

UDK 550.4:551.761(497.12)=863

Uporaba izotopskih analiz v študiju paleobiologije karnijske školjčne favne na Lesnem brdu

Application of stable isotope analyses in paleobiological studies of Karnian bivalves from Lesno brdo

Tadej Dolenec

Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, VTOZD Montanistika,
Aškerčeva 20, 61000 Ljubljana

Bogomir Jelen

Geološki zavod Ljubljana, Parmova 37, 61000 Ljubljana

Kratka vsebina

Vzročnost med biološkimi in nebiološkimi dejavniki v ekosistemu je sodila med ključna vprašanja študija paleobiologije karnijske školjčne favne na Lesnem brdu. Indeksi favnistične analize so dali favnistične parametre značilne za združbe, ki jih ureja močan ekološki pritisk. Sinteza rezultatov primerjalne izotopske analize, favnistične analize in analize fizikalnega okolja kaže, da sta bila slanost in ionska sestava vodnega okolja glavna dejavnika v ekosistemu Lesnega brda, ki sta izvajala ekološki pritisk in določala zgradbo združbe.

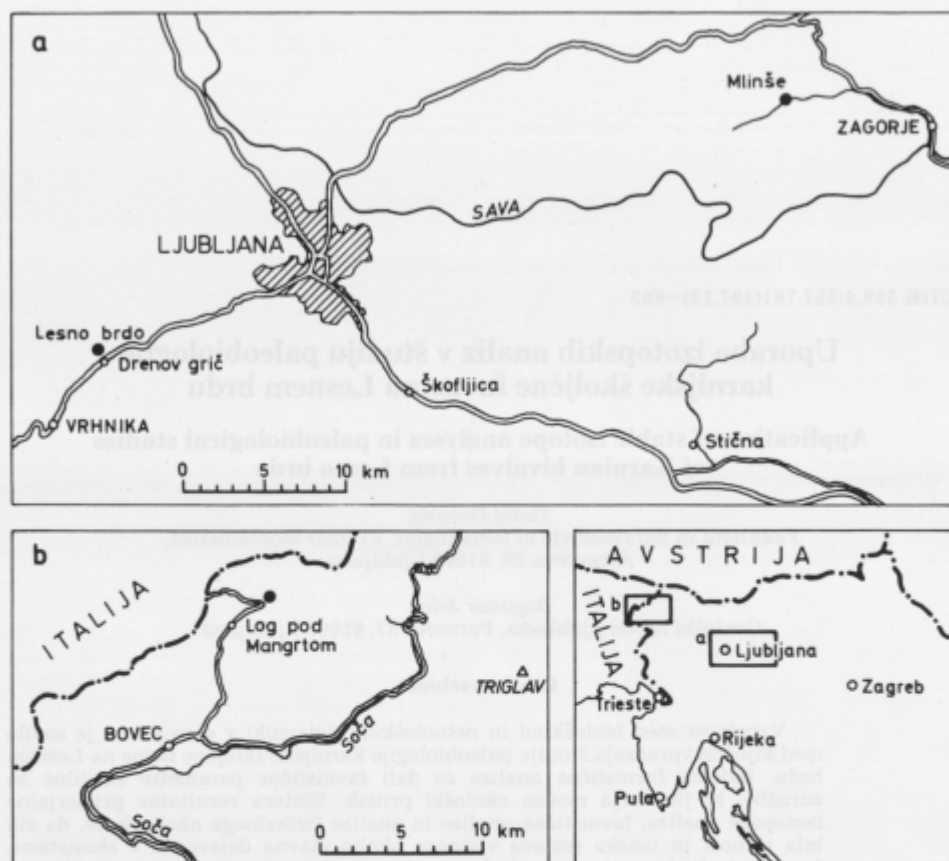
Abstract

One of the major question of the integrated study approach to the paleobiology of the Karnian bivalves from Lesno brdo was to what extent each of the abiotic and biotic factors controlled the community structure. Indices obtained from techniques of faunal analysis have demonstrated that a high stress environment must have controlled this highly structured community. A synthesis of the results of the comparative oxygen and carbon stable isotope analysis of bivalve shells and rock matrix, faunistic analysis and established physical parameters of the environment suggests mixohaline conditions as the main community structure controlling factor.

Uvod

Med ključna vprašanja študija paleobiologije karnijske školjčne favne na Lesnem brdu, je sodila vzročnost med biološkimi in nebiološkimi dejavniki v ekosistemu.

Raziskava nahajališča Lesno brdo je bila sistematsko zastavljena, da naj bi omogočila celovito strnjeno razumevanje paleobiologije školjčne favne nahajališča. Sinteza rezultatov tistih delov študije, ki so raziskovali biološke, fizikalne in kemične



Sl. 1. Položajni skici nahajališč Lesno brdo pri Drenovem griču in Mlinše pri Zagorju (a) ter Log pod Mangrtom (b) za primerjalno geokemično raziskavo

Fig. 1. Generalized map of the localities Lesno brdo near Drenov grič, Mlinše near Zagorje, and Log pod Mangrtom selected for the comparative MS analyses of oxygen and carbon

dejavnike v ekosistemu, je pokazala, kaj, kako in v kolikšni meri je urejalo ekosistem tega najdišča.

Uporabljene metode favnistične analize združbe so omogočile pogled v sestavo in delovanje združbe Lesnega brda. Biostratinomska raziskava nahajališča je namreč pokazala, da je najdišče mogoče obravnavati in raziskovati kot nahajališče fosilne biocenoze. Indeksi analize pa so dali favnistične parametre, značilne za združbe, ki jih ureja močan ekološki pritisk.

Iz zgradbe združbe nahajališča je bilo razvidno, da ekološki pritisk ni izvajal biološki, ampak kemični in/ali fizikalni dejavnik. Iz vzporedno potekajočih raziskav, med katerimi je bila opravljena tudi geokemična analiza nekdanjega biotopa, smo prišli do sklepa, da glavni ekološki pritisk lahko pripišemo brakičnosti.

V tem prispevku so objavljeni samo rezultati geokemične analize. Rezultati drugih delov študije so objavljeni v samostojnem članku.

Tabela 1. Bistveni favnistični značilnosti nahajališč za primerjalno masnospektrometrično analizo izotopske sestave kisika in ogljika

Table 1. Two substantial faunistic characteristics of the localities selected for the comparative MS analysis of oxygen and carbon

	NAHAJALIŠČE - LOCALITY		
	Log pod Mangrtom	Lesno brdo	Mlinše pri Zagorju
Biocenoza Biocenose	megalodontidne in druge školjke megalodontids and other bivalves	<i>Trigonodus</i> sp. div. <i>Myophoria kefersteini</i> <i>Pachycardia rugosa</i> ect.	<i>Myophoria kefersteini</i> <i>Lopha montiscaprilis</i>
Norma reakcije Norm of reaction	normalna slanost biotopa normal salinity biota	poikilohalini organizmi poikilohaline biota	poikilohalini organizmi poikilohaline biota
Geol. starost Age	tuval Tuvalian	jui Julian	jul Julian

V okviru možnosti izbora operativnih geokemičnih metod smo izbrali masnospektrometrično analizo izotopske sestave kisika in ogljika ter kvantitativno atomsko absorpcijsko spektrometrično analizo natrija in stroncija. Obe analizi sta bili načrtovani primerjalno med tremi najdišči z različnimi biofaciesi: Lesno brdo, Mlinše pri Zagorju in Log pod Mangrtom (sl. 1, tab. 1). V času raziskav smo odkrili napako v pripravi vzorcev za atomsko absorpcijsko spektrometrično analizo. Zato rezultatov te analize ne navajamo.

Odvzem, mineraloška priprava vzorcev in masnospektrometrično določevanje

Z namenom, da bi dobili čimboljšo predstavo o izotopski sestavi kisika in ogljika v školjčnih lupinah iz posameznih lokacij, smo kolikor mogoče masnospektrometrično analizirali izotopsko sestavo obeh prvin tako v zunanem kot v notranjem delu školjčnih lupin. Na ta način smo skušali tudi ugotoviti, ali se zunanji del lupin, ki bi bil zaradi vpliva meteorske vode lahko nekoliko spremenjen, po izotopski sestavi razlikuje od notranjega, bolj svežega dela lupin. Nadalje smo vzeli za masnospektrometrično analizo tudi prikamnino in vzorce školjčnih jeder. Čistost izbranih drobcov smo kontrolirali tudi pod binokularnim mikroskopom, pri čemer smo dvomljive vzorce zavrgli.

Drobce školjčnih lupin, prikamnine in jeder smo najprej zdrobili, nato pa raztopili v 100 % H_3PO_4 pri temperaturi $25 \pm 0,5^\circ C$, tako kot navaja Mc Crea (1950). Pri reakciji med karbonati in H_3PO_4 je nastal CO_2 , kateremu smo nato izmerili izotopsko sestavo kisika in ogljika z masnim spektrometrom VARIAN MAT 250. Izotopsko sestavo kisika in ogljika podajamo kot relativne vrednosti $\delta^{18}O$ in $\delta^{13}C$, izražene

v promilih, glede na standard SMOW (Craig, 1961) in standard PDB (Urey et al., 1951).

Masnospektrometrične analize so bile napravljene na Institutu Jožef Stefan v Ljubljani. Natančnost meritev tako za $\delta^{18}\text{O}$ kot za $\delta^{13}\text{C}$ je $\pm 0,05\text{‰}$.

Značilnosti izotopske sestave kisika in ogljika nahajališč

Nahajališče Log pod Mangrtom

Izotopska sestava kisika in ogljika v analiziranih vzorcih iz Loga pod Mangrtom je zelo homogena. Masnospektrometrična analiza je namreč pokazala, da se giblje $\delta^{18}\text{O}$ od $+29,03\text{‰}$ do $+30,09\text{‰}$, to je v zelo ozkem razponu, ki doseže le $1,06\text{‰}$ (tab. 2; sl. 2). Prav tako majhna je variabilnost $\delta^{13}\text{C}$. Ta parameter se namreč spreminja, če izvzamemo vzorca školjčnih jeder (K3Ac in Jc), obogatenih z lahkim ogljikom, od $+3,49\text{‰}$ do $+4,72\text{‰}$, medtem ko ima $\delta^{13}\text{C}$ omenjenih školjčnih jeder vrednost $+0,15\text{‰}$ in $-3,04\text{‰}$.

Z masno spektrometrično analizo smo ugotovili, da imajo lupine školjke *Schafhaeutlia astartiformis* $\delta^{18}\text{O}$ v območju od $+29,04\text{‰}$ do $+29,53\text{‰}$, medtem ko niha njihov $\delta^{13}\text{C}$ od $+3,56\text{‰}$ do $+4,13\text{‰}$. Podobna izotopska sestava obeh prvin je značilna tudi za lupine školjk *Myophoriopsis richthofeni* in *Myophoriopsis rosthorni* (tab. 2, sl. 3).

Tudi izotopska sestava kisika in ogljika v prikamnini, pa najsibo to apnenec ali lapor, je zelo homogena in se bistveno ne razlikuje od izotopske sestave omenjenih prvin v školjčnih lupinah (tab. 2).

V primerjavi s prikamnino in z lupinami so školjčna jedra nekoliko obogateni s težkim kisikovim in lahkim ogljikovim izotopom. Kljub temu, da so razlike minimalne, izjemo predstavljata le jedri K3Ac in Jc, kažejo, da so se mikrookolja pod školjčnimi lupinami, kjer so nastajala jedra, nekoliko razlikovala od okolja v sedimentu. Tu se je pri razkrajanju organskih delov školjk najverjetneje tvoril CO_2 , obogaten z lahkim izotopom, ki je vplival na izotopsko sestavo ogljika v karbonatih iz posameznih jeder. Na ta način si namreč lahko razložimo obogatitev prej omenjenih jeder z lahkim ogljikovim izotopom. Na podoben način razlagata tudi Sass in Kolodny (1972) izotopsko sestavo morskih karbonatnih konkrecij, ki vsebujejo vključke ribjih ostankov in so obogatene z lahkim ogljikovim izotopom glede na karbonatno prikamnino.

Izotopska sestava kisika in ogljika v vzorcih iz Loga pod Mangrtom se bistveno ne razlikuje od izotopske sestave omenjenih prvin v recentnih morskih karbonatih. V recentnih apnencih se namreč $\delta^{18}\text{O}$ spreminja od $+28\text{‰}$ do $+30\text{‰}$ (Faure, 1977), medtem ko ima kalcit iz recentnih školjčnih lupin $\delta^{18}\text{O}$ v območju od $+30\text{‰}$ do $+32\text{‰}$ (Epstein et al., 1950). Podobne vrednosti so značilne tudi za hišice foraminifer in nekaterih mehkužcev iz Jadranskega morja.

Izotopska sestava ogljika v morskih karbonatih je od kambrija naprej zelo konstantna in se na PDB skali giblje okrog vrednosti nič. V povprečju niha, kot navajata Keith in Weber (1964) $\delta^{13}\text{C}$ od $-0,99\text{‰}$ do $+2,11\text{‰}$, pri čemer se v plitvomorskih apnencih spreminja $\delta^{13}\text{C}$ približno od $+2,0\text{‰}$ do $+4,3\text{‰}$ (Milliman, 1974).

Na podlagi dobljenih rezultatov sklepamo, da se v geološki zgodovini izotopska sestava kisika in ogljika v raziskanih vzorcih ni bistveno spremenila. To pomeni, da vzorci niso pretrpeli večjih sprememb izotopske sestave omenjenih prvin, ki bi jih lahko povzročili kasnejši postsedimentacijski procesi, pri katerih imajo glavno vlogo

raztopine z dominantno količino meteorske vode. Zato so ti vzorci uporabni za paleotemperaturno analizo in za ugotavljanje značilnosti sedimentacijskega okolja.

Izotopska sestava kisika in ogljika ter sorazmerno majhna variabilnost $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ v raziskanih vzorcih iz Loga pod Mangrtom, kažeta, po našem mnenju, na odprto plitvo morsko okolje, kjer so obstajali pretežno oksidacijski pogoji in so se karbonati zvečine izločali v izotopskem in kemičnem ravnotežju z atmosferskim CO_2 . Lokalno je pri anaerobnem razkrajanju mehkih delov školjk nastajal tudi CO_2 , v primerjavi z atmosferskim CO_2 , obogaten z lahkim ogljikovim izotopom. Ta je vplival na izotopsko sestavo ogljika v karbonatu iz nekaterih školjčnih jeder.

Nahajališče Lesno brdo

Povsem drugačna izotopska sestava kisika in ogljika je značilna za vzorce z Lesnega brda. Z masnospektrometrično analizo smo ugotovili, da se giblje njihov $\delta^{18}\text{O}$ od +23,42 ‰ do +28,93 ‰, medtem ko niha $\delta^{13}\text{C}$ od -1,93 ‰ do +1,78 ‰ (tab. 2, sl. 2). Dobljeni podatki povedo, da so vzorci z Lesnega brda obogateni tako z lahkim kisikovim kot ogljikovim izotopom ter imajo tudi precej variabilnejšo izotopsko sestavo kisika in ogljika kot vzorci iz Loga pod Mangrtom.

Školjčne lupine imajo $\delta^{18}\text{O}$ v območju od +23,42 ‰ do +26,65 ‰, medtem ko se spreminja njihov $\delta^{13}\text{C}$ od +0,72 ‰ do +1,63 ‰. Najmanj težkega kisikovega izotopa vsebuje lupina školjke *Pachycardia rugosa*. Nekoliko več težkega kisika ima lupina školjke *Myophoria kefersteini*. Največja obogatitev s težkim kisikovim izotopom pa je značilna za lupine školjke *Trigonodus problematicus* (sl. 3).

Prikamnini črni bituminozni apnenec in črni bituminozni lapor, se po izotopski sestavi tudi na Lesnem brdu bistveno ne razlikuje od školjčnih lupin. Črni bituminozni apnenec ima $\delta^{18}\text{O}$ v območju od +24,60 ‰ do +26,04 ‰, pri čemer niha njegov $\delta^{13}\text{C}$ od -1,93 ‰ do +0,91 ‰. V črnem bituminoznem laporju, podatke imamo le za dva vzorca, je $\delta^{18}\text{O}$ +24,07 ‰ in +28,93 ‰, medtem ko ima $\delta^{13}\text{C}$ vrednost +1,03 ‰ in 1,78 ‰.

Izotopska sestava kisika v raziskanih vzorcih z Lesnega brda ni značilna za prave morske karbonate. Ti imajo namreč za nekaj ‰ večji $\delta^{18}\text{O}$, kot smo ga izmerili v vzorcih z Lesnega brda. To lahko pomeni, da je v geološki zgodovini prišlo do izotopske izmenjave med kisikom iz školjčnih lupin in kisikom iz prikamnine ter med kisikom iz raztopin z drugačno izotopsko sestavo kisika, kot jo ima morska voda. To bi lahko povzročilo osiromašenje omenjenih vzorcev s težkim kisikovim izotopom. Druga možnost, s katero si lahko razložimo dobljene vrednosti, pa predstavlja hipoteza, da okolje, v katerem so živeli omenjeni organizmi in v katerem sta se odlagala črni bituminozni apnenec in lapor, ni bilo tipično morsko.

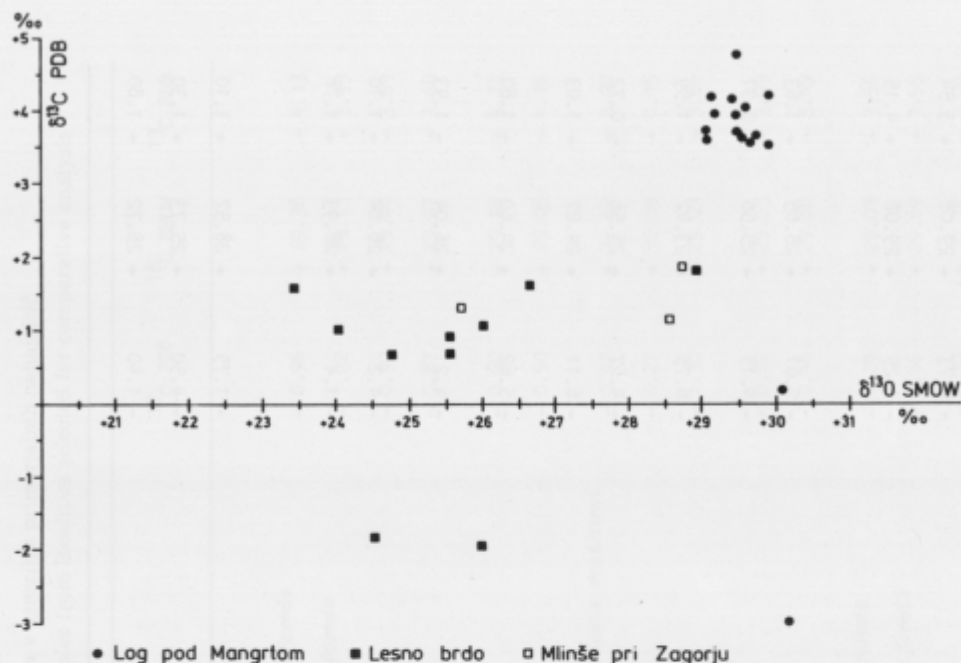
Izotopska sestava kisika in ogljika v vzorcih z Lesnega brda kaže, po našem mnenju, na sedimentacijsko okolje, v katerem je voda nasploh vsebovala več lahkega kisikovega in ogljikovega izotopa v primerjavi z vodo iz sedimentacijskega okolja Log pod Mangrtom, ki je bilo izrazito morsko.

Verjetno je bilo na Lesnem brdu razvito brakično sedimentacijsko okolje. Karbonatni skeleti različnih organizmov in karbonatne kamnine, nastale v brakičnem okolju, vsebujejo nasploh več lahkega kisikovega in ogljikovega izotopa in imajo tudi večjo variabilnost $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$. Izotopske raziskave recentnega sedimenta iz Piranskega zaliva in koprške luke, ki je nastajal tako v sladkovodnem kot v brakičnem in v morskem sedimentacijskem okolju, so pokazale, da ima njegov $\delta^{18}\text{O}$ razpon od +20,42 ‰ do +30,34 ‰, medtem ko se giblje $\delta^{13}\text{C}$ od -5,19 ‰ do +1,43 ‰ (Dolenec

Tabela 2. Izotopska sestava kisika in ogljika v vzorcih s primerjalnih nahajališč
 Table 2. Isotopic composition of oxygen and carbon in samples from localities selected for comparative analysis

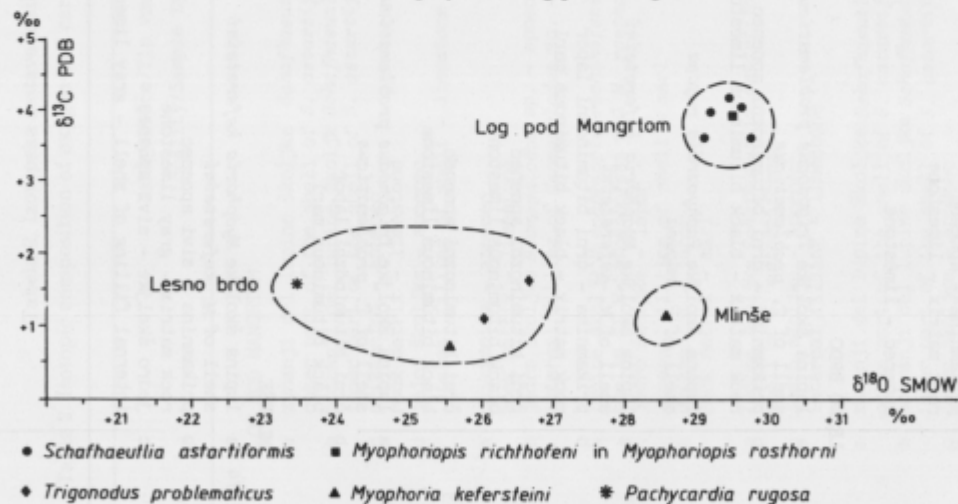
Vzorec Sample	Nahajališče/Tip vzorca Locality/Sample type	^{18}O PDB	^{18}O SMOW	^{13}C PDB
LOG POD MANGRTOM				
E	a zunanji del lupine školjke <i>Schafhaeutlia astartiformis</i> outer part of the shell of <i>S. astartiformis</i>	- 0.96	+ 29.38	+ 4.13
	b notranji del lupine školjke <i>Schafhaeutlia astartiformis</i> inner part of the shell of <i>S. astartiformis</i>	- 1.22	+ 29.11	+ 3.93
	c prikammina - apnenec rock matrix - limestone	- 0.90	+ 29.44	+ 3.69
	d jedro školjke - apnenec internal filling of shell - limestone	- 0.87	+ 29.47	+ 3.60
K2	a prikammina - apnenec rock matrix - limestone	- 0.90	+ 29.44	+ 4.72
	b jedro školjke <i>Neomagalodus</i> sp. - apnenec internal filling of <i>Neomagalodus</i> sp. - limestone	- 0.50	+ 29.85	+ 4.15
K3A	a lupine školjke <i>Myophoriopsis richthofeni</i> in <i>Myophoriopsis rosthorni</i> shells of <i>M. richthofeni</i> and <i>M. rosthorni</i>	- 0.92	+ 29.42	+ 3.90
	c jedro školjke - lapor internal filling of shell - marl	- 0.27	+ 30.09	+ 0.15
	d prikammina - lapor rock matrix - marl	- 1.30	+ 29.03	+ 3.66
I3	a lupina školjke <i>Schafhaeutlia astartiformis</i> shell of <i>S. astartiformis</i>	- 0.82	+ 29.53	+ 3.99
	b jedro školjke - apnenec internal filling - limestone	- 0.48	+ 29.86	+ 3.49
J	a zunanji del lupine školjke <i>Schafhaeutlia astartiformis</i> outer part of the shell of <i>S. astartiformis</i>	- 1.29	+ 29.04	+ 3.56
	b notranji del lupine školjke <i>Schafhaeutlia astartiformis</i> inner part of the shell of <i>S. astartiformis</i>	- 0.66	+ 29.69	+ 3.59
	c jedro školjke - apnenec internal filling of shell - limestone	- 0.18	+ 30.18	- 3.04

d	prikamnina - apnenec rock matrix - limestone	- 0.73	+ 29.08	+ 3.54
I 1/2	apnenec - limestone	- 1.25	+ 29.08	+ 4.15
LESNO BRDO				
GR 3	a lupina školjke <i>Trigonodus problematicus</i> shell of <i>T. problematicus</i>	- 3.61	+ 26.65	+ 1.63
	b prikamnina - črni bituminozni apnenec rock matrix - black bituminous limestone	- 4.15	+ 25.56	+ 0.91
GR 7	lupina školjke <i>Pachyocardia rugosa</i> shell of <i>P. rugosa</i>	- 6.75	+ 23.42	+ 1.59
VČX 44	a lupina školjke <i>Myophoria kefersteini</i> shell of <i>M. kefersteini</i>	- 4.67	+ 25.56	+ 0.72
	b prikamnina - črni bituminozni lapor rock matrix - black bituminous marl	- 6.11	+ 24.07	+ 1.03
VČX 43	črni bituminozni apnenec black bituminous limestone	- 5.62	+ 24.60	- 1.80
ZČX 13	črni bituminozni apnenec black bituminous limestone	- 4.2	+ 26.04	- 1.93
PU 10	a lupina školjke <i>Trigonodus problematicus</i> shell of <i>T. problematicus</i>	- 4.2	+ 26.04	+ 1.10
	b črni bituminozni lapor black bituminous marl	- 1.4	+ 28.93	+ 1.78
MLINŠE				
Z VIII/4	a lupina školjke <i>Myophoria kefersteini</i> shell of <i>M. kefersteini</i>	- 1.75	+ 28.57	+ 1.10
	b prikamnina - sivi apnenec rock matrix - gray limestone	- 4.50	+ 25.73	+ 1.30
	c jedro školjke - sivi apnenec interval filling of shell - gray limestone	- 1.40	+ 28.72	+ 1.80



Sl. 2. Diagram izotopske sestave kisika in ogljika v vzorcih z nahajališč Lesno brdo, Mlinše pri Zagorju in Log pod Mangrtom

Fig. 2. Diagram of isotopic composition of oxygen and carbon in the samples from Lesno brdo, Mlinše near Zagorje and Log pod Mangrtom



Sl. 3. Diagram izotopske sestave kisika in ogljika v školjčnih lupinah z nahajališč Lesno brdo, Mlinše pri Zagorju in Log pod Mangrtom

Fig. 3. Diagram of isotopic composition of oxygen and carbon in bivalve shells from Lesno brdo, Mlinše near Zagorje, and Log pod Mangrtom

et al., 1987; Ogorelec et al., 1984). Najmanjši $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ je značilen za sediment, ki je nastajal v sladkovodnem sedimentacijskem okolju, največje vrednosti obeh parametrov pa so značilne za sediment iz morskega sedimentacijskega okolja. Sediment, ki je nastajal pri brakičnih pogojih, ima $\delta^{18}\text{O}$ približno v območju od +24 ‰ do +27 ‰. Podobno kot sediment so tudi skeleti različnih mehkužcev iz brakičnega okolja Piranskega zaliva obogateni z lahkim kisikovim izotopom – v primerjavi s skeleti mehkužcev z morskega okolja v Piranskem zalivu.

Mlinše pri Zagorju

Prvi podatki o izotopski sestavi kisika in ogljika v analiziranih vzorcih z nahajališča Mlinše pri Zagorju povedo, da imajo ti vzorci parametra $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ približno v območju med vrednostmi $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ vzorcev iz Loga pod Mangrtom in z Lesnega brda (sl. 2).

Lupina školjke *Myophoria kefersteini* iz Mlinš vsebuje nekoliko več težkega kisikovega izotopa v primerjavi z lupino istovrstne školjke z Lesnega brda, medtem ko imata obe približno enako izotopsko sestavo ogljika. Njen $\delta^{18}\text{O}$ je +28,57 ‰, $\delta^{13}\text{C}$ pa ima vrednost +1,10 ‰. Podobno izotopsko sestavo kisika in ogljika ima tudi sivo apnenčevo jedro, medtem ko je apnenec, ki tvori prikamnino, obogaten z lahkim kisikovim izotopom. Njegov $\delta^{18}\text{O}$ je namreč v istem območju, v katerem se spreminja $\delta^{18}\text{O}$ vzorcev z Lesnega brda.

Za kakršnokoli naddrobno interpretacijo značilnosti sedimentacijskega okolja na tej lokaciji imamo zazdaj še premalo podatkov. Na podlagi prvih podatkov sklepamo, da je bilo sedimentacijsko okolje najverjetneje morsko, toda nekoliko drugačno kot na območju Loga pod Mangrtom. Najverjetneje je šlo za bolj ali manj geomorfološko zaprt biotop, v katerem je bil prisoten tudi ogljik organskega nastanka, ki je izviral iz razpadajočih organskih komponent. Zato imajo ti vzorci približno za 2 ‰ do 3 ‰ manjši $\delta^{13}\text{C}$ kot vzorci iz Loga pod Mangrtom.

Paleotemperaturna analiza

Temperaturno odvisnost izotopske sestave kisika v kalcitu, ki se izloča v izotopskem ravnovesju iz vodnih raztopin, so eksperimentalno določili Epstein in sodelavci (1953). Izrazili so jo z enačbo, ki jo je kasneje dopolnil Craig (1965) in ji dal naslednjo obliko:

$$T^{\circ}\text{C} = 16,9 - 4,2 (\delta k - \delta v) + 0,13 (\delta k - \delta v)^2 \quad (1)$$

To je modificirana Craigova enačba, ki podaja odvisnost izotopske sestave kisika v kalcitu od izotopske sestave te vrvine v vodi in od temperature. V enačbi predstavlja k izotopsko sestavo kisika v CO_2 , ki smo ga dobili pri reakciji med 100 ‰ H_3PO_4 in posameznimi vzorci, v pa je izotopska sestava kisika v vodi, iz katere se je izločal karbonat. Oba parametra morata biti merjena nasproti istega standarda (običajno PDB). Če torej poznamo δk in δv , lahko s pomočjo omenjene enačbe izračunamo temperaturo nastanka kalcita v kateremkoli sistemu kalcit-vodna raztopina.

Ker relativno dobro poznamo izotopsko sestavo kisika v morski vodi, po podatkih Hoefsa (1973) ima le-ta od paleozoika naprej približno konstantno izotopsko

sestavo $\delta^{18}\text{O} \sim 0,0 \pm 1 \text{ ‰}$, lahko s pomočjo enačbe (1) izračunamo temperaturo nastanka kalcita, ki tvori školjčne lupine.

Če domnevamo, da je imela morska voda v sedimentacijskem okolju Loga pod Mangrtom $\delta^{18}\text{O}$ okrog $0,0 \text{ ‰}$, dobimo za povprečno temperaturo nastanka kalcitnih lupin školjke *Schafhaeutlia astartiformis* vrednost $21,2^\circ\text{C}$. Podobno temperaturo $20,9^\circ\text{C}$ dajo tudi lupine školjk *Myophoriopsis richthofeni* in *Myophoriopsis rosthorni*, medtem ko znaša temperatura nastanka apnenca, ki tvori prikamnino, izračunano po enačbi (1), približno 21°C . Dobljene vrednosti so dokaj realne in potrjujejo domnevo, da se izotopska sestava kisika v raziskanih vzorcih iz nahajališča Log pod Mangrtom ni bistveno spremenila in da so organizmi živeli v značilnem morskem okolju.

Za nahajališče Lesno Brdo so na podoben način izračunane temperature nastanka kalcita previsoke. Ob domnevi, da je tudi tu imela morska voda $\delta^{18}\text{O}$ okrog 0 ‰ , dobimo namreč za temperaturo vrednosti med $35,3^\circ\text{C}$ in $51,2^\circ\text{C}$. Kot smo že omenili, je na območju nahajališča Lesno brdo najverjetneje obstajalo brakično sedimentacijsko okolje, v katerem je bila morska voda obogatena z lahkim kisikovim izotopom in je imela $\delta^{18}\text{O}$ manjši od 0 ‰ , najverjetneje med približno -4 ‰ in -3 ‰ . Podobno izotopsko sestavo kisika ima tudi voda v brakičnem sedimentacijskem okolju Piranskega zaliva. Njen $\delta^{18}\text{O}$ se namreč giblje od $-4,80 \text{ ‰}$ in $+0,21 \text{ ‰}$, medtem ko niha v morskem sedimentacijskem okolju Piranskega zaliva od $+0,69 \text{ ‰}$ do $+1,10 \text{ ‰}$ (Dolenec et al., 1987).

Jadransko morje je zaradi efekta evaporacije nekoliko obogateno s težkim kisikovim izotopom in ima $\delta^{18}\text{O}$ približno v območju od $+0,08 \text{ ‰}$ (Makarska) do $+1,74 \text{ ‰}$ (Piranski rt). Če torej domnevamo, da je bil $\delta^{18}\text{O}$ vode iz sedimentacijskega okolja Lesnega brda med -4 ‰ in -3 ‰ , se je izločal kalcit, ki gradi raziskane školjčne lupine približno v temperaturnem razponu od 21 do 34°C . Končno si še pogledjmo, pri kakšni temperaturi se je izločal kalcit, ki tvori školjčne lupine v nahajališču Mlinše pri Zagorju. Ob domnevi, da je morska voda v sedimentacijskem okolju $\delta^{18}\text{O} \sim 0,0 \text{ ‰}$, je nastal omenjeni kalcit pri temperaturi $24,7^\circ\text{C}$.

Dobljene vrednosti za temperaturo nastanka kalcita školjčnih lupin, ki v bistvu predstavljajo temperaturo morske vode, so dokaj realne in se večinoma gibljejo v temperaturnem območju, ki ga za norij navajajo Fabricius in sodelavci (1970).

Sklep

Primerjalna masnospektrometrična analiza izotopske sestave kisika in ogljika v školjčnih lupinah in prikamnini med nahajališči z različnimi biocenozami in različnimi normami reakcije zastopanih školjčnih rodov je pojasnila vzročnosti med biološkimi in nebiološkimi dejavniki v ekosistemu nahajališča Lesno brdo.

Ekstremna organiziranost združbe, visoka dominantnost in prevladujoča prisotnost ene ekološke enote, majhna gostota ter raznolikost so jasno kazali na prilagojenost biocenoze nahajališča Lesno brdo na zelo močan ekološki pritisk. Danes so tako močno kontrolirane biocenoze medplimskega pasu, estuarjev in obalnih lagun. Pokazalo se je, da se izotopska sestava kisika in ogljika na nahajališču Log pod Mangrtom, ki ima školjčno populacijo nedvomno morskega biotopa, zbira pri vrednostih, značilnih za morsko okolje. Izotopska sestava na nahajališču Lesno brdo z domnevano poikilohalino školjčno favno pa je razmeščena v intervalu variabilnosti brakičnega okolja. Na osnovi strnjenega razumevanja delovanja bioloških, fizikalnih in kemič-

nih dejavnikov v ekosistemu Lesnega brda in primerjava dobljenih podatkov s podatki za recentne mehkužce in sedimente morskega, brakičnega in sladkovodnega okolja v Piranskem zalivu ter iz literature domnevamo, da se izotopska sestava v postsedimentacijskem času ni bistveno spremenila. Razlike v izotopski sestavi med raziskovalnimi nahajališči moremo obravnavati kot razlike med nekdanjimi biotopi.

Tisti del študije, v katerem smo raziskovali delovanje fizikalnih dejavnikov v ekosistemu, je pokazal vzročnost med že določeno strukturo združbe in dinamiko vodnega okolja ter globino vode. Sklepava torej, da sta bila slanost in ionska sestava vodnega okolja glavna dejavnika v ekosistemu Lesnega brda, ki sta izvajala ekološki pritisk in določala zgradbo združbe.

Application of stable isotope analyses in paleobiological studies of Karnian bivalves from Lesno brdo

Summary

Paleobiological studies of the locality Lesno brdo were made by integrated approach.

Biostratinomical observations provide evidence that the death assemblage at Lesno brdo could be considered a paleobiocoenosis.

Interaction that once existed among biotic and abiotic factors of the paleoecosystem at Lesno brdo was one of the major questions to be answered. Indices obtained from techniques of faunal analysis have demonstrated that high stress environment must have controlled this highly structured community. We speculatively foresaw chemical and/or physical factors in the environment as the possible main community structure controlling factors. Distinctive differences in biofacieses among the Karnian localities in Slovenia caused by highly differentiated biotopes and the application of the mass spectrometry of oxygen and carbon have facilitated the answer to the raised question.

The study offers indications of differences in isotopic composition of oxygen and carbon between samples of bivalve shells, as well as between rocks from individual localities. They are, according to our opinion, a result of differing ecological conditions in individual areas. It should be emphasized that during the geological history the isotopic composition of oxygen and carbon in the investigated samples most probably did not change appreciably.

The isotopic composition of oxygen and carbon, and the extraordinarily small variability of δO^{18} and δC^{13} in samples from Log pod Mangrtom suggest, to our opinion, an open shallow marine depositional environment in which prevailed oxidation conditions and the sea water having a relatively constant isotopic composition of oxygen and carbon.

The samples from Drenov grič are enriched with respect to samples from Log pod Mangrtom with the light oxygen and carbon isotopes, and are, in addition, characterized also by a higher variability of δO^{18} and δC^{13} than the aforementioned samples. It is supposed, on the ground of the isotopic composition of oxygen and carbon, that in the area of Drenov grič most probably a brackish depositional environment existed in which the sea water was enriched with the light oxygen and carbon isotopes. Relatively low values of δC^{13} of the samples from that locality may be in part also a consequence of the influence of carbon of organic origin which probably did form

by decay of various organic components. They might have come into the sedimentation environment in part also from the land.

The first data on the isotopic composition of oxygen and carbon in samples from Mlinše near Zagorje bear evidence in favor of marine depositional environment where the conditions differed to a certain degree from those in the area of Log pod Mangrtom. Probably here existed a relatively restricted marine depositional environment.

The paleotemperatures calculated on the ground of the results of isotopic analyses of bivalve shells and of the assumed value of δO^{18} for sea water fall into the temperature domain referred to for Norian, with the exception of a single one.

The synthetic understanding of the function of the biological, chemical and physical factors in the paleoecosystem at Lesno brdo, comparative study of the isotopic composition of the recent mollusc shells from the normal saline mixohaline and fresh water environments of the Piran and Koper bays, and data from literature led us to the assumption that the total salt content of sea water and its ionic composition (i. e. mixohaline conditions) could be reasonably considered as the main community structure controlling factors.

Literatura

Craig, H. 1961, Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen -18 in natural waters. *Science* 133, 1833-1934.

Craig, H. 1965, The measurement of oxygen isotope paleotemperatures. In: *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*. Spoleto, July 26-27, 1965, 1-24. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare, Pisa.

Dolenec, T., Pezdrič, J., Herlec, U., Faganeli, J., Ogorelec, B. & Mišič, M. 1987, Isotopic investigation of recent depositional environment in the Northern and Central part of Adriatic Sea. IAS 8th Regional meeting of sedimentology, 558 c-558 d, Tunis.

Epstein, S., Buchbaum, R., Lowenstam, H. & Urey, H. C. 1950, Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 64, 1315-1326, Boulder.

Epstein, S., Buchbaum, R., Lowenstam, H. & Urey, H. C. 1951, Carbonate-water isotopic temperature scale. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 62, 417-426, Boulder.

Fabricius, F., Friedrichsen, H. & Jakobshagen, V. 1970, Paläotemperaturen und Paläoklima in Obertrias und Lias der Alpen. *Geol. Rundschau* 59, 2, 805-826, Stuttgart.

Faure, E. 1977, *Principles of Isotope geology*. John Wiley, 464 pp., London.

Hoefs, J. 1973, *Stable Isotope Geochemistry*. Springer-Verlag, 140 pp., Berlin.

Keith, M. L. & Weber, J. W. 1964, Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils. *Geochim. Cosmochim. Acta* 28, 1787-1816, Oxford.

Mc Crea, J. M. 1950, On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *Jour. Chem. Phys.* 18, 549-857.

Milliman, J. D. 1974, *Marine Carbonates. Recent Sedimentary Carbonates, Part 1*. - Springer-Verlag, 375 pp., Berlin.

Ogorelec, B., Mišič, M., Faganeli, J., Šercelj, A., Cimerman, F., Dolenec, T. & Pezdrič, J. 1984, Kvarterni sediment vrtine V-3 v Koprskem zalivu. *Slovensko morje in zaledje* VII, 6-7, 165-186, Koper.

Sass, E. & Kolodny, Y. 1972, Stable isotopes, chemistry and petrology of carbonate concretions - Mishas formation. *Israel Chem. Geol.* 10, 261-286.

Urey, H. C., Lowenstam, H. D., Epstein, S. & Kinney, C. R. 1951, Measurement of paleotemperatures and temperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark, and Southern United States. *Geol. Soc., Am. Bull.* 62, 399-416, Boulder.