporovci, medtem ko se je na obravnavanem ozemlju sedimentacija glavnega dolomita zaključila s temnosivimi do črnimi sin-sedimentnimi brečami večjih debelin. Zaradi napredujoče sedimentacije klastičnih kamnin se je karbonatna platforma skrčila in delno okopnila. Sedimentacija pa se je nadaljevala v bazenskih predelih, kjer so nastala t.i. »znotrajplatformska« medplimska okolja z značilno favno megalodontidnih školjk in loferskim faciesom (McROBERTS

ET AL., 1997). Med retijem in spodnjim liasom so se ob začetku transgresije odložile klastične in karbonatno klastične kamnine mejnih plasti (muljevci, meljevci in lapor-nati apnenci) brez značilnih fosilov. Nad mejnimi plastmi je več horizontov z zaobljenimi klasti apnencev, ki vsebujejo zgornjetriasne foraminifere (McROBERTS ET AL., 1997). Te horizonte bi lahko primerjali s temnosivimi do črnimi dolomitnimi brečami obravnavanega ozemlja, ki vsebujejo klaste zrnatega in laminiranega zgornjetriasnega dolomita. V plitvem podplimskem okolju pa so nastali ooidni apnenci z amoniti, ki kažejo na hettangijsko starost.

Ker so bili vzorčevani predvsem poznodiagenetski dolomiti, obstaja verjetnost, da so primarni izotopski signal zabrisale poznodiagenetske spremembe. Dobljeni izotopski signal je tako lahko posledica izmenjave z izotopsko lažjo porno vodo pri poznodiagenetskih procesih. Poznodiagenetski dolomiti so glede na zgodnjediagenetske običajno obogateni z lahkima izotopoma ogljika in kisika, vendar pa imajo nekateri norijsko-retijski poznodiagenetski dolomiti podobno izotopsko sestavo kot zgodnjediagenetski, kar pomeni, da se temperatura in izotopska sestava raztopin, ki so povzročile poznodiagenetsko dolomitizacijo, nista bistveno razlikovali od morske vode, v kateri je nastal zgodnjediagenetski dolomit (OGORELEC ET AL., 1999). Ker je do poznodiagenetske dolomitizacije glavnega dolomita prišlo še v času norija in retija (OGORELEC & ROTHE, 1993) in se je poznodiagenetska dolomitizacija spodnjeliasnih dolomitov izvršila v spodnjem liasu, so imele porne raztopine, ki so časovno različni dolomitizaciji povzročile, verjetno različno izotopsko sestavo. Zato

je primerjava rezultatov izotopskih analiz poznodiagenetskih dolomitov zgornjetriasne in spodnjeliasne starosti smiselna. Da je prišlo do popolne dolomitizacije glavnega dolomita v času zgornjega triasa, dokazujejo tudi klasti zrnatih in laminiranih dolomitov v liasnih brečah.

SKLEPI

Na območju Krimskega hribovja so v času zgornjega triasa na Dinarski karbonatni platformi nastajali glavni dolomiti v loferskem razvoju z redkimi ohranjenimi fosilnimi ostanki. V nadplimskem okolju so nastale dolomitne breče, v medplimskem okolju zgodnjediagenetski stromatolitni dolomiti in v podplimskem okolju zrnati dolomiti, ki so nastali s poznodiagenetsko dolomitizacijo. V času spodnjega liasa pa so nastajale črne in svetlosive dolomitne breče ter sivi zrnati dolomiti brez vmesnih plasti laminiranih dolomitov.

Litološka in izotopska analiza zgornjetriasnih kamnin sta pokazali, da je v času zgornjega triasa prišlo do napredujoče regresije morja, ki je dosegla svoj višek konec zgornjega triasa. Z začetkom spodnjega liasa pa se je pričelo poglobljanje morja oziroma transgresija, na kar kaže tudi odsotnost stromatolitnih dolomitov med zrnatimi dolomiti.

Na podlagi litoloških značilnosti in rezultatov izotopskih analiz smo sklepali, da poteka meja T/J, na območju Krima, med črnimi dolomitnimi brečami (zgornjetri-

Za kvalitetnejšo interpretacijo rezultatov izotopske analize bi bilo potrebno analizirati večje število vzorcev, odvzetih v manjših medsebojnih intervalih in obravnavati večji profil.

asna starost) in svetlosivimi zrnatimi dolomiti (spodnjeliasna starost). Za natančnejšo in bolj zanesljivo določitev meje pa bi bile vsekakor potrebne podrobnejše in obširnejše izotopske analize s pogostejšim vzorčevanjem.

Na vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ in $\delta^{18}\text{O}$ v karbonatih vpliva izotopska sestava organske snovi v morju med sedimentacijo in kasnejše diagenetske spremembe (PEZDIČ, 1999). Diagenetske spremembe, ki lahko povzročijo vzporedne negativne anomalije $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$, vplivajo predvsem na vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{karbonatni}}$ (PALFY ET AL., 2001).

Pri poznodiagenetskih dolomitih, ki imajo podobno izotopsko sestavo kot zgodnjediagenetski, je bila izotopska sestava raztopin, ki so povzročile poznodiagenetsko dolomitizacijo, verjetno podobna izotopski sestavi morske vode. Poleg tega je do popolne dolomitizacije glavnega dolomita prišlo še v času norija in retija (OGORELEC & ROTHE, 1993; NOVAK, 2003), zato lahko s primerjavo izotopske sestave ogljika in kisika v poznodiagenetskih dolomitih zgornjetriasne in spodnjeliasne starosti dobimo zadovoljive rezultate, ki so uporabni pri določitvi meje T/J.

SUMMARY**Determination of T/J boundary by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ stable isotope analysis (Krim Mountain, Slovenia)**

One of the most extensive mass extinctions, which caused extinction of more than 50 % of marine genera (McROBERTS ET AL., 1997), took place at the end of Triassic period. There are different hypotheses explaining this extinction, but the most possible reason is a decrease in primary productivity and a reduction of marine habitats due to marine regression.

Dolomites from two locations on Krim Mountain area (Figure 1) were sampled to define Triassic-Jurassic boundary. Krim Mountain area belongs to northern part of External Dinarides. During Triassic and Jurassic period carbonates of External Dinarides were deposited on Dinaric Carbonate Platform. The transition from Triassic to Jurassic was characterized by continuous carbonate sedimentation. Dolomites that exhibit cyclic bedded, supra to subtidal "Lofer facies" (Main dolomite) were deposited during Upper Triassic. Characteristic of Upper Triassic beds is an alternation of grey to light grey coarse-grained dolomites with rare megalodontid bivalves, grey and dark grey stromatolitic dolomicrite, grey oncodolomicrosparite with *Sphaerocodium bornemanni* and dark grey to black dolomitic breccias (Figure 2). Beds of supratidal dolomitic breccias appear more and more frequently upwards in the upper part of Upper Triassic, which indicates gradual sea-level fall (McROBERTS ET AL., 1997; KRYSZYN ET AL., 2005). Alternation of grey to black dolomitic bre-

ccias that contain clasts of coarse-grained and laminated dolomites with grey to light grey coarse-grained dolomites without intermediate stromatolitic laminae, in the lower part of Lower Liassic beds, indicates sea-level rise. Coarse-grained dolomites and dolomitic breccias are overlain by light grey micritic limestones in the upper part of Lower Liassic beds.

16 samples of non-degraded dolomites from Žvencelj-Noví zavodi and Tresenk-Rupendol sections were analysed. Samples were powdered and homogenized and treated with phosphoric acid. Isotopic composition of obtained CO_2 was measured on Varian MAT 250 mass spectrometer. Data were normalized according to international standards. Oxygen and carbon isotope compositions are presented in Tables 1 and 2 and shown in Figure 3.

Stable isotope studies of Triassic-Jurassic boundary in the Northern Calcareous Alps, Austria (McROBERTS ET AL., 1997; KRYSZYN ET AL., 2005) and Csővár section, Hungary (PALFY ET AL., 2001), show negative $\delta^{13}\text{C}$ anomaly in boundary beds as a consequence of meteoric water influx and oxidation of organic matter during Upper Triassic marine regression (McROBERTS ET AL., 1997; PALFY ET AL., 2001).

$\delta^{13}\text{C}$ values in dolomites from sections Žvencelj-Noví zavodi and Tresenk-Rupendol range from +0,62 ‰ to +2,72 ‰ and $\delta^{18}\text{O}$ from -5,28 ‰ to +0,67 ‰. Positive excursion in $\delta^{13}\text{C}$ was recorded in Upper Triassic grey stromatolitic and light grey grainy dolomites. It is followed by pronounced negative $\delta^{13}\text{C}$ anomaly in black and dark grey dolomitic breccias, coinciding

with sea-level fall. Following positive $\delta^{13}\text{C}$ anomaly within light grey coarse-grained dolomites may reflect the beginning of the Lower Liassic sea-level rise. Based on lithologic features and results of oxygen and carbon isotope analyses, the Triassic-Jurassic boundary was more accurately defined between black dolomitic breccias and light grey coarse-grained dolomites (Figure 3). The $\delta^{18}\text{O}$ variability could reflect temperature changes and changes in isotopic composition of seawater or pore fluids during sea-level fluctuations.

Due to lack of fossil remains, the Triassic-Jurassic boundary was not paleontologically documented. Thus, our researches were based on old presumption that Triassic-Jurassic boundary lies within coarse-grained dolomite in which intermediate beds of laminated dolomites are no longer present (PLENIČAR, 1970; BUSER, 1986).

The analysed dolomites were mostly late diagenetic therefore the diagenetic alterations could have significant influence on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values. Late diagenetic dolomites are usually depleted in heavy carbon and oxygen isotopes compared to early diagenetic dolomites. However, some late diagenetic dolomites have isotopic com-

position similar to that of early diagenetic dolomites, which means that temperature and isotopic composition of pore fluids, that caused late diagenetic dolomitization were similar to those of sea-water, in which early diagenetic dolomites were deposited (OGORELEC ET AL., 1999).

Upper Triassic carbonates were completely dolomitized by the end of Triassic (OGORELEC & ROTHE, 1993), which is proved by Liassic breccias containing clasts of coarse-grained and laminated dolomites, and late diagenetic dolomitization of Lower Liassic carbonates occurred within Lower Liassic, it can be assumed that isotopic composition of pore fluids that caused dolomitization of Upper Triassic carbonates probably differs from isotopic composition of pore fluids that caused dolomitization of Lower Liassic carbonates. Thus, it can be concluded that results of isotopic analyses of late diagenetic dolomites can be used for determination of Triassic-Jurassic boundary.

For more precise determination of the Triassic-Jurassic boundary, more detailed isotopic and lithologic analyses with more frequent sampling should be carried out

Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo Institutu Jožef Stefan, predvsem dr. Sonji Lojen, za opravljene izotopske analize ter tehničnim sodelavcem Oddelka za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete za pomoč pri pripravi vzorcev.

VIRI

- BUSER, S. (1986): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač listov Tolmin in Videm*. Zvezni geološki zavod, Beograd, pp. 1-103.
- DOLENEC, T., BUSER, S., DOLENEC, M. (1998): The Permian-Triassic boundary in the Karavanke Mountains (Slovenia): Stable isotope variations in the boundary carbonate rocks of the Košutnik Creek and Brsnina section = Permian-Triassic boundary in the Karavanke Mountains: variability of isotope composition in carbonate rocks of the Košutnik Creek and Brsnina. *Geologija.*; Vol. 41, pp. 17-27.
- HALLAM, A. (1981): The end-Triassic bivalve extinction event. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.*; Vol. 35, pp. 1-44.
- HALLAM, A. (1997): Estimates of the amount and rate of sea-level change across the Rhaetian-Hettangian and Pliensbachian-Toarcian boundaries (latest Triassic to early Jurassic). *Journal of the Geological Society.*; Vol. 154, pp. 733-779.
- KRYSSTYN, L., BOHM, F., KURSCHNER, W., DELECAT, S. (2005): The Triassic-Jurassic boundary in the Northern Calcareous Alps. *Field guide.*; pp. 1-14.
- KUMP, L. R., ARTHUR, M. A. (1999): Interpreting carbon-isotope excursions: Carbonates and organic matter. *Chemical Geology.*; Vol. 161, pp. 181-198.
- MCRROBERTS, C. A., NEWTON, C. R. (1995): Selective extinction among end-Triassic European bivalves. *Geology.*; Vol. 23, pp. 102-104.
- MCRROBERTS, C. A., FURRER, H., JONES, D. S. (1997): Palaeoenvironmental interpretation of a Triassic-Jurassic boundary section from Western Austria based on palaeoecological and geochemical data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.*; Vol. 136, pp. 79-95.
- NOVAK, M. (2003): Zgornjetriasne in spodnjeturške plasti na območju Podutika pri Ljubljani = Upper Triassic and Lower Jurassic beds in the Podutik area near Ljubljana (Slovenia). *Geologija.*; Vol. 46/1, str. 65-74.
- OGORELEC, B., ROTHE, P. (1993): Mikrofazies, Diagenese und Geochemie des Dachsteinkalkes und Hauptdolomits in Süd- West- Slowenien. *Geologija.*; Vol. 35, pp. 81-181.
- OGORELEC, B., DOLENEC, T., PEZDIČ, J. (1999): Izotopska sestava O in C v mezozojskih karbonatnih kamninah Slovenije – vpliv faciesa in diageneze = Isotope composition of O and C in Mesozoic carbonate rocks of Slovenia – effect of facies and diagenesis. *Geologija.*; Vol. 42, pp. 171-205.
- PALFY, J., DEMENY, A., HAAS, J., HETENYI, M., ORCHARD, M. J., VETO, I. (2001): Carbon isotope anomaly and other geochemical changes at the Triassic-Jurassic boundary from a marine section in Hungary. *Geology.*; Vol. 29/11, pp. 1047-1050.
- PEZDIČ, J. (1999): *Izotopi in geokemijski procesi*. Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Ljubljana, 281 str.
- PLENIČAR, M. (1970): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač lista Postojna*. Zvezni geološki zavod, Beograd, str. 62.
- SCHRAG, D. P., DEPAOLO, D. J., RICHTER, F. M. (1995): Reconstructing past sea surface temperatures: Correcting for diagenesis of bulk marine carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*; Vol. 59, pp. 2265-2278.

