

Geol. vjesnik	30/1	167—187	1 tabela, 5 sl. u tekstu, 1 tabla	Zagreb, 1978
---------------	------	---------	--------------------------------------	--------------

551.583:551.735/6(497.1)

Paleotemperaturni odnosi u karbonu i permu Dinarida i Alpa na temelju kisikove izotopne metode i njihova uloga u paleogeografiji

Ante POLSAK¹ i Jože PEZDIČ²

¹ *Geološko-paleontološki zavod Prir.-mat. fakulteta,
Soc. revolucije 8, YU—41000 Zagreb*

² *Inštitut »Jožef Stefan«, Univerza v Ljubljani,
Jamova 39, YU—61000 Ljubljana*

Analiziran je odnos $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$ iz 58 uzoraka vapnenaca i fosila. U srednjem karbonu temperatura mora bila je $28,5^{\circ}\text{C}$, a u gornjem 23°C . U donjem permu temperatura je iznosila $23,6^{\circ}\text{C}$, u srednjem $21,3^{\circ}\text{C}$, a u gornjem permu $25,7^{\circ}\text{C}$. U karbonu klima je bila vlažna, a u permu aridna i pogodna za sedimentaciju evaporita. Visoke temperature pokazuju da se područje Dinarida i Alpa u gornjem paleozoiku nalazilo u ekvatorijalnoj zoni. Ovi rezultati su u suglasnosti s položajem paleomagnetskih polova i paleogeografskim odnosima u karbonu i permu. Oni potvrđuju veliki značaj plutanja kontinenata u evoluciji Zemlje.

UVOD

Analizirano je 58 uzoraka vapnenca i fosila iz karbona i perma Dinarida i Slovenskih Alpa.

Jedan dio analiziranih uzoraka dali su nam za istraživanja prof. dr Vanda Kochansky-Devidé, dr Valerija Kostić-Podgorska, prof. Donata Nedela-Devidé i prof. dr Anton Ramovš. Svima njima najtoplije zahvaljujemo.

Dio analiza korištenih u ovom elaboratu financiran je sredstvima poduzeća INA-Naftaplin i Savjeta za naučni rad SRH. Autori na ovoj pomoći srdačno zahvaljuju.

Paleotemperaturni odnosi u karbonu i permu na temelju kisikove izotopne metode vrlo su malo istraživani. Malobrojni podaci o paleotemperaturama perma postoje za područje Australije (Comston 1960, Lowenstam 1964, Dorman 1968) i Tasmanije (Dorman & Gill 1959). Za karbon postoje samo tri mjerenja na brahiopodima donjeg karbona (Lowenstam 1961).

Podaci prikazani u ovom radu predstavljaju rezultate prvih detaljnijih istraživanja paleotemperaturnih odnosa u gornjem paleozoiku na temelju kisikove izotopne metode.

SAKUPLJANJE I PRIPREMA UZORAKA

Za analiziranje su birani samo uzorci koji imaju određen siguran stratigrafski položaj, jer je to osnovni preduvjet za točne paleoklimatološke korelacije. Osim toga, birani su samo kompaktni dijelovi fosila bez tragova sekundarnog kalcita. Primjerci su nađeni na primarnom mjestu, često na staništu, i ne pokazuju tragove pretaloživanja. Kod uzoraka vapnenca pazilo se da ne sadrže žilice sekundarnog kalcita, da ne budu prekrizalizirani, te da predstavljaju što tipičniji primjerak iz dotičnih naslaga. Često je uzorak vapnenca uzet neposredno uz fosil, koji je također spektrometrijski analiziran, radi međusobne korelacije dobivenih temperatura.

Većina uzoraka vapnenca je sedimentološki detaljno istražena radi zaključivanja o ambijentu sedimentacije. Ovi sedimenti determinirani su pretežno po klasifikaciji Folk a (1959, 1962). Jedan dio uzoraka stijena i fosila bio je manje ili više bituminozan. S obzirom da organska tvar može poremetiti realnost mjerenja kisikovom izotopnom metodom, svi takvi uzorci čišćeni su žarenjem u vakumu (tlak $1,10^{-4}$ mm Hg) pri temperaturi od 500°C (metoda opisana u radu N a i d i n, T e i s & C h u p a k h i n 1956).

U radu o paleotemperaturnim analizama krednih uzoraka iz Istre (P o l š a k & L e s k o v š e k - Š e f m a n 1973) prikazani su principi kisikove izotopne metode, te faze u istraživanju tom metodom.

Analizirani uzorci iz karbona i perma obuhvaćaju 24 uzorka različitih vrsta vapnenca i 24 uzorka fosila.

Od fosila, čiji skeleti su analizirani, najčešći su brahiopodi. Prisutni su ovi rodovi: *Productus*, *Linoproductus*, *Spirifer*, *Neospirifer*, *Plicartocyrtina*, *Martinia*, *Leptodus*, *Enteletes*, *Orithothes*, *Martiniopsis* i *Dictyoclostus*. Od gastropoda dolazi rod *Naticopsis*, a od koralja *Waagenophyllum*. Osim toga analizirane su i ljušture jednog neodredivog školjkaša, kao i nekoliko držala krinoida.

Brojni su i drugi fosili, koji su međutim najčešće sastavni dio analiziranih biostromalnih vapnenaca (npr. *Bellerophon*) ili pak brojni predstavnici zelenih algi i fuzulinida kao glavni sastojci analiziranih biomikritskih vapnenaca.

Pretežni dio analiziranih vapnenaca taložen je u području sublitorala (u smislu podjele J. W. H e d g p e t h a 1957). Na ovaj ambijent ukazuju nalazi krinoida, zelenih algi, brahiopoda i drugih fosila. Vapnenci imaju najčešće mikritski matriks, što ukazuje na sedimentacijsku sredinu sa slabom energijom vode. Znatno dio vapnenaca je više ili manje bituminozan, što svjedoči da je mjestimice bila prisutna reduktivna sredina. Pretežu vapnenci s biogenim detritusom. Peleti i intraklasti su znatno rjeđi. Katkada su to »algalni vapnenci« sedimentirani na dnu pokrivenom algalnim livadama. Mirnoj sredini pripadaju i biostromalni vapnenci s mikritnim matriksom (krinoidni, belerofonski).

Među analiziranim uzorcima rijetki su vapnenci s izrazitim sparnim cementom, te gusto pakiranim i djelomično sortiranim detritusom. Takvi vapnenci taloženi su u zoni jake energije vode. Susreću se i djelomično isprani mikritni vapnenci taloženi u području nešto jače energije vode. Niti u jednom uzorku nisu ustanovljeni terigeni utjecaji.

Spomenuta obilježja pokazuju da su analizirani vapnenci taloženi u fazama mirne sedimentacije u plitkom i čistom moru i to pretežno u ambijentu više ili manje prostranih podmorskih zaravni. Niti jedan od analiziranih uzoraka vapnenca, a niti analizirani fosili, ne ukazuju na veću dubinu. Stoga i dobivene temperature dobro odražavaju klimatske prilike u pojedinim dijelovima karbona i perma, jer kao klimatološki indikator u pravilu dobro služe samo temperaturne vrijednosti plitkih dijelova mora. Površinski dijelovi mora naime odražavaju temperaturu donjeg dijela atmosfere, koji je i osnovni element temperaturnog zoniiranja na Zemlji, koji se običava prikazivati izotermama.

Temperatura mora naglo pada s povećanjem dubine. Tako u Sredozemnom moru kod Gibraltara površinski dio mora ima temperaturu od 24°C, a već na dubini od 200 m ona iznosi samo 12,7°C (Dietrich & Kalle 1957, Kettner 1959). Stoga batimetrijski odnosi igraju važnu ulogu kod interpretacija paleotemperature.

SPEKTROMETRIJSKE ANALIZE

Analiziran je izotopni sastav kisika uzoraka i to s masenim spektrometrom MS-4/7 s dvostrukim kolektorom i kompenzacijskom tehnikom, s točnošću u odnosu na standard $\pm 0,3\%$. Iz uzorka je najprije dobiven CO₂ otapanjem sa 100% H₃PO₄ kod temperature $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ i taj je plin spektrometrijski analiziran.

Dobiveni rezultati proračunati su po formuli:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{{}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{uz}} - {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{st}}}{{}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{st}}} \times 1000\%$$

uz = uzorak

st = standard

Kao standard korišten je mramor iz Carrare (Italija) i dobivene vrijednosti proračunate su na međunarodni standard PDB-1.

Na osnovi izmjerenih vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ izračunata je temperatura vode, u kojoj je karbonat nastajao po formuli (E p s t e i n, B u c h s b a u m i dr. 1953):

$$t (^{\circ}\text{C}) = 16,5 - 4,3 \delta + 0,14\delta^2$$

PREGLED ODREDBI TEMPERATURA

Na priloženoj tabeli prikazane su odredbe temperatura kisikovom izotopnom metodom 58 uzoraka fosila i stijena. Uzorci su grupirani po osnovnom stratigrafskom redoslijedu. Brojevi oznaka uzoraka ujedno služe kao brojevi nalazišta na priloženoj topografskoj skici. Osim odredbe temperature, označene su i vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ prema PDB standardu, zatim lokaliteti na kojima su uzorci nađeni, te paleontološka i sedimentološka determinacija uzoraka.

Oznaka uzoraka Designation	Stratigrafski položaj Stratigraphic position	Nalazište Locality	Vrsta uzoraka Type of sample	$^{18}\text{O-PDB}\text{‰}$	T°C
537	Donji karbon (Lower Carboniferous)	Međugradi, Prača	Krinoidni biolitit (Crinoidal biolithite)	-0,89	20,6
506	Srednji karbon (Middle Carboniferous), moskovij	Crveni Potok, Sv. Rok	Krinoid (Crinoid)	-1,72	24,3
507	Srednji karbon (M. Carboniferous), moskovij	Klarić vrelo, Sv. Rok	Krinoid (Crinoid)	-0,86	20,2
508	Srednji karbon (M. Carboniferous), uralien?	Pilar brdo, Sv. Rok	Krinoid (Crinoid)	-0,86	20,2
511	Srednji karbon (M. Carboniferous), moskovij	Raskirce, Ričice	Biosparit (Biosparite)	-2,95	30,5
512	Srednji karbon (M. Carboniferous), moskovij	Raskirce, Ričice	Biomikrit (Biomicrite)	-3,30	32,3
513	Srednji karbon (M. Carboniferous), moskovij	Raskirce, Ričice	Biomikrudit (Biomicrudite)	-3,46	33,1
514	Srednji karbon (M. Carboniferous), moskovij, (mjačkovij?)	Brnjičevo, Velebit	Biomikrudit (Biomicrudite)	-1,44	22,9
536	Srednji karbon (M. Carboniferous)	Mali Krš, Andrijevica, Crna Gora	Krinoidni biosparudit (Crinoidal biosparudite)	-3,48	33,3
540	Srednji karbon (M. Carboniferous), baškirij	Sanski most, Ljubija	Biopelmikrit (Biopelmicrite)	-2,50	28,2
543	Srednji karbon (M. Carboniferous)	Likodra, Zap. Srbija	Algalni biomikrudit (Algal biomicrudite)	-3,60	33,9
556	Srednji karbon (M. Carboniferous), moskovij	Raskirce, Ričice	<i>Linoproductus lineatus</i> (Waagen)	-2,82	29,8
557	Srednji karbon (M. Carboniferous), moskovij	Raskirce, Ričice	Biomikrudit (Biomicrudite)	-2,60	28,7
562	Srednji karbon (M. Carboniferous), moskovij	Izvor (Source) Crni potok, Sv. Rok	<i>Plicartocyrtinga zitteli</i> (Schellwien)	-2,71	29,3
566	Srednji karbon (M. Carboniferous), kaširij	Raskirce, Ričice	Biosparudit (Biosparudite)	-2,63	28,9
567	Srednji karbon (M. Carboniferous), kaširij	Raskirce, Ričice	Biointrasparudit (Biointrasparudite)	-2,75	29,5
515	Gornji karbon (Upper Carboniferous), kasimovij	Ričice	Biosparit (Biosparite)	-1,05	21,2

Oznaka uzoraka Designation	Stratigrafski položaj Stratigraphic position	Nalazište Locality	Vrsta uzoraka Type of sample	$^{18}\text{O-PDB}\%$	T°C
526	Gornji karbon (U. Carboniferous), uralien	Minibradić, Budva	Biomikrudit (Biomicrudite)	-2,82	29,2
546	Gornji karbon (U. Carboniferous)	Izvor (Source) Crni potok, Sv. Rok	<i>Choristites</i> sp.	+1,71	9,7
549	Gornji karbon (U. Carboniferous)	Javorniški rovt, Jesenice	<i>Martinia</i> sp.	-3,33	32,4
509	Donji perm (Lower Permian), ratendorfske naslage (»Rattendorf-beds«)	Trošeljje, Brušane	<i>Neospirifer</i> cf. <i>ravana</i> Diener	-1,90	25,3
545	Donji perm (L. Permian), ratendorfske naslage (»Rattendorf-beds«)	Trošeljje, Brušane	<i>Spirifer</i> sp.	-1,14	21,7
560	Donji perm (L. Permian), ratendorfske naslage (»Rattendorf-beds«)	Trošeljje, Brušane	<i>Neospirifer</i> cf. <i>ravana</i> Diener	-0,85	20,4
568	Donji perm (L. Permian), ratendorfske naslage (»Rattendorf-beds«)	Popov Panj, Medak	Biomikrudit (Biomicrudite)	-2,86	30,0
571	Donji perm (L. Permian), ratendorfske naslage (»Rattendorf-beds«)	Alanac	Biomikrudit (Biomicrudite)	-0,89	20,6
501	Srednji perm (Middle Permian), kungur	Milašnovac, Brušane	<i>Productus</i> sp.	-0,62	19,2
502	Srednji perm (M. Permian), kungur	Milašnovac, Brušane	Biomikrit (Biomicrite)	-2,33	27,2
503	Srednji perm (M. Permian), kungur	Milašnovac, Brušane	<i>Spirifer</i> sp.	+0,84	13,1
504	Srednji perm (M. Permian), kungur	Crne Grede, Oštarije	Dolomitizirani vapnenac (Dolomitic limestone)	+1,33	11,0
521	Srednji perm (M. Permian)	Oštarije	Biomikrit (Biomicrite)	-1,60	23,5
525	Srednji perm (M. Permian), kungur	Matković, Bar	Biointrasparudit (Biointrasparudite)	-2,61	28,7
527	Srednji perm (M. Permian)	Bujači, Virpazar	Algalni biomikrit (Algal biomicrite)	+0,10	16,2
528	Srednji perm (M. Permian), trogkofelske naslage (»Trogkofel-beds«)	Dolžanova soteska, Karavanke	Biointramikrit (Biointramicrite)	-3,25	32,0

Oznaka uzoraka Designation	Stratigrafski položaj Stratigraphic position	Nalazište Locality	Vrsta uzoraka Type of sample	$^{18}\text{O-PDB}\text{‰}$	T°C
533	Srednji perm (M. Permian), trogkofelske naslage (»Trogkofelbeds«)	Rove na Frankolovem	<i>Spirifer</i> sp.	-2,27	27,1
547	Srednji perm (M. Permian), kungur	Crne Grede, Oštarije	Djelomično isprani biointrasparit (Poorly washed biointrasparite)	-2,00	25,8
548	Srednji perm (M. Permian), trogkofelske naslage (»Trogkofelbeds«)	Rove pri Vitanju	<i>Spirifer</i> sp.	-1,49	23,3
550	Srednji perm (M. Permian), artinsk	Brušane	<i>Naticopsis</i> cf. <i>khurensis</i> Waagen	+0,09	16,5
551	Srednji perm (M. Permian), kungur	Milašnovac, Brušane	<i>Enteletes</i> sp.	-0,13	17,2
552	Srednji perm (M. Permian), kungur	Crne Grede, Oštarije	<i>Leptodus nobilis</i> (Waagen)	-1,48	23,3
553	Srednji perm (M. Permian) kungur	Crne Grede, Oštarije	Djelomično isprani biointrasparudit (Poorly washed biointrasparudite)	-2,33	27,4
554	Srednji perm (M. Permian)	Milašnovac, Brušane	<i>Spirifer</i> sp.	+0,36	15,1
555	Srednji perm (M. Permian)	Milašnovac, Brušane	Biopelmikrit (Biopelmicrite)	-1,60	23,8
558	Srednji perm (M. Permian), kungur	Crne Grede, Oštarije	Biopelmikrit (Biopelmicrite)	-1,13	21,6
559	Srednji perm (M. Permian), kungur	Milašnovac, Brušane	<i>Enteletes waageni</i> Gem.	-0,15	17,3
565	Srednji perm (M. Permian), artinsk	Kontinovo vrelo, Paklenica	<i>Martiniopsis</i> sp.	-0,39	18,3
570	Srednji perm (M. Permian), artinsk	Kontinovo vrelo, Paklenica	Djelomično isprani biointrasparit (Poorly washed biointrasparite)	-0,57	19,1
522	Gornji perm (Upper Permian), kazan	Brušane	Biomikrit (Biomicrite)	-3,30	32,3
523	Gornji perm (Upper Permian), kazan	Paripov jarak, Oštarije	Biopelmikrit (Biopelmicrite)	-2,21	26,7
524	Gornji perm (Upper Permian)	Paljež, Brušane	Biomikrit (Biomicrite)	-2,74	28,4
529	Gornji perm (U. Permian)	Vrzdeneč (Polhov Gradec)	<i>Dictyoclostus</i> sp.	-2,62	28,8
530	Gornji perm (U. Permian)	Bohinjska Bela	Biopelmikrit (Biopelmicrite)	+1,09	12,1

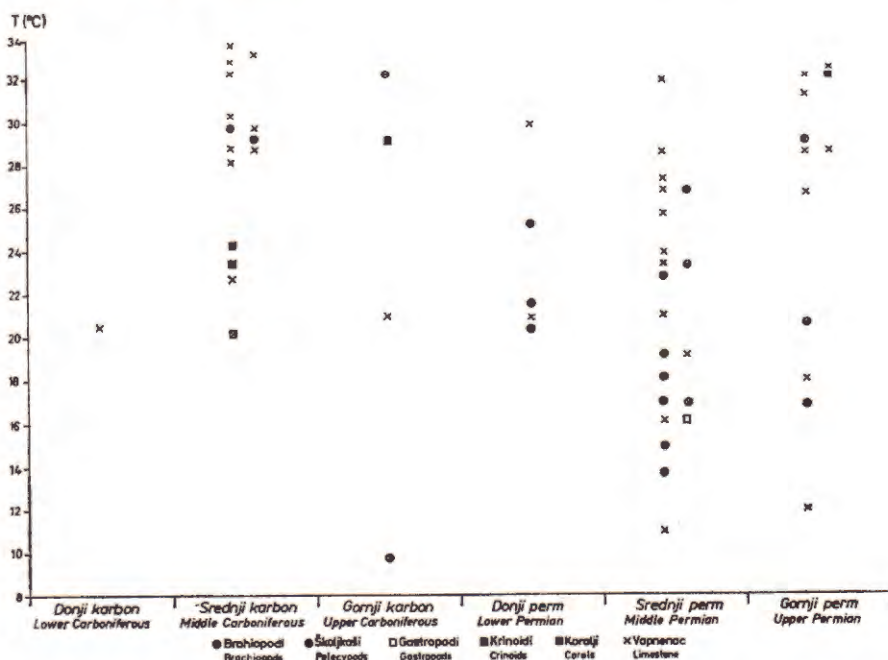
534	Gornji perm (U. Permian)	Žažar	Djelomično isprani biosparudit (Poorly washed biosparudite)	-2,62	28,8
539	Gornji perm (U. Permian)	Bastavsko brdo, Zap. Srbija	Biopelmikrit	-3,36	32,6
541	Gornji perm (U. Permian)	Crni potok, Suštaši kod Bara	Biosparudit	-0,27	17,8
542	Gornji perm (U. Permian)	Peovac, Zap. Srbija	Krinoidni biomikrudit (Crinoidal biomicrudite)	-3,11	31,3
544	Gornji perm (U. Permian), kazan	Baške Oštarije	Školjkaš (Bivalve)	-0,02	16,7
564	Gornji perm (U. Permian), kazan	Baške Oštarije	<i>Orthotheses</i> cf. <i>armeniacus</i> Arth.	-0,87	20,5
573	Gornji perm (U. Permian)	Selca, Škofja Loka	<i>Waagenophyllum indicum</i> (Waagen & Wentzel)	-3,23	31,9

TEMPERATURNE PROMJENE I NJIHOV ODRAZ NA SEDIMENTACIJSKE I PALEOEKOLOŠKE PRILIKE

Dobivene temperaturne vrijednosti za pojedine dijelove gornjeg paleozoika su dosta širokog raspona, tj. ne pokazuju izrazite koncentracije. Tako se npr. međusobno često razlikuju temperaturne vrijednosti analiziranih vapnenaca od temperatura bentoskih fosila. Uzrok tome treba tražiti, jednim dijelom, u primjesi tzv. pelagičke kiše u vapnencima (vidi str. 176). Na raspon temperatura unutar kronostratigrafskih jedinica u koje su grupirani analizirani uzorci (npr. srednji perm i sl.) utječu i klimatska kolebanja, koja su se desila tijekom trajanja tih jedinica. Naime analizirani uzorci potječu iz različitih nivoa takvih jedinica i nije ih moguće detaljnije stratigrafski grupirati, osobito ne na velikom prostanstvu. Tome treba dodati i sezonska kolebanja temperature i lokalne temperaturne anomalije (npr. utjecaj struja). Stoga se srednja temperatura katkada ponešto razlikuje od temperature površinskog, ugrijanog, morskog sloja, koji odražava temperatura donjeg dijela atmosfere. Međutim i srednje temperature ipak dobro odražavaju tijekom značajnih temperaturnih promjena u gornjem paleozoiku i opće temperaturne odnose u tom razdoblju.

Donji karbon

Iz donjeg karbona analiziran je samo jedan uzorak. Dobivena temperatura (20,6°C) ukazivala bi na relativno toplu klimu. Međutim, jedno mjerenje ne predstavlja dovoljan podatak za zaključke o klimatskim prilikama u tom razdoblju.



Sl. 1. Temperaturne vrijednosti u karbonu i permu dobivene mjerenjem odnosa $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$ analiziranih fosila i vapnenaca iz Dinarida i Slovenskih Alpa.

Text-fig. 1. Temperature values in the Carboniferous and Permian obtained from the measurement of the $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$ ratio in the analysed fossil and limestone samples from the Dinarids and Slovenian Alps.

Srednji karbon

Gotovo svi uzorci iz srednjeg karbona dali su izrazito visoke temperature. Srednja temperatura 15 analiziranih uzoraka iznosi 28,5°C. To je ujedno najviša izmjerena temperatura mora u gornjem paleozoiku. Ovako visoku temperaturu imaju samo izrazito tropska mora.

Temperaturne vrijednosti mnogih uzoraka prelaze 30°C. To su temperature površinskog, jako ugrijanog sloja u ljetnom razdoblju u tropskoj zoni.

Izrazito visoka temperatura u srednjem karbonu do sada je dokazana i klasičnim klimatskim indikatorima. Tako na izrazito toplu klimu uka-

zuju dobro poznate tropske prašume papratnjača u području srednje i zapadne Evrope. Te prašume su ujedno indikator jako vlažne klime.

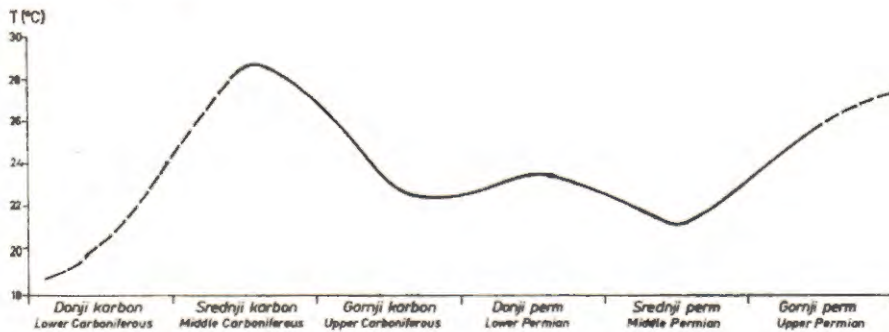
Treba istaknuti da se u tom izrazito toplom i plitkom moru u području Dinarida i Alpa nigdje ne susreću u većoj mjeri grebenotvorni organizmi. Tome je uzrok pretežno mirna sedimentacijska sredina s vrlo slabom energijom vode. U takvoj sredini jači razvoj su doživjele fuzulide, brahiopodi i katkada zelene alge, koje su mjestimice tvorile prostrane algalne livade.

Mjestimice je zbog ustajalosti vode došlo do reduktivnih sedimentacijskih uvjeta. Zato je i znatan dio srednjekarbonskih uzoraka mikritnih vapnenaca slabije ili jače bituminozan.

Gornji karbon

Iz gornjeg karbona analizirana su svega četiri uzorka. Srednja temperatura iznosi 23°C. Zbog premalenog broja analiza ovu srednju vrijednost treba smatrati približnom i orijentacijskom.

Temperaturne vrijednosti četiri analizirana uzorka, koji su nađeni na četiri različita lokaliteta, međusobno se jako razlikuju. Za tri uzorka (515, 526 i 549) raspon temperature se kreće od 21,2° do 32,4°C. Tu se vjerojatno radi o prostornim klimatskim oscilacijama. Međutim, uzorak brahiopoda (*Spirifer* sp., br. 546) pokazuje vrlo nisku temperaturu od 9,7°C. Tome je vjerojatno razlog nešto veća dubina na kojoj je živio taj brahiopod.



Sl. 2. Krivulja srednjih temperaturnih vrijednosti za karbon i perm Dinarida i Slovenskih Alpa na bazi odnosa $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$ analiziranih fosila i vapnenaca.

Text-fig. 2. Mean-temperature curve for the Carboniferous and Permian of the Dinarids and Slovenian Alps obtained from the measurement of the $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$ ratio in the analysed fossil and limestone samples.

Donji perm

Iz donjeg perma analizirano je pet uzoraka. Približna srednja temperatura iznosi 23,6°C. Po tome bi donjopermsko more pripadalo grupi subtropskih do tropskih mora.

Srednji perm

Relativno veliki broj analiziranih uzoraka dozvoljava sigurnije zaključke o klimatskim prilikama u tom dijelu perma. Srednja temperatura mora, na temelju 21 mjenog uzorka, iznosi 21,3°C. Po temperaturnim obilježjima to more bi pripadalo subtropskim morima. Sudeći po ostalim klimatskim indikatorima, u srednjem permu je već bila naglašena suha, aridna klima. O tome svjedoče debele naslage crvenih klastita »gredenskog« tipa rasprostranjenih u Alpsko-dinarskom prostoru.

Treba spomenuti da analizirani mikritni vapnenci pokazuju obično nešto više temperaturne vrijednosti od fosila (brahiopoda i gastropoda) iz istih horizonata. Tome su uzrok primjese planktonskih organizama, koji u obliku »pelagičke kiše« dolaze iz površinskog jako insoliranog i ugrijanog sloja i ulaze u sastav sublitoralnih vapnenaca. Brahiopodi i gastropodi, kao bentoski organizmi odražavaju nešto nižu, »čistu« temperaturu dna na kojem žive. Stoga je srednja temperatura površinskog sloja mora viša od dobivene srednje temperature.

Gornji perm

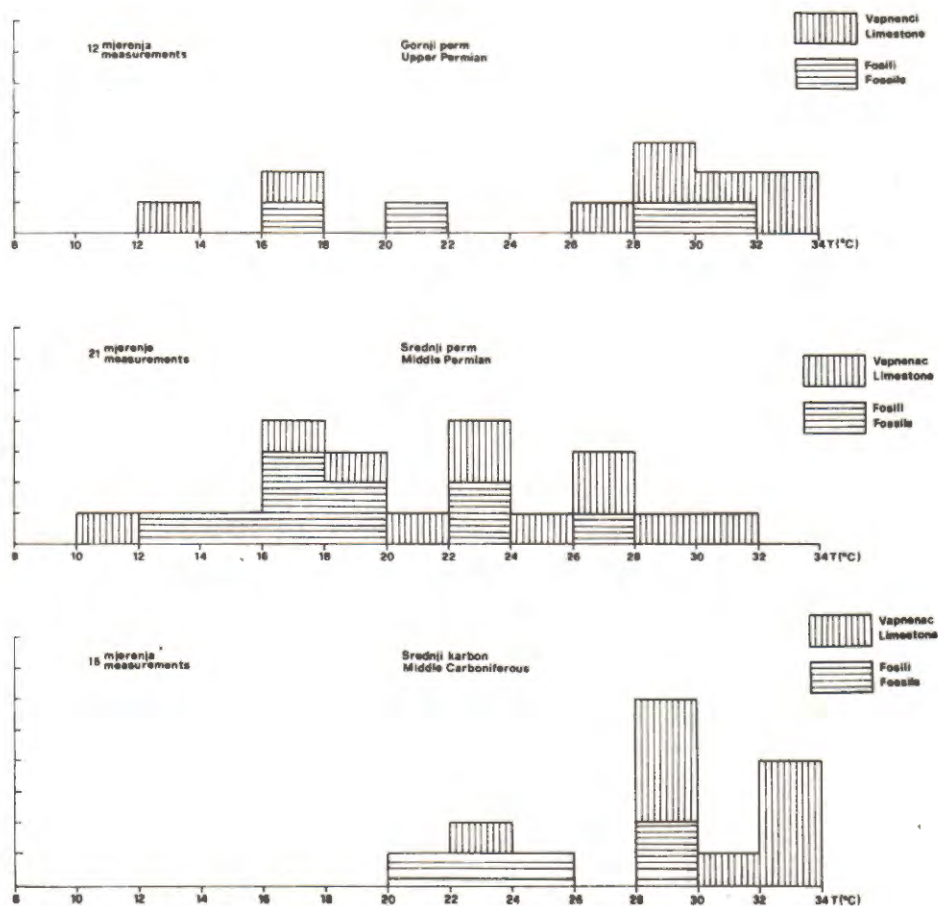
Gornjopermsko more pokazuje povišenje temperature. Srednja temperatura dobivena na temelju 12 analiziranih uzoraka iznosi 25,7°C. Ova-ko visoku temperaturu imaju samo tropska mora. U tom toplom moru mjestimice se u značajnijoj količini javljaju koralji (*Waagenophyllum*). Što se tiče vlage, klima je, sudeći po ostalim indikatorima, bila izrazito suha, aridnog tipa (vidi slijedeće poglavlje).

PROBLEM EVAPORITNE SEDIMENTACIJE

Divergentnost mišljenja o stratigrafskom položaju dinaridskih evaporitnih naslaga prouzročena je prvenstveno različitom interpretacijom položaja evaporitnih tijela. Staro mišljenje o pripadnosti evaporitnih naslaga gornjem permu i donjem trijasu dobilo je u posljednje vrijeme u nekim područjima nove sedimentološke i paleontološke dokaze (Ivanović & al. 1971). Mjestimične kontakte evaporita s mlađim naslagama, npr. jurskim, pristalice permo-trijaskog podrijetla evaporita tumače kao rasjedne ili dijapirske (Fritz 1973, Herak 1973).

Druga grupa autora je pak mišljenja, da pojave evaporita (gips) u dolini rijeke Une pripadaju gornjem malmu i donjoj kredi, a anhidrit u dubokim bušotinama (Ravni Kotari, Dugi Otok, Ugljan, Vis) da pripada donjoj kredi (Šušnjarić dr. 1965, Šušnjarić 1967). Slično mišljenje zastupaju Miljuš (1971) i Chorowicz (1974). Iz mišljenja ovih autora proizlazi, da su u gornjem malmu i donjoj kredi postojali u spomenutim područjima Dinarida uvjeti za evaporitnu sedimentaciju.

Prikazane paleotemperaturne analize kisikovom izotopnom metodom mogu pridonijeti rješenju ovog problema.



Sl. 3. Temperature u srednjem karbonu, srednjem i gornjem permu dobivene mjerenjem odnosa $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$ analiziranih fosila i vapnenaca iz Dinarida i Slovenskih Alpa. Površina jednog polja u legendi predstavlja jedno mjerenje.

Text-fig. 3. Temperatures in the Middle Carboniferous, Middle and Upper Permian obtained from the measurement of the $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$ ratio in the analysed fossil and limestone samples from the Dinarids and Slovenian Alps. The area equal to field in the legend represents one measurement.

Jedan od najvažnijih uvjeta za postanak evaporitnih naslaga je aridna klima, koja omogućuje godišnju evaporaciju od 1—2 m stupa vode (Richter-Bernburg 1955). To je u pravilu topla aridna klima, dok se u hladnoj aridnoj klimi evaporitne naslage mogu samo iznimno pojaviti, i to u malim količinama (Green 1961). Koji će od dva srodna evaporitna minerala, anhidrit ili gips, biti odlagan, zavisi o koncentraciji otopljenih soli i temperaturi morske vode. Anhidrit se kristalizira i odlaže uz istu koncentraciju otopine kod više temperature nego gips. Granica odlaganja gips-anhidrit mijenja se u zavisnosti od koncentracije otopine. Kod tzv. »sulfatnog zasićenja« granica se nalazi na oko 50°C. Kako koncentracija raste, tako se granica gips-anhidrit u pogledu temperature spušta. Kod tzv. »NaCl-zasićenja« ona se nalazi na oko 20°C (Kinsman 1965). Koncentracija soli kod »NaCl-zasićenja« je oko 10 puta veća od koncentracije kod normalnog saliniteta i tada se uz anhidrit taloži već i kuhinjska sol.

Iz iznijetog je vidljivo da je evaporitna sedimentacija uvjetovana prvenstveno toplom i aridnom klimom.

Izrazito topla klima bila je u Dinarsko-alpskom području u srednjem karbonu. To je bilo tropsko more sa srednjom temperaturom od 28,5°C. U gornjem karbonu srednja temperatura bila je nešto niža (23°C). Takva temperatura je karakteristična za topla subtropska mora.

Vlažna klima bila je karakteristična za srednji i gornji karbon velikog dijela Evrope. Zahvaljujući tome u području Hercinida rastu papratnjačke prašume zaslužne za postanak debelih naslaga ugljena (Schwarzbach; u Nairnu 1961). U Dinarsko-alpskom području također je u srednjem i gornjem karbonu vladala izrazito vlažna klima. O tome svjedoči potpuni nedostatak crvenih klastičnih naslaga u tom razdoblju. Osim toga, u klastičnim naslagama mjestimično se nalaze ostaci tropskih papratnjača (*Sigillaria*, *Calamites*, *Lepidodendron* i dr.).

Na temelju izloženog može se zaključiti da u gornjem karbonu Dinarsko-alpskog područja zbog vlažne tropske klime nije bilo pogodnih uvjeta za sedimentaciju evaporitnih naslaga.

U permu se klimatske prilike bitno mijenjaju. Temperatura mora i zraka ostaje i dalje visoka (21,3—25,7°C), i to u okviru tropskih i subtropskih zona. Međutim, vlažnost zraka naglo se smanjuje, tako da gotovo u cijeloj Evropi vlada topla aridna klima. Ekstremno suha klima bila je u Zechsteinu Evrope, za koji su vezana bogata ležišta soli (Schwarzbach; u Nairnu 1961).

U Dinarsko-alpskom području vladala je također izrazito suha klima pogodna za jaču evaporaciju. O tome svjedoče crvene klastične naslage gredenskog tipa u području Slovenije, Karnijskih Alpa, Velebita i Like, zatim u Gorskot kotaru (Šćavničar & Sušnjara 1967) i u nekim drugim područjima. Gornjem permu pripada dio crvenih klastita u vezi s gipsom u Dalmatinskoj Zagori, kao npr. u području Sinja, Vrlike, Petrovog i Kosovog polja (Ivanović & al. 1971, Herak 1973).

Prema iznijetom može se zaključiti, da je izrazito topla i suha (aridna) klima u permu pogodovala taloženju evaporitnih naslaga u području Dinarida. Evaporiti se često nalaze i na terenu vezani uz pojave permo-

trijaskih crvenih klastičnih naslaga. Evaporiti u karbonatnim naslagama jure i krede u Dinaridima nisu na primarnom mjestu, nego su u te naslage dospjeli dijapirskim i tektonskim procesima (Polšak & Leskovšek 1975).

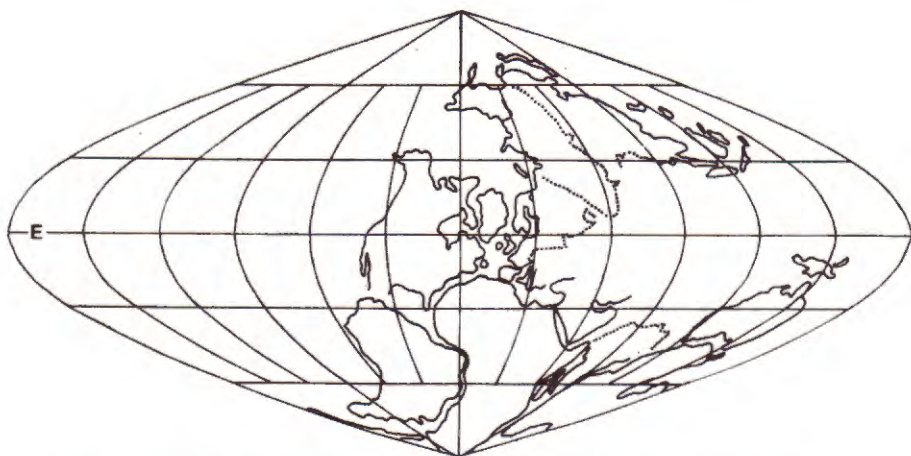
REGIONALNA PALEOKLIMATOLOŠKA INTERPRETACIJA I NJENA POVEZNOST S POLOŽAJEM POLOVA I PLUTANJEM KONTINENATA

Izmjerene temperature kisikovom izotopnom metodom pokazuju da je klimatska zonarnost u gornjem paleozoiku bila sasvim drugačija od današnje. To svjedoči o velikim razlikama između tadašnjeg rasporeda kontinenata i mora i njihovog današnjeg geografskog rasporeda, što je rezultat plutanja kontinenata (tzv. »Continental drift«) i velikih promjena položaja Zemljinih polova.

Današnji geografski položaj Dinarida i Slovenskih Alpa (42—47° sjeverne širine) odgovara približno srednjoj godišnjoj izotermi od 15°C (prema Gellertu 1955 i Hofmannu 1955; u Heyeru 1963). Izoterma od cca 28°C, što predstavlja dobivenu temperaturu za srednji karbon Dinarida i Slovenskih Alpa, danas se nalazi u zoni ekvatora, tj. u zoni vruće tropske klime. Prema tome, današnje područje Dinarida i Alpa nalazilo se u karbonu pomaknuto prema jugu za cca 45°, tj. u području ekvatora. Ova konstatacija, izvedena na temelju paleotemperaturnih podataka, dobro se podudara s rezultatima istraživanja promjena paleomagnetskih polova tijekom geološke prošlosti. Tako je prema Runcornu 1956 (u Nairnu 1961) položaj paleomagnetskih polova u karbonu bio pomaknut u odnosu na njihov današnji položaj za cca 40—45°. Po paleogeografskoj rekonstrukciji (Creer 1973), Tethys geosinklinala nalazila se tada u ekvatorijalnoj zoni (sl. 4).

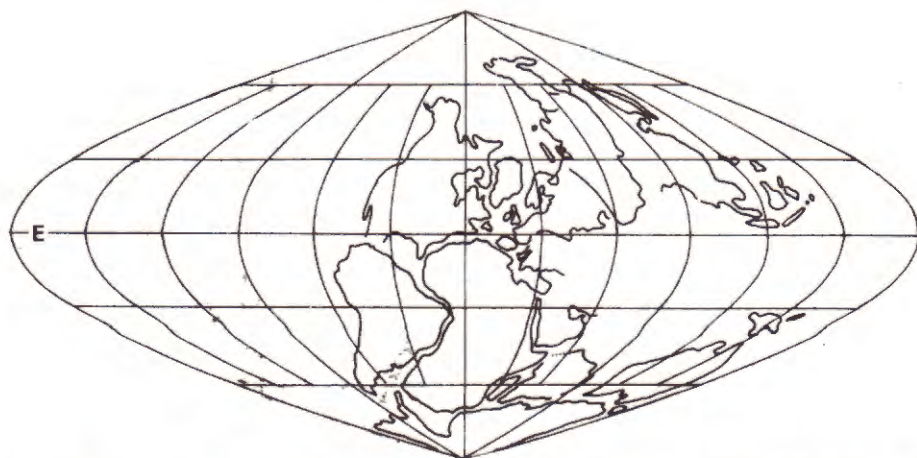
Slične regionalne promjene temperaturnih odnosa bile su izražene i u permu. To je naročito izraženo u gornjem permu, kada je po dobivenim rezultatima srednja temperatura mora u Dinarsko-alpskom području iznosila nešto manje od 26°C. Ovakva temperatura karakteristična je za današnja tropska mora blizu ekvatora (10—15° geografske širine). Vrući aridni pojas prostirao se od Dinarsko-alpskog područja sve do u sjevernu Njemačku (iznad 50° sjeverne širine), o čemu nam svjedoče glasovita ležišta soli iz Zechsteina. Za taj pojas bio je vezan i postanak permskih ležišta soli u Sjedinjenim Američkim državama. Pomak klimatskih zona u permu, ustanovljen na temelju prikazanih paleotemperatura, rezultat je plutanja kontinenata i podudara se s podacima o položaju paleomagnetskih polova u permu. Prema Runcornu (u Nairnu 1961) polovi su u permu bili pomaknuti za više od 40° u odnosu na njihov današnji položaj. Paleogeografska rekonstrukcija (Creer 1973) pokazuje da se današnje područje Dinarida, koje je pripadalo Tethys geosinklinali, nalazilo u gornjem permu u ekvatorijalnoj zoni (sl. 5).

Značajnija dosadašnja mjerenja paleotemperatura u gornjem paleozoiku koncentrirana su na permske naslage Australije. Svakako su naj-



Sl. 4. Skica paleogeografskih odnosa u donjem i srednjem karbonu bazirana na mjerenjima položaja paleomagnetskih polova (po K. M. Creer 1973). E = ekvator.

Text-fig. 4. Schematic world palaeogeography in the Lower and Middle Carboniferous based on the measurements of palaeomagnetic pole positions (from K. M. Creer 1973). E = Equator.



Sl. 5. Skica paleogeografskih odnosa u gornjem karbonu i permu bazirana na mjerenjima položaja paleomagnetskih polova (po K. M. Creer 1973). E = ekvator.

Text-fig. 5. Schematic world palaeogeography in the Upper Carboniferous and Permian based on the measurements of palaeomagnetic pole positions (from K. M. Creer 1973). E = Equator.

interesantniji rezultati koji su dobiveni iz fosilifernih marinskih uložaka (Sakmarski kat) u glacijalnim sedimentima (tiliti) tzv. Carnarvon-bazena («Lyons-grupa»). Tako je Compston (1960) analizom jednog spiriferidnog brahiopoda dobio temperaturu od 6,5°C, a Lowenstam (1964) analizom jednog brahiopoda iz istih naslaga temperaturu od 7,7°C. Današnja temperatura mora uz Zapadnu Australiju iznosi 23—24°C. Sudeći po dobivenim niskim temperaturama, Australija se u donjem permu nalazila u polarnom području što također ukazuje na veliki intenzitet procesa plutanja kontinenata.

Primljeno 10. 03. 1977.

LITERATURA

- Bowen, R. (1966): Paleotemperature analyses. — *Method in Geochemistry and Geophysics*, 265 pp., Elsevier.
- Chorowicz, (1974): Le chevauchement du Velebit (Croatie, Yougoslavie). — *Bull. Soc. géol. France*, (7), 14, 74—84.
- Compston, W. (1960): The carbon isotopic composition of certain marine invertebrates and coals from the Australian Permian. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 18, 1—22.
- Creer, K. M. (1973): A discussion of the arrangement of palaeomagnetic poles on the map of Pangaea for epochs in the Phanerozoic. In: Tarling, D. H. & Runcorn, S. K.: *Implications of Continental Drift to the Earth Sciences*, 1, 47—76.
- Dietrich, G. & Kalle, K. (1957): *Allgemeine Meereskunde*. — Berlin, 492p.
- Dorman, F. H. (1968): Some Australian oxygen isotope temperature and a theory for a 30 million years world-temperature cycle. — *J. Geol.*, 76/3.
- Dorman, F. H. & Gill, E. D. (1959): Oxygen isotope palaeotemperature measurements on Australian fossils. — *Proc. Roy. Soc. Victoria*, 71, 73—98.
- Epstein, S., Buchsbaum, R., Lowenstam, H. A. & Urey, B. C. (1953): Revised carbonate-water isotopic temperature scale. — *Bull. Geol. Soc. Am.*, 64, 1315—1326.
- Folk, R. L. (1959): Practical petrographic classification of limestones. — *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 43, 1—38.
- Folk, R. L. (1962): Spectral subdivision of limestone types. — In: *Classification of carbonate rocks*, Amer. Assoc. Petrol. Geol., Memoir 1, 62—84.
- Fritz, F. (1973): Geološka građa područja Prevljes—Palanka (sjeverna Dalmacija) s detaljnim prikazom evaporitskih naslaga. — *Geol. vjesnik*, 26, 195—206.
- Green, R. (1961): Palaeoclimatic significance of Evaporites. — In: Nairn, A. E. M.: *Descriptive Palaeoclimatology*. London, 61—88.
- Hedgpeth, J. W. (1957): Classification of Marine Environments. — *Geol. Soc. America*, Mem. 67/1, 17—28.
- Herak, M. (1973): Some tectonical problems of the evaporitic area in the Dinarids of Croatia. — *Geol. vjesnik*, 26, 29—40.
- Heyer, E. (1963): *Witterung und Klima*, 439 p., Leipzig.
- Ivanović, A., Ščavničar, B., Sakač, K. & Gušić, I. (1971): Stratigrafski položaj i petrografske karakteristike evaporita i klastita okolice Drniša i Vrlike u Dalmaciji. — *Geol. vjesnik*, 24, 11—34.
- Kettner, R. (1959): *Allgemeine Geologie*, III, Berlin, 460 p.
- Kinsman, D. J. J. (1965): Gypsum and anhydrite of recent age, Trucial Coast, Persian Gulf. — In: J. L. Rau (Ed.): *Second Symposium on Salt*, 1, North Ohio Geol. Soc., Cleveland (Ohio), 302—326.

- Lowenstam, H. A. (1961): Mineralogy, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios and strontium and magnesium contents of recent and fossil Brachiopods and their bearing on the history of the oceans. — *J. Geol.*, 69, 241—260.
- Lowenstam, H. A. (1964): Palaeotemperatures of the Permian and Cretaceous periods. In: A. E. M. Nairn (Editor), *Problems in Palaeoclimatology*, 227—248, Interscience, New York.
- Miljuš, P. (1971): Naftoplino nosni bazeni cirkumjadranske oblasti. — *Nafta*, 4—5, 347—356.
- Naidin, D. P., Teis, R. V. & Chupakhin, M. S. (1956): Opredelenie klimatičeskikh uslovij nekatorih raionov SSSR v verhnemelovuju epohu metodom izotopnoi paleotermometrii. — *Geohimija*, 8, 752—764.
- Polšak, A. & Leskovšek-Šefman, H. (1973): Istraživanje paleotemperaturnih odnosa dijela krednog sedimentacijskog bazena zapadnih Dinarida na temelju kisikove izotopne metode. — *Geol. vjesnik*, 25, 113—126, Zagreb.
- Polšak, A. & Leskovšek, H. (1975): Relation paléothermométrie dans le Crétacé de la Yougoslavie à la base des compositions isotopiques de l'oxygène; reflet sur l'évolution sédimentologique et paléocéologique. — *IX^{me} Congrès International de Sédimentologie*, Theme 1, 161—168, Nice.
- Runcorn, S. K. (1956): Paleomagnetic comparisons between Europe and North America. — *Proc. Geol. Assoc. Can.*, 8, 77—85.
- Richter-Bernburg, G. (1955): Über saline Sedimentation. — *Z. Deutsch. geol. Ges.*, 105, 593—645.
- Schwarzbach, M. (1961): The Climatic History of Europe and North America. In: Nairn, A. E. M.: *Descriptive Palaeoclimatology*, London, 255—291.
- Šćavničar, B. & Šušnjara, A. (1967): Geološka i petrografska istraživanja trijaskih naslaga u Gorskom kotaru (područje Lokve—Gerovo). — *Geol. vjesnik*, 20, 87—106.
- Šušnjara, M. (1967): Stratigrafska i strukturna problematika otoka Visa. — *Geol. vjesnik*, 20, 175—190.
- Šušnjara, M., Bukovac, J., Marinčić, S. & Savić, D. (1965): Stratigrafija gipsnih naslaga Unske doline i korelacija s poznatim evaporitskim naslagama i popratnim facijesima u Primorju, Dalmaciji, Lici i zapadnoj Bosni. — *Acta geologica*, 5, (Prir. istraž. JAZU 35), 407—422.
- Teis, R. V. & Naidin, D. P. (1973): *Paleotermometrija i izotopnij sastav kisloroda organogenih karbonatov*. »Nauka«, Moskva, 1—256.

Paleotemperature relations of the Carboniferous and Permian periods in the Dinarids and Alps — based on the oxygen isotope method — and their paleogeographic applications

A. Polšak and J. Pezdič

PROPERTIES OF ANALYSED SAMPLES

Twenty-four samples of limestones and thirty-four fossils from the Carboniferous and Permian of Dinarids and Slovene Alps were analysed. All of the 58 samples studied were found at their primary places, often in situ, and their stratigraphical positions were exactly determined. Only compact parts of skeletal material without any secondary calcite were sampled for analysis of fossils. In the samples of limestones we observed no recrystallization. Organic matter which was present in some samples can change the isotopic ratio of oxygen and therefore the carbonates were cleaned at the temperature of 500°C in a high vacuum system (the method is described in a paper by Naidin & al., 1956).

Most of the analysed skeletons are brachiopods of the following genera: *Productus*, *Linoproductus*, *Spirifer*, *Neospirifer*, *Plicartocyrtina*, *Martinia*, *Leptodus*, *Enteletes*, *Orthothetes*, *Martinoptis* and *Dictyclostus*. Gastropods are presented with the genus *Naticopsis*, and corals with the genus *Waagenophyllum*. One mollusc shell of unknown genus and some crinoids were also analysed. Other fossils (for example *Bellerophon*) form in great quantity parts of biostromal limestones; green algae and fusulinids are the main constituents of biomicritic limestones.

Most of the analysed limestones have been deposited in subtidal conditions (according to classification by Hedgpeth 1957), which is proved by a large amount of crinoids, green algae, brachiopods and other fossils in these sediments. The limestones have micritic matrix, which indicates the sedimentation in a low water energy environment. Some parts of the regions investigated had reductive conditions and so bituminous matter is present in many analysed samples. Pelets and intraclastic materials are very rare. Sometimes they are »algal limestones« deposited on the algal mats. Among the samples analysed, the limestones with explicite sparitic cement, and those of compact packing and partly sorted detritus, are very rare. Such limestones have been deposited in a zone of high water energy. Poorly washed sparitic limestones, deposited in the regions of higher water energy, can also be observed; but no terrestrial influence has been found. The above mentioned properties of analysed limestones show that they have been deposited in quiet conditions on the flat bottom of a shallow and clean sea.

The temperature of the upper parts of the sea varies with the temperature changes in the lower atmosphere strata. Not one of the analysed samples of limestones or fossils indicates a deep water origin, where the temperature is lower. That makes the measured isotope-temperatures a good indicator for the Carboniferous and Permian climate.

MASS SPECTROMETRIC MEASUREMENTS

Isotopic composition of oxygen was determined indirectly by measuring the isotope composition of CO₂ which was prepared out of carbonates using 100% H₃PO₄ at the temperature of 25 ± 0.5°C. The apparatus used was a double collector mass spectrometer. The precision of the method is within ± 0.3‰. The results are related to the standard PDB-1 as follows

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_s - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{st}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{st}} \times 1000 \text{ [‰]}$$

where *s* is the sample and *st* is the standard (= Carrara marble).

THE DETERMINATION OF TEMPERATURE

Epstein & al. (1953) found out that ¹⁸O is related to the temperature of the carbonate precipitation:

$$t(^{\circ}\text{C}) = 16.5 - 4.3\delta + 0.14\delta^2$$

when the standard used is PDB-1, which was precipitating at 16.5°C.

In the table 1 the temperature variations determined by oxygen isotopes composition for 58 fossils and sediment samples are given. The samples are listed owing to their stratigraphic positions. The designations of samples represent at the same time the localities of samples on the topographic map. Table 1 gives also the isotopic temperatures and other important data such as: δ¹⁸O PDB-1' the location of the sample, and paleontological as well as sedimentologic determination of each sample. The isotope temperatures of carbonate samples are shown too in the diagrams and aswell. From these results the mean-temperature curve for Carboniferous and Permian periods are constructed (text-fig. 2).

THE ISOTOPE TEMPERATURE VARIATIONS AS INDICATOR OF SEDIMENTATION AND PALEOECOLOGICAL CONDITIONS

The paleotemperature data obtained by the oxygen isotope method for some parts of Upper Paleozoic period show wide temperature ranges both in limestones and in benthic fossils. These differences are partly caused by the so-called pelagic rain in limestones (see p. 185). The widely varying temperature ranges within chronostratigraphic units the analysed samples have been assigned to (e.g., Middle Permian) are caused also by climatic variations which certainly occurred during the duration of these periods. That is to say, the analysed samples derive from different levels within the broadly conceived stratigraphic units and a more precise grouping of samples, i.e. into more restricted stratigraphic units, proved impossible, because it is impossible to determine the exact stratigraphic position of the analysed samples. This is particularly evident when large areas are taken into consideration. Further on, seasonal temperature changes and local anomalies (cold water streams, etc.) have also to be taken into account. Therefore the mean isotopic temperature differs somewhat from the real temperature of the warm surface water to which the temperatures of lower parts of atmosphere can be correlated. But in spite of that the mean temperatures represent very well the temperature oscillations in the Upper Paleozoic, as well as general temperature relations in this period.

Lower Carboniferous

Only one sample from the Lower Carboniferous was analysed. The measured temperature of 20.6°C indicates a relatively, warm climate but one single item of information is not sufficient for further interpretation of the climatic conditions in this period.

Middle Carboniferous

The mean temperature of 15 analysed samples is 28.5°C. This is the highest marine temperature of the Upper Paleozoic and is characteristic of tropical seas.

Isotopic temperatures for many of the measured samples are over 30°C, they obviously originate from the upper part of very warm shallow water of the tropical regions in the hot season. These extremely high temperatures of the Middle Carboniferous are also consistent with classic climatic indicators such as primaeval fern forests in Middle and Western Europe. Such forests grew only in very humid climate. In the investigated area of the Dinarides and the Alps there was a calm marine sedimentation basin with a low water energy, so fusulinids, brachiopods and in some parts green algae developed to a great extent. Because of water stagnancy, reductive conditions quite often occurred. Therefore the micritic limestones of the Middle Carboniferous are more or less bituminous.

Upper Carboniferous

Only 4 samples of the Upper Carboniferous were analysed. The mean isotopic temperature was 23°C. Because of the small number of samples analysed, this value can be considered only an approximation of the real temperature. The measured temperature of those four analysed samples which came from four separate locations are very different. Three of them (515, 526, 549) are within the limits of 21.2—32.4°C what can indicate regional climatic oscillations. On the other hand, the sample of a brachiopod (*Spirifer* sp., No. 546) shows a low isotope temperature of 9.7°C. This can be explained by the fact that brachiopods live in deeper water.

Lower Permian

The Lower Permian is presented with 5 samples which give a mean temperature of 23.6°C and therefore indicate subtropical, to tropical conditions in this period of the Permian.

Middle Permian

A relatively great number of investigated samples gives us the possibility of more precise conclusions about climatic conditions in this period. The mean temperature of 21 measured samples was 21.3°C, which was a little lower compared to the other parts of the Upper Paleozoic.

Micritic limestones usually give a little higher temperature than fossil samples (brachiopods, gastropods) of the same horizons. This can be explained by the presence of various planktonic organisms which enter the sublittoral limestones in the form of »pelagic rain« coming from the upper, very insolated and hot, water level. The benthic fossils (brachiopods and gastropods) give lower temperatures and so indicate the depth of their living area.

In the Middle Permian there was an arid climate in the continental regions which is indicated by the red beds of the »Gröden« type in the Alpine-Dinaric basin.

Upper Permian

The sea temperature in the Upper Permian was higher than in the Lower and Middle Permian. The mean temperature of 25.7°C indicates tropical sea. Corals (*Waagenophyllum*) grew in some districts of this warm sea. Taking into account other indicators, the climate was extremely dry, of an arid type (see the next chapter).

PROBLEM OF EVAPORITIC SEDIMENTATION

The various opinions about the stratigraphic position of evaporitic sediments in the Dinarids is primarily caused by different interpretations, of the position of the evaporites. The old opinion that evaporites belong to the Upper Permian and the Lower Triassic was lately supported by some new sedimentological and paleontological evidence (Ivanović & al. 1971).

Sometimes defenders of the Permo-Triassic origin of the evaporites declared them of diapiric origin (Fritz 1973, Herak 1975). Another group of scientists thinks on the contrary that evaporites (gypsum) in the river Una valley belong to the Upper Malmian and Lower Cretaceous, while the anhydrite in deep boreholes (Ravni Kotari, Dugi Otok, Ugljan, Vis) belongs to the Lower Cretaceous (Sušnjari & al. 1965, Sušnjari 1967). Miljuš (1974) and Chorovicz (1974) are of the same opinion. Owing to such opinions one can make the conclusion that in the periods of the Upper Malmian and Lower Cretaceous the mentioned districts of the Dinarids had all the necessary conditions for evaporitic sedimentation.

The paleotemperature analysis, run by oxygen isotope method which are presented here, can contribute to the solution of this problem if combined with other climatic parameters.

The Middle Carboniferous climate in the Dinarids and Alps regions was extremely hot. There was a tropical sea with the mean temperature of about 28.5°C. The Upper Carboniferous mean temperature was a little lower (23°C), which is characteristic of subtropical seas.

Because of the humid climate which was characteristic the Middle and Upper Carboniferous for a large part of Europe, primaeval fern forests grew in the Hercynid district; out of these, thick coal measures were formed (Schwarzbach, in Nairn 1961).

The Middle and Upper Carboniferous climate in the Dinaride-Alps district was humid as well. The fact that clastic »red beds« are completely missing in this period speaks in favor of such a statement. Besides, remains of tropic ferns (*Sigillaria*, *Calamites*, *Lepidodendron* etc.) can be found in some places in the clastic layers of this district.

If we take into account all the data mentioned above, we come to the conclusion, that in the Carboniferous in the Dinarids-Alps district there were no suitable conditions for evaporitic sedimentation because of the humid tropical climate.

In the Permian the climate had changed. The temperature of the sea and of the air remained high (21.3—25.7°), as characteristic for subtropical zones. On the contrary, the humidity decreased very rapidly, so that a warm arid climate spread nearly all over Europe; this being extremely dry in Zechstein of Europe, where rich salt deposits can be found (Schwarzbach, in Nairn 1961). The Dinarides-Alps climate was dry as well, so conditions for strong evaporation were given. This is confirmed by the red beds of the »Gröden« type in the districts of Slovenia, the Carnian Alps, Velebit, Lika, Gorski Kotar (Ščavničar & Šušnjara 1967) and in some other places in the Dinarids. Parts of red clastic layers, together with the gypsum, in the district of Dalmatinska Zagora (Sinj, Vrlika, Petrovo polje and Kosovo polje) also belong to the Upper Permian (Ivanović et al. 1971, Herak 1973).

This shows that the extremely hot and dry (arid) Permian climate made the sedimentation of evaporites in the Dinarids possible. Evaporitic sediments occur often together with Permo-Triassic red clastic layers. Contrary to that, evaporites in the Jurassic and Cretaceous carbonate deposits in the Dinarids are not in their original place; they have been moved into these layers by diapiric and tectonic processes (Polšak & Leskovšek 1975).

REGIONAL PALEOCLIMATIC INTERPRETATION AS CONNECTED WITH POSITION OF POLES AND THE CONTINENTAL DRIFT

Temperatures as determined by an oxygen isotope method show that climatic zones in the Upper Paleozoic are completely different from those nowadays. There is strong evidence pointing to different positions of continents in these periods, caused by the continental drift and by changes in the position of Earth poles.

Nowadays the geographic position of the Dinarids and Slovenian Alps (42°—47° north latitude) is approximately equivalent to mean year isotherm of 15°C (according to Gellert 1955, Hoffman 1955, Heyer 1963).

The 28°C isotherm, which is a characteristic temperature for the Middle Carboniferous in the Dinarids and the Alps, is today in the equator zone, that is, the district of hot tropical climate. According to it, we can make the conclusion that in the Carboniferous the present district of the Dinarids and the Alps was situated approximately 45° to the south, that means in the equator zone. This statement, which is made according to paleotemperature data, is in agreement with results that were obtained by studies of paleomagnetic poles positions during geological time. According to Runcorn 1956 (in Nairn 1961), the position of paleomagnetic poles in the Carboniferous was shifted for approximately 40°—45° compared to the position they occupy now. According to the paleogeographic reconstruction (Creer 1973), the Tethys geosyncline was in the equator zone at that time.

Similar regional temperature changes took place in the Permian. This was extremely obvious in the Upper Permian, when the mean sea-temperature in the Dinarids-Alps district was a little lower than 26°C. Such a temperature is characteristic of tropical seas near to the equator (10°—15° of geographic latitude). A hot arid zone spread from Dinarids-Alps district to the North of Germany (over more than 50° north latitude). The famous salt layers of Zechstein are a proof of this. The Permian salt layers in the United States have the same origin. The shift of climatic zones in the Permian, as proved by isotope-paleotemperatures, was caused by continental drift and is consistent with data about positions of paleomagnetic poles in the Permian. According to Runcorn (in Nairn 1961) the poles have shifted in the Permian by more than 40° compared to their present position. Paleogeographic reconstruction (Creer 1973) shows that in the Upper Permian, the present district of the Dinarids, which formed a part of Tethys geosyncline, belonged to the equator zone (Text-fig. 5). Important measurements of paleo-

temperatures in the Upper Paleozoic were made in Australian Permian sediments. In any case, the measurements of fossiliferous marine parts (Sakmarian period) in glacial sediments (tillites) of the so-called Carnavon Basin (Lyons Group) are the most important. *Camston* (1960) determined a temperature of 6.5° by analysing a spiriferid brachiopod, while *Lowenstam* (1964) got the value of 7.7°C using another brachiopod from the same layers. Today the temperature of the sea on the west coast of Australia is 23—24°C. The low temperature determined shows that in the Lower Permian Australia was a part of polar region, which is evidence that the continental drift was very intensive.

Received 10 March 1977.

