

MORSKA RAZINA U HOLOCENU I MLADEM DIJELU WÜRMA

TOMISLAV SEGOTA

Postavljanje problematike. Jedan od brojnih problema prirode naše Zemlje u kvartaru su fluktuacije morske razine. Silna kompleksnost kvartara i fragmentarnost podataka glavni su uzroci da se rješavanju ovih problema mora prilaziti s krajnjom oprežnošću i samo na temelju već provjerenih, tj. utvrđenih činjenica. Iz ovakve prirode spomenutih procesa nužno proizlazi i metodologija rada; mora se polaziti od izvjesnih pretpostavki, jer se često neki faktori ne mogu precizno definirati, ili se ne mogu odvojiti od ostalih parametara. U ovom radu pošli smo od slijedećih pretpostavki, ili pak od već definitivno utvrđenih činjenica.

Prvo, fluktuacije morske razine su univerzalan, svjetski proces, pa se podaci iz svih dijelova svijeta mogu koristiti bilo gdje, jasno uz određena ograničenja.

Drugo, kvartarne fluktuacije morske razine, to znači i holocensko i kasnovirmsko izdizanje razine mora, su prije svega u neposrednoj genetskoj vezi s promjenama volumena leda na Zemlji; one su najvećim dijelom glacioeustatičke prirode. Eventualni utjecaj nekih drugih faktora danas je jedva moguće posebno izdvojiti (mi smo to ovdje pokušali s tonjenjem delte Mississippija).

Treće, izdizanje morske razine u holocenu i mlađem dijelu Würma je bilo tako intenzivno, tj. naglo, da većina autoriteta smatra da izdizanje ili spuštanje većih dijelova kopna kao cjeline (npr. obala Jugoslavije) u istom razdoblju jedva dolazi u obzir prilikom korekture izdizanja razine mora, tj. tektonsko izdizanje ili spuštanje velikih dijelova kopna može se (odnosno, mora se jer malo znamo o tome) zanemariti pri promatranju vrlo naglog izdizanja morske razine u holocenu i mlađem Würmu.

Četvrto, sa glacioeustatičkim izdizanjem morske razine u holocenu i mlađem Würmu po intenzitetu se može usporediti samo glacioizostatičko izdizanje centralnih dijelova kopna koja su u Würmu bila prekrivena ledenim pokrovima (sjeverni dio Sjeverne Amerike, unutrašnjost Skandinavije). To je razlog da sam — suprotno nekim radovima inače priznatih autoriteta — koristio samo podatke iz krajeva za koje postoje dokazi ili pretpostavke da nisu bili jače relativno pomrcani bilo kojim od spomenutih pro-

cesa, barem ne u mladoj prošlosti, tj. za izračunavanje relativno mlađeg izdizanja morske razine nisu korišteni podaci iz Skandinavije i Sjeverne Amerike sjevernije od obale savezne države Massachusetts. Radiokarbonski podaci iz saveznih država New Jersey, New York, Connecticut i Massachusetts unijeti su naknadno, jer se pokazalo da se odlično slažu s krivuljom izdizanja morske razine koja je prije toga izračunata na temelju podataka iz ostalog svijeta (ali bez podataka iz delte Mississippija). Da je to opravdano vidi se i po tome što se lokaliteti iz kojih potječu spomenuti radiokarbonski uzorci nalaze u neposrednoj blizini nulte izobaze, tj. linije koja povezuje mjesta na rubu nekadašnjeg sjeveroameričkog ledenog pokrova u kojima je došlo do glaciozostatičkog izdizanja u novije doba (R. F. Flint 1957).

Peto, poznata je činjenica da su delte nestabilna područja; međutim, kada se radi samo o holocenu i mlađem Würmu čini se da osim lokalnog, ali vrlo intenzivnog, tektonskog spuštanja treba imati na umu činjenicu da postoji komprimiranje sedimenata, a to pridonosi kompliciranju parametara s kojima radimo. Danas još nije moguće posebno izračunati koliki dio spuštanja otpada na kompresiju rahlog riječnog materijala, a koliko na tektonsko spuštanje. To je razlog da — za razliku od nekih autora — kod izračunavanja najmlađeg izdizanja razine mora nisu uzeti u obzir inače brojni podaci iz delte Mississippija i Rajne.

Šesto, postoje mišljenja da je izdizanje morske razine u holocenu i mlađem Würmu djelomično posljedica i termičke ekspanzije vode u svjetskom oceanu (posljedica povišenja temperature morske vode), odnosno isto tako da je odraz i izostatičke kompenzacije kao posljedice povećanog pritiska goleme mase vode na morsko dno nakon »vraćanja« vode ponovno u svjetsko more. Budući da se o ovim veličinama ne može baš ništa pouzdanije i konkretnije reći, one nisu uzete u obzir u našem proračunu.

Sedmo, važna je činjenica da je već objavljen čitav niz krivulja koje prikazuju izdizanje razine mora u holocenu ili čak i mlađem Würmu. Iako postoje izvjesna razilaženja (ona nisu suštinska!), sve one pokazuju neke zajedničke osobine, odnosno čine osnovu za prvu, grubu ocjenu tačnosti nekog novog podatka (npr. radiokarbonskog uzorka), tj. služe kao pouzdan korektiv. Na osnovu toga u ovom radu nisu uzeti u obzir neki sumnjivi radiokarbonski uzorci (iako potječu iz tektonski stabilnih područja), ako pretjerano odudaraju od većine pouzdanijih radiokarbonskih uzoraka, ili nekih drugih provjerenih pokazatelja.

I konačno, osmo, matematička obrada empiričkih tačaka (radiokarbonski uzorci) ni u kom slučaju ne rješava problem do kraja; to proizlazi iz činjenice da ne postoji matematička metoda pomoću koje bi se iz zadanih empiričkih tačaka izračunavala krivulja koja bi ih savršeno reprezentirala (tim više što se i vrijednosti empiričkih tačaka znatno razilaze). Zato se mora raditi obratno; trebamo sami izabrati tip krivulje za koju smatramo da će se najbolje prilagoditi empiričkim tačkama. Ova je objektivna me-

toda ipak doprinos budućem rješenju ovog problema; međutim, rezultati koji će koristiti još veći broj strogo selekcioniranih radiokarbonskih podataka vjerojatno neće bitno izmijeniti sadašnju sliku ovog procesa.

Ukratko, prema sadašnjem stanju istraživanja, holocensko i kasno-virmsko izdizanje morske razine prije svega je posljedica povećanja volumena svjetskog mora, odnosno otapanja golemih masa kopnenog leda. Svi su ostali faktori (u najvećem dijelu svijeta) ili neznatni ili nepoznati. To olakšava posao jer je važna samo veličina i mehanizam glacioeustatičkog procesa, a relativni udio pojedinih parametara važan je samo kod istraživanja geneze cijelog procesa, a to nije svrha ovog rada.

Morska razina u holocenu i mlađem Würmu

Morska razina u holocenu. Da bi se odredio položaj razine mora u raznim dijelovima holocena koristit ćemo se nizom od 147 radiokarbonskih uzoraka iz cijelog svijeta; koordinate x označuju starost (usvojen je termin »prije sadašnjosti«, što zapravo znači prije 1950. god. koja je uzeta kao početna godina za datiranje radiokarbonskih uzoraka), odnosno koordinate y označuju dubinu iz koje je uzet stanoviti uzorak, a za koji se pretpostavlja da je sedimentiran (da je rastao ili živio) na razini koja približno odgovara visini mora u dotičnom vremenu. Budući da su mogućnosti kontaminacije i drugih faktora koji dovode do deformacije stvarnih veličina praktički vrlo velike, ne postoji apsolutna garancija da su starost, a dobrim dijelom i stvaran odnos nekog radiokarbonskog uzorka prema ondašnjoj morskoj razini, — tačni. Tako se dolazi do zaključka da ove podatke treba promatrati statički, tj. treba uzeti što veći broj radiokarbonskih uzoraka (empiričkih tačaka), odnosno nastojati da se izabere krivulja koja će se najbolje prilagoditi empiričkim tačkama.

U radovima ovakve vrste običaj je da se citiraju svi podaci o radiokarbonskim uzorcima (šifra uzorka, dubina, starost, lokalitet, njegova priroda i određivač starosti); budući da je u ovom radu obrađen velik broj uzoraka, navođenje svega toga bi zauzelo previše prostora. Zato ćemo se ograničiti samo na geografsku raspodjelu radiokarbonskih uzoraka. (Da bi krivulja bila što bliže stvarnosti, tj. da bi bila što tačnija u kritičnom periodu, na prijelazu iz Würma u holocen, uzeli smo nekoliko radiokarbonskih uzoraka starijih od 10 000 godina).

Najviše radiokarbonskih uzoraka potječe s raznih obala Sjeverne Amerike. Sjeverna Karolina: I—1576, I—1577, I—1578, I—1579 (A. C. Redfield 1967). Šelf pred sjeveroistočnom obalom SAD: W—1400, W—1401, W—1402, W—1403 (A. S. Merrill et al. 1965), W—1491, W—2013, S—186, S—210 (K. O. Emery, L. E. Garrison 1967). Massachusetts: W—570, W—582, W—584, W—586, W—639, W—675, W—676, W—970, W—971, W—973, W—1092, W—1093, W—1094, W—1095, W—1096, —1098, W—1099 (M. Rubin, C. Alexander 1960),

C—417, C—418 (*W. Libby* 1955), 3 uzorka bez šifre (*cit. A. C. Redfield, M. Rubin* 1962), W—1451, W—1452, W—1453, I—1441, I—1442, I—1967, I—1968, I—2216, I—2217 (*A. C. Redfield* 1967). Connecticut: Y—1054, Y—1055, Y—1056, Y—1057, Y—1058, Y—1074, Y—1077, Y—1175, Y—1176, Y—1177, Y—1179 (*A. L. Bloom, M. Stuiver* 1963), Y—840, Y—855 (*M. Stuiver, E. S. Deevey* 1961), W—1082 (*J. E. Upson et al.* 1964), C—114 (*J. Arnold, W. F. Libby* 1951) i W—945 (*P. C. Ives et al.* 1964). New Jersey: Y—1131, Y—1281, Y—1282, Y—1283, Y—1284 (*M. Stuiver, J. Daddario* 1963). Virginia: ML—191, ML—192, ML—193, ML—194 (*W. S. Newman, G. A. Rusnak* 1965), ML—89, ML—90 (*J. G. Östlund et al.* 1965), ML—153, ML—195, ML—196 (*W. Harrison et al.* 1965). New York: L—562, L—617 (*E. A. Olson, W. S. Broecker* 1961), C—943 (*W. F. Libby* 1954), L—606A (*cit. A. C. Redfield, M. Rubin* 1962), L—863A, I—2076 (*A. C. Redfield* 1967). California: LJ—333, LJ—381, LJ—607, LJ—912, LJ—918, LJ—919 (*C. L. Hubbs et al.* 1965). Texas: W—228, W—229 (*M. Rubin, H. Suess* 1956). Florida: FSU—33 (*J. J. Stipp et al.* 1966). Havaji: LJ—753 (*C. L. Hubbs et al.* 1965).

Sa obala Britanije su: Q—134, Q—181 (*H. Godwin, E. H. Willis* 1959), Q—31, Q—265, Q—401 (*H. Godwin, E. H. Willis* 1961), Q—663 (*H. Godwin, E. H. Willis* 1964), Q—790, Q—791, Q—792, Q—793, Q—810, Q—811 (*H. Godwin et al.* 1965). Sa dna Sjevernog mora je Q—105 (*H. Godwin, E. H. Willis* 1959).

Sa Bahamskih otoka i Bermude su uzorci: LJ—228, LJ—229, LJ—230 (*C. L. Hubbs et al.* 1962), PIC—15, PIC—16 (*S. J. Kowalski, A. G. Schrodt* 1966), L—366B, L—366I (*W. S. Broecker, J. L. Kulp* 1957), L—111A (*J. L. Kulp* 1952), L—140B (*J. L. Kulp et al.* 1952), ML—186, I—1683, I—1684, I—1685, I—1689, I—1762, I—1763, I—1764, I—1765, I—1969, I—1971, I—1972, I—1973, I—1974, I—1975, I—1976 (*A. C. Redfield* 1967).

Iz Australije i Novog Zelanda su radiokarbonski uzorci: NZ—118, NZ—119, NZ—127, NZ—274, NZ—275, NZ—276, NZ—281, NZ—282 (*T. L. Grant-Taylor, T. A. Rafter* 1963), V—32 (*A. Bermingham* 1966), W—95 (*H. Suess* 1954).

Još nekoliko radioaktivnih uzoraka potječe iz raznih dijelova svijeta. Meksiko: LJ—568A, LJ—568B (*C. L. Hubbs et al.* 1965) i O—45 (*H. R. Brannon et al.* 1957). Eniwetok: L—482A, L—482B i L—482C (*E. A. Olson, W. S. Broecker* 1961). Zaliv Paria: 86 i 536 (*H. De Vries, G. W. Barendsen* 1954). Perzijski zaliv: Q—278 (*H. Godwin, E. H. Willis* 1959). Britanska Gvajana: 1 uzorak bez posebne oznake (*T. van der Hammen, cit. K. O. Emery, L. E. Garrison* 1967).

Iz razmjesta radiokarbonskih uzoraka (sl. 1) vidi se da je najvjerojatniji analitički reprezentant kubna funkcija, odnosno parabola trećeg reda. Budući da se radi o kubnoj funkciji potrebno je odrediti četiri parametra a , b , c i d . Njih ćemo izračunati pomoću poznate C. P. Gauss-ove metode najmanjih kvadrata. U na-

šem slučaju treba da se niz od 147 tačaka (s koordinatama x_i , y_i) aproksimira odgovarajućim tačkama (x_i , Y_i) krivulje

$$Y = ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d. \quad (1)$$

Cijeli se račun svodi na slijedeće. Suma

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2 = \text{minimum},$$

gdje je y_i ordinata i -te empiričke tačke, a Y_i ordinata i -te tačke na krivulji (koja imade apscisu x_i). Odnosno, optimalne vrijednosti parametara a , b , c i d dobit ćemo iz uvjeta koji proizlazi iz same metode najmanjih kvadrata, tj.

$$\sum_{i=1}^n (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d - y_i)^2 = \text{minimum}.$$

Gornja je suma funkcija parametara a , b , c i d , ili simbolički

$$S(a, b, c, d) = \sum_{i=1}^n (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d - y_i)^2.$$

Ta funkcija imade minimum ako su sve četiri prve parcijalne derivacije po a , b , c i d jednake nuli, tj. ako ih razriješimo dobit ćemo ove četiri jednadžbe

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d - y_i) x_i^3 = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d - y_i) x_i^2 = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d - y_i) x_i = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial d} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d - y_i) = 0.$$

To su tzv. normalne jednačbe. Poslije potrebnog množenja i dijeljenja sa 2 dobije se

$$\sum_{i=1}^n (ax_i^6 + bx_i^5 + cx_i^4 + dx_i^3 - x_i^3 y_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (ax_i^5 + bx_i^4 + cx_i^3 + dx_i^2 - x_i^2 y_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (ax_i^4 + bx_i^3 + cx_i^2 + dx_i - x_i y_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d - y_i) = 0.$$

Članove koji sadrže y treba prebaciti na desnu stranu jednačbi. Osim toga, suma zbrojeva jednaka je zbrojevima suma

$$a \sum_{i=1}^n x_i^6 + b \sum_{i=1}^n x_i^5 + c \sum_{i=1}^n x_i^4 + d \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i^5 + b \sum_{i=1}^n x_i^4 + c \sum_{i=1}^n x_i^3 + d \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 + d \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i + nd = \sum_{i=1}^n y_i$$

Budući da naša parabola (koja prikazuje izdizanje morske razine u holocenu) mora prolaziti kroz ishodište koordinatnog sistema (jer je to današnji položaj svjetske morske razine), svi su članovi jednadžbi uz koeficijent d jednaki nuli, pa se gornji sistem svodi na slijedeće izraze

$$a \sum_{i=1}^n x_i^6 + b \sum_{i=1}^n x_i^5 + c \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i^5 + b \sum_{i=1}^n x_i^4 + c \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i$$

(2)

$$a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i$$

Za rješenje ovog sistema normalnih jednadžbi potrebno je prethodno izračunati sume koje predstavljaju koeficijente nepoznanica i slobodnih članova, a koje se obično (kad se radi s malim brojem empiričkih tačaka) prikazuju u obliku tabele. Taj numerički posao je u ovom slučaju (mnogo empiričkih tačaka) prilično

opsežan, pa tu glomaznu tabelu nije moguće donijeti u ovom radu. Navest ćemo samo konačne rezultate računanja:

$$\sum_{i=-1}^{147} x_i = -722,7; \quad \sum_{i=-1}^{147} y_i = -1\,517,6; \quad \sum_{i=-1}^{147} x_i y_i = 11\,921;$$

$$\sum_{i=-1}^{147} x_i^2 = 4\,814; \quad \sum_{i=-1}^{147} x_i^3 = -38\,351; \quad \sum_{i=-1}^{147} x_i^4 = 339\,235;$$

$$\sum_{i=-1}^{147} x_i^5 = -3\,196\,660; \quad \sum_{i=-1}^{147} x_i^6 = 31\,379\,729; \quad \sum_{i=-1}^{147} x_i^2 y_i = -105\,374;$$

$$\sum_{i=-1}^{147} x_i^3 y_i = 993\,525.$$

Supstitucijom gornjih vrijednosti jednadžbe (2) sada ovako izgledaju:

$$\begin{array}{r} 31\,379\,729 a - 3\,196\,660 b + 339\,235 c = 993\,525 \\ -3\,196\,660 a + 339\,235 b - 38\,351 c = -105\,374 \\ 339\,235 a - 38\,351 b + 4\,814 c = 11\,921 \\ -38\,351 a + 4\,814 b - 753 c = -1\,518. \end{array}$$

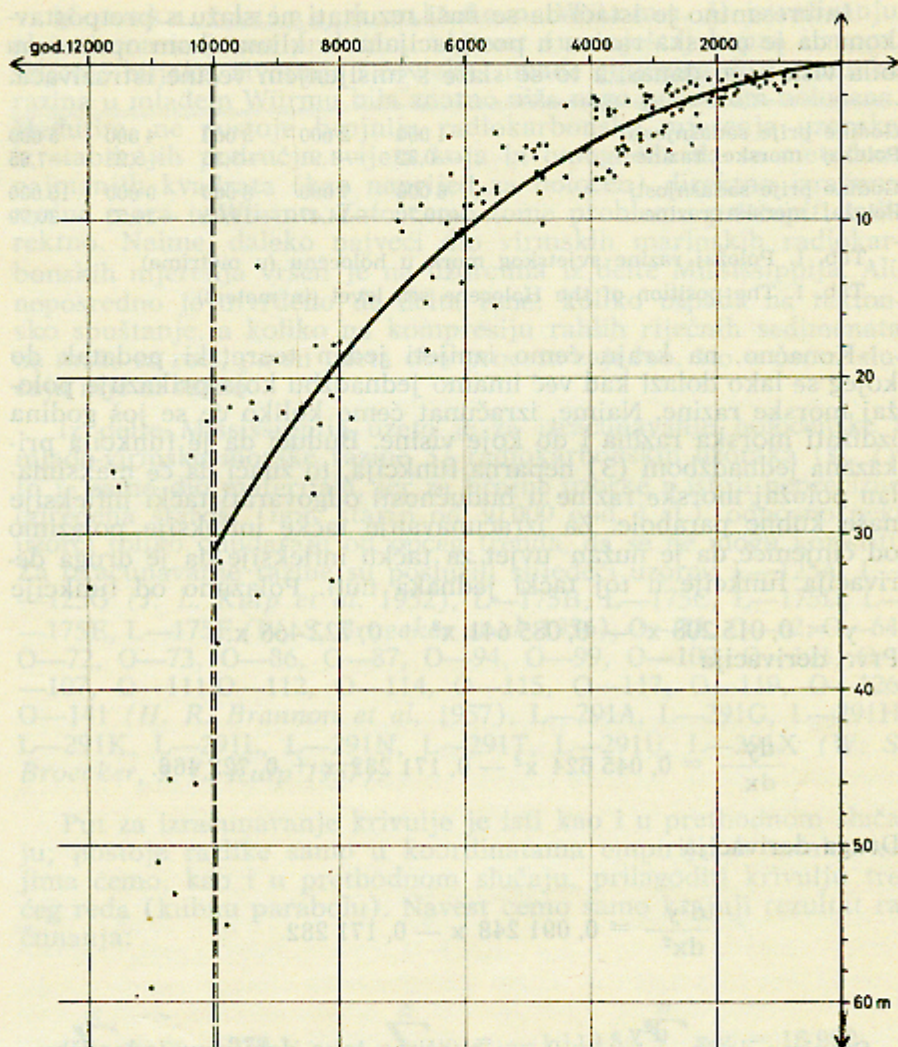
Imademo, dakle, sistem od 4 linearne jednadžbe sa 3 nepoznane, koje se jednostavno rješavaju. Konačan je rezultat

$$\begin{array}{l} a = 0,015\,208 \\ b = -0,085\,641 \\ c = 0,722\,466. \end{array}$$

Uvrštenjem ovih parametara u (1) dobiva se jednadžba naše parabole (odnosno jednadžba funkcije koja prikazuje izdizanje morske razine u holocenu: knivulja na sl. 1)

$$Y = 0,015\,208 x^3 - 0,085\,641 x^2 + 0,722\,466 x. \quad (3)$$

Ako u jednadžbu (3) redom uvrstimo vrijednosti za $x = -1, -2, \dots, -10$, tj. za 1 000, 2 000, ..., 10 000 god. prije sadašnjosti, dobiju se vrijednosti koje odgovaraju visini (odnosno dubini) morske razine u tim godinama (tab. 1).



Sl. 1. Razmještaj 147 radiokarbonskih uzoraka s morskog dna iz svih krajeva svijeta, te na osnovi toga izračunata krivulja koja prikazuje položaj razine svjetskog mora u holocenu

Fig. 1 The position of 147 radiocarbon samples from all over the world, and the curve (parabola) representing the Holocene sea level rise

U našem slučaju posebno je interesantna zadnja veličina; prije 10 000 godina, tj. na kraju posljednjeg glacijala Würma, ili na početku holocena, morska razina je bila 30,99 m (ili okruglo 31 m) niža od današnje.

Interesantno je istaći da se naši rezultati ne slažu s pretpostavkom da je morska razina u postglacijalnom klimatskom optimumu bila viša nego danas, a to se slaže s mišljenjem većine istraživača.

Godine prije sadašnjosti	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
Položaj morske razine	-0,82	-1,91	-3,35	-5,23	-7,65
Godine prije sadašnjosti	6 000	7 000	8 000	9 000	10 000
Položaj morske razine	-10,70	-14,47	-19,05	-24,53	-30,99

Tab. 1. Položaj razine svjetskog mora u holocenu (u metrima)

Tab. 1. The position of the Holocene sea level (in meters)

Konačno, na kraju ćemo iznijeti jedan teoretski podatak do kojeg se lako dolazi kad već imamo jednadžbu koja prikazuje položaj morske razine. Naime, izračunat ćemo koliko će se još godina izdizati morska razina i do koje visine. Budući da je funkcija prikazana jednadžbom (3) neparna funkcija, to znači da će maksimalan položaj morske razine u budućnosti odgovarati tački infleksije naše kubne parabole. Za izračunavanje tačke infleksije polazimo od činjenice da je nužan uvjet za tačku infleksije da je druga derivacija funkcije u toj tački jednaka nuli. Polazimo od funkcije

$$y = 0,015\,208\,x^3 - 0,085\,641\,x^2 + 0,722\,466\,x.$$

Prve derivacija

$$\frac{dy}{dx} = 0,045\,624\,x^2 - 0,171\,282\,x + 0,722\,466.$$

Druga derivacija

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 0,091\,248\,x - 0,171\,282.$$

Stavimo da je $\frac{d^2y}{dx^2} = 0$ i riješimo tako dobivenu jednadžbu

$$0,091\,248\,x - 0,171\,282 = 0$$

$$x = 1,9.$$

Prema tome, $x = 1,9$ je apscisa tačke infleksije. Njena se ordinata dobije uvrštenjem x u početnu jednadžbu. Tako dobijemo da je $y = 1,17$.

Ako su pretpostavke od kojih smo pošli tačne, onda možemo zaključiti da će se morska razina izdizati još 1 900 godina, a izdići će se do maksimuma još 1,17 m.

Morska razina u mladem Würmu. U istraživanju pleistocena izvjesnu praktičnu važnost (razmjestaj kopna i mora, seljenje biljaka, životinja i čovjeka) imade činjenica da je morska razina u mladem Würmu bila znatno niža nego početkom holocena. Međutim, ne postoje brojnija radiokarbonska mjerenja uzoraka iz stabilnijih područja svijeta koja bi omogućila da se metodom najmanjih kvadrata (kao naprijed za holocen) direktno izračuna razina mora u Würmu. Zato ćemo tome problemu pristupiti indirektno. Naime, daleko najveći dio virmskih marinskih radiokarbonskih mjerenja vršen je na uzorcima iz delte Mississippija. Ali, neposredno je utvrđeno da delta tone; koliko otpada na tektonsko spuštanje, a koliko na kompresiju rahlih riječnih sedimenata ne može se reći, pa su uzeta oba procesa zajedno, što u ovom slučaju nije ni važno.

Iz delte Mississippija uzeto je za izračunavanje holocenske i mlado-virmske morske razine 37 radiokarbonskih uzoraka (sl. 2); to je samo dio materijala, jer za brojne uzorke postoji neprecizno određena starost (npr. stariji od 30 000 god. i sl.), odnosno neki uzorci toliko odudaraju od općeg trenda, da se ne mogu koristiti. Za izračunavanje razine su poslužili slijedeći uzorci: L—125A, L—125G (*J. L. Kulp et al.* 1952), L—175B, L—175C, L—175D, L—175E, L—175F (*W. S. Broecker et al.* 1956), O—7A, O—62, O—64, O—72, O—73, O—86, O—87, O—94, O—99, O—100, O—101, O—107, O—111, O—112, O—114, O—115, O—117, O—119, O—126, O—141 (*H. R. Brannon et al.* 1957), L—291A, L—291G, L—291H, L—291K, L—291L, L—291N, L—291T, L—291U, L—291X (*W. S. Broecker, J. L. Kulp* 1957).

Put za izračunavanje krivulje je isti kao i u prethodnom slučaju; postoje razlike samo u koordinatama empirijskih tačaka kojima ćemo, kao i u prethodnom slučaju, prilagoditi krivulju trećeg reda (kubnu parabolu). Navest ćemo samo krajnji rezultat računanja:

$$\sum_{i=1}^{37} x_i = -279,1; \quad \sum_{i=1}^{37} y_i = -1\,119,5; \quad \sum_{i=1}^{37} x_i y_i = 16\,992;$$

$$\sum_{i=1}^{37} x_i^2 = 3\,922; \quad \sum_{i=1}^{37} x_i^3 = -77\,278; \quad \sum_{i=1}^{37} x_i^4 = 1\,850\,703;$$

$$\sum_{i=1}^{37} x_i^5 = -49\,635\,174; \quad \sum_{i=1}^{37} x_i^6 = 1\,418\,882\,600.$$

$$\sum_{i=-1}^{37} x_i^2 y_i = -329\,761; \quad \sum_{i=-1}^{37} x_i^3 y_i = 7\,604\,287$$

Uvrštenje daje 4 linearne jednadžbe sa 3 nepoznanice

$$\begin{array}{r} 1\,418\,882\,600 a - 49\,635\,174 b + 1\,850\,703 c = 7\,604\,287 \\ - 49\,635\,174 a + 1\,850\,703 b - 77\,278 c = -329\,761 \\ 1\,850\,703 a - 77\,278 b + 3\,922 c = 16\,992 \\ - 77\,278 a + 3\,922 b - 279 c = -1\,120 \end{array}$$

koje se jednostavno rješavaju. Rezultat je

$$\begin{array}{l} a = -0,012\,82 \\ b = -0,499\,30 \\ c = 0,544\,62. \end{array}$$

Uvrštenjem gornjih parametara u jednadžbu (1) dobiva se kubna parabola, odnosno funkcija koja prikazuje stanje morske razine u delti Mississippija u mlađem dijelu Würma i u holocenu (B na sl. 2)

$$Y = -0,012\,82 x^3 - 0,499\,30 x^2 + 0,544\,62 x.$$

Ako u ovu jednadžbu uvrstimo vrijednosti za $x = -1, -2, \dots, -33$, tj. vrijednosti za 1 000, 2 000, ..., 33 000 godina prije sadašnjosti, dobije se položaj morske razine u tim godinama (tab. 2, sl. 2).

Godine prije sadašnjosti	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
Položaj morske razine	-1,03	-2,98	-5,78	-9,35	-13,60	-18,47
Godine prije sadašnjosti		7 000	8 000	9 000	10 000	11 000
Položaj morske razine		-23,88	-29,75	-35,99	-42,56	-49,34
Godine prije sadašnjosti	12 000	13 000	14 000	15 000	16 000	17 000
Položaj morske razine	-56,28	-63,60	-70,31	-77,24	-84,02	-90,57
Godine prije sadašnjosti		18 000	19 000	20 000	21 000	22 000
Položaj morske razine		-96,81	-102,66	-108,05	-112,90	-117,14
Godine prije sadašnjosti	23 000	24 000	25 000	26 000	27 000	28 000
Položaj morske razine	-120,68	-123,44	-125,37	-126,36	-126,35	-125,28
Godine prije sadašnjosti		29 000	30 000	31 000	32 000	33 000
Položaj morske razine		-123,04	-119,57	-114,79	-108,63	-101,00

Tab. 2. Položaj morske razine (u metrima) u holocenu i mlađem Würmu prema podacima samo iz delte Mississippija

Tab. 2. The Holocene and the Late Würm position of the sea level (in meters) derived by the radiocarbon data from Mississippi delta

Velika debljina kvartarnih sedimenata u delti Mississippija vodi nas do zaključka da je tektonsko spuštanje cijele delte i kom-

presija gornjih rahlih sedimenata dugotrajan kvartarni proces koji nije ograničen samo na najnoviju njenu prošlost. Usprkos činjenici da je spuštanje delte Mississippija znatno kompliciranije nego što se nekada mislilo (jedni dijelovi tonu, drugi se izdižu!), te dugo-

Godine prije sadašnjosti	11 000	12 000	13 000	14 000	15 000	16 000
Položaj morske razine	-36,6	-42,4	-48,3	-54,1	-59,8	-65,5
Godine prije sadašnjosti				17 000	18 000	19 000
Položaj morske razine				-70,9	-76,0	-80,7
Godine prije sadašnjosti	20 000	21 000	22 000	23 000	24 000	25 000
Položaj morske razine	-84,9	-88,6	-91,7	-94,1	-95,7	-96,4
Godine prije sadašnjosti					26 000	27 000
Položaj morske razine					-96,3	-96,1

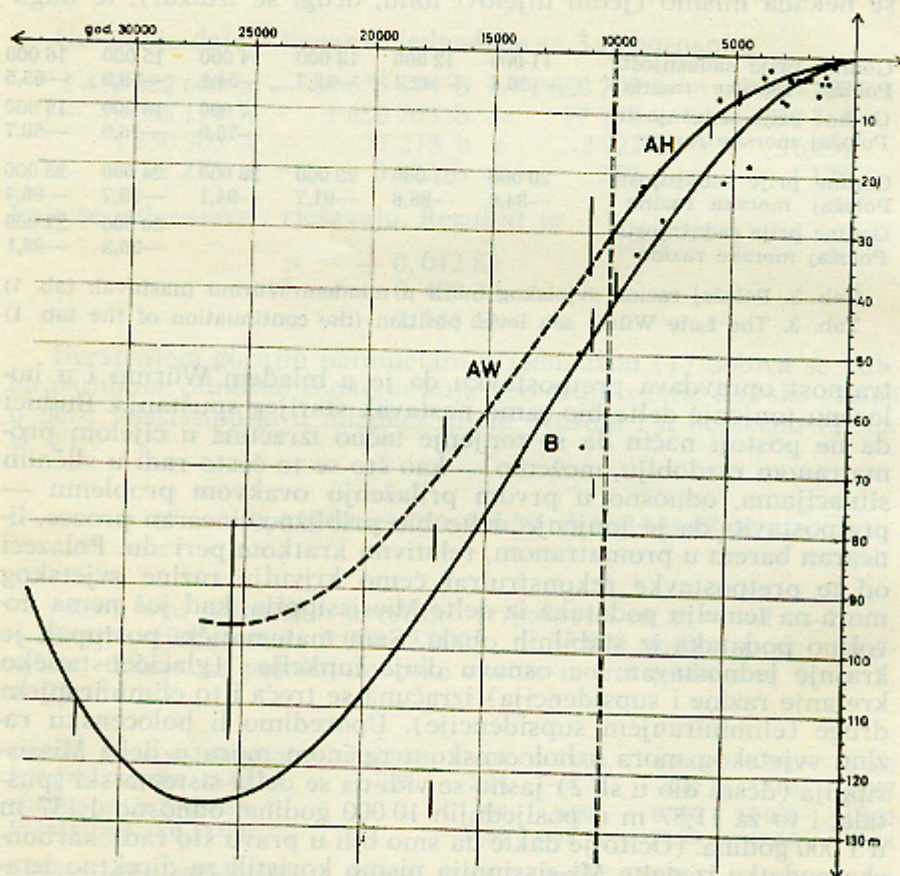
Tab. 3. Položaj razine svjetskog mora u mlađem Würmu (nastavak tab. 1)

Tab. 3. The Late Würm sea level position (the continuation of the tab. 1)

trajnost opravdava pretpostavku da je u mlađem Würmu i u holocenu tonjenje delte bio samo nastavak starijeg spuštanja. Budući da ne postoji način da se tonjenje tačno izračuna u cijelom promatranom razdoblju, možemo — kao što se to često radi u sličnim situacijama, odnosno u prvom prilaženju ovakvom problemu — pretpostaviti da je tonjenje delte bio približno linearan proces, linearan barem u promatranom, relativno kratkom periodu. Polazeći od te pretpostavke rekonstruirat ćemo krivulju razine svjetskog mora na temelju podataka iz delte Mississippija, kad još nema dovoljno podataka iz stabilnih obala. Sam matematički postupak je krajnje jednostavan; na osnovu dvije funkcije (glacioeustatičko kretanje razine i supsidencija) izračuna se treća i to eliminiranjem druge (eliminiranjem supsidencije). Uporedimo li holocensku razinu svjetskog mora s holocenskom razinom mora u delti Mississippija (desni dio u sl. 2) jasno se vidi da se delta sistematski spuštala, i to za 11,57 m u posljednjih 10 000 godina, odnosno 1,157 m u 1 000 godina. (Očito je dakle da smo bili u pravu što radiokarbonske podatke iz delte Mississippija nismo koristili za direktno izračunavanje položaja razine svjetskog mora u holocenu zajedno s podacima iz ostalog svijeta.) Ova veličina služit će nam za ekstrapolaciju razine svjetskog mora prije holocena, tj. svakoj ekvidistantnoj apscisi prije 10 000 godina na krivulji iz delte Mississippija oduzme se umnožak broja 1,157 s brojem godina koje nas interesiraju (svaka tisuća), tj. od »missisipijske« razine se eliminira utjecaj tonjenja. Tako se dobije niz tačaka (tab. 3) čijim povezivanjem se dobije krivulja koja prikazuje položaj svjetske morske razine u mlađem Würmu kao prethodnika holocenskom izdizanju razine (AW u sl. 2).

U istraživanju pleistocenske fluktuacije morske razine posebna pažnja se posvećuje položaju razine svjetskog mora u posljednjem glacijalu. Ako su naše pretpostavke od kojih smo pošli ispravne, onda smo računskim putem došli do slijedećeg zaključka:

u posljednjem glacijalu najniža razina svjetskog mora bila je na $-96,4$ m. Čini se da ovaj rezultat nije daleko od stvarnog stanja; većina suvremenih procjena varira između 80 i 120 m.



Sl. 2. Razmještaj 37 radiokarbonskih uzoraka iz delte Mississippija. B, položaj morske razine u holocenu i mlađem Würmu koji je izračunat na temelju 37 radiokarbonskih podataka samo iz delte Mississippija. AH, položaj morske razine u holocenu (prenijeto sa sl. 1). AW, položaj morske razine u mlađem Würmu, koji je izračunat iz krivulje B eliminiranjem utjecaja tonjenja delte Mississippija. AW + AH prikazuje položaj razine svjetskog mora u posljednjih 27 000 godina

Fig. 2. The position of 37 radiocarbon samples from Mississippi delta area. B, the position of the Holocene and the Late Würm sea level which is calculated solely by the data from Mississippi delta. AH, the Holocene sea level position (see fig. 1). AW, the Late Würm sea level position calculated from Mississippi radiocarbon data eliminating the effect of the delta subsidence. AW + AH, sea level position in the last 27 000 years

Za teoriju kvartarne glacijacije ne manju važnost imade i činjenica da je najniža razina mora bila prije najjačeg zhladenja u po-

sljedenjem glacijalu. Prema našem računu, *najniža razina mora u Würmu bila je prije 25 000 godina*, a nova istraživanja sve više pokazuju da je maksimum Würma (odnosno najniža temperatura) bila prije oko 20 000 godina. Prema tome, volumen leda u Würmu (odnosno visina morske razine) nije bio u jednostavnom odnosu prema temperaturi; postojalo je »zakašnjenje u fazi« kao logična posljedica najfundamentalnijeg zakona prirode — inercije, tj. asinhronosti razvoja uzroka i posljedice.

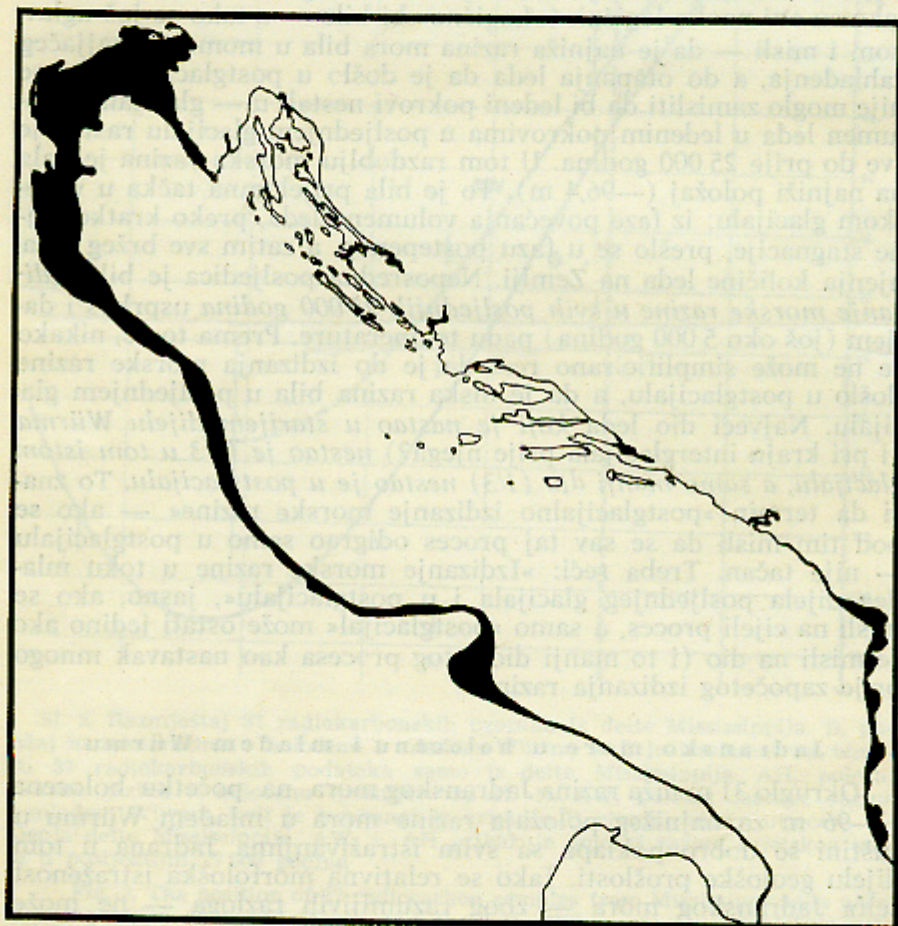
Prema tome, naši rezultati se u suštini slažu s nekim drugim novijim istraživanjima koja diktiraju da se izvjesni stavovi izmijene iako su oni naoko logični. (»Logično« bi bilo — a tako se još uglavnom i misli — da je najniža razina mora bila u momentu najjačeg zahlađenja, a do otapanja leda da je došlo u postglacijalu, jer se nije moglo zamisliti da bi ledeni pokrovi nestali u — glacijalu.) Volumen leda u ledenim pokrovima u posljednjem glacijalu rastao je sve do prije 25 000 godina. U tom razdoblju morska razina je pala na najniži položaj (—96,4 m). To je bila prijelomna tačka u virmskom glacijalu; iz faze povećanja volumena leda, preko kratkotrajne stagnacije, prešlo se u fazu postepenog, a zatim sve bržeg smanjenja količine leda na Zemlji. Neposredna posljedica je bilo *izdizanje morske razine u svih posljednjih 25 000 godina* usprkos i *daljem* (još oko 5 000 godina) padu temperature. Prema tome, nikako se ne može simplificirano reći da je do izdizanja morske razine došlo u postglacijalu, a da je niska razina bila u posljednjem glacijalu. Najveći dio leda koji je nastao u starijem dijelu Würma (i pri kraju interglacijala prije njega?) nestao je (2/3 u tom istom glacijalu, a samo manji dio (1/3) nestao je u postglacijalu. To znači da termin »postglacijalno izdizanje morske razine« — ako se pod tim misli da se sav taj proces odigrao samo u postglacijalu — nije tačan. Treba reći: »Izdizanje morske razine u toku mlađeg dijela posljednjeg glacijala i u postglacijalu«, jasno, ako se misli na cijeli proces, a samo »postglacijal« može ostati jedino ako se misli na dio (i to manji dio!) tog procesa kao nastavak mnogo prije započetog izdizanja razine.

Jadransko more u holocenu i mlađem Würmu

Okruglo 31 m niža razina Jadranskog mora na početku holocena i —96 m za najnižeg položaja razine mora u mlađem Würmu u suštini se dobro poklapa sa svim istraživanjima Jadrana u tom dijelu geološke prošlosti. Iako se relativna morfološka istraženost šelfa Jadranskog mora — zbog razumljivih razloga — ne može usporediti sa stupnjem sličnih istraživanja na kopnu, ipak postoje brojni i posve dovoljni marinskomorfološki i drugi dokazi o nižem položaju razine Jadranskog mora u holocenu i mlađem Würmu. Tu prije svega treba spomenuti klasičan rad A. Grunda (1907), njegovu rekonstrukciju toka Neretve za vrijeme niskog položaja razine Jadranskog mora (iako se danas ne bismo složili s njegovim datiranjem na str. 8: »Wir können daher das Trockenliegen

des Narentakanals bis in die letzte Interglazialzeit zurückverfolgen.« Niti s onim što slijedi: »Wenn nun der Meeresspiegel noch in postglazialer Zeit 90 m tiefer stand als heute...«. Spomenuta dubina (—90) odnosila bi se na najniže stanje morske razine u Würmu, a samo posljednja trećina izdizanja bi otpadala na holocen.

Manje dokaza ima za *J. Cvijićeve* (1924) stare potopljene obale na 45—50 i 65—66 m ispred vanjske obale Dugog otoka koje su



Sl. 3. Jadransko more na početku holocena, prije 10 000 godina; crna površina označuje današnje dno Jadranskog mora koje je prije 10 000 god. bilo kopno

Fig. 3. The Adriatic Sea at the beginning of the Holocene, 10 000 years ago. Black surface denotes the present sea bottom which was flooded in the Holocene

vjerojatno strukturnog postanka, tj. morska razina se prebrzo izdizala da bi mogle nastati tako široke abrazione terase.

O nižem položaju morske razine, odnosno povezanosti naših otoka s kopnom dokaz su i fosilni nalazi pleistocenskih vrsta koje su došle na otoke kad oni nisu bili odvojeni morem od kopna (B. Z. Milojević 1926, 1933, 1952).

Analiza batimetrijskih karata i iskustvo pokazuju da su pred našom obalom brojna podmorska vrela (vrulje) i da je dno posuto malenim depresijama; sve ukazuje da je dinarski primorski pojas sasvim ili djelomično potopljeni krš (J. Roglić 1949, 1958, 1967). To su pokazali i brojni ehogramski profili uz našu obalu (S. Alfirević 1956—57, 1958).

Detaljna istraživanja podmorskih vrela u Kaštelanskom zalivu (S. Alfirević 1957, 1961) pokazala su da su vrulje potopljene ponikve; budući da ponikve — kako se danas uzima — nisu mogle nastati u sredini koja je bila potopljena morem, uzima se da su one potopljeni fosilni oblici krškog paleoreljefa vezanih za kontinentsku fazu obalnog pojasa, odnosno šelfa.

Izvanredna razvedenost naše obale i njenog reljefa razlog je da kod nas postoje čak dva, inače u svijetu doista rijetka, dokaza o mlađem izdizanju morske razine. Jedno je potopljena Modra spilja na Biševu i, u tom pogledu mnogo bolje istražena, Medvjeda pećina na Lošinju (M. Malez, S. Božičević 1964). Tu je nađen *Ursus spelaeus* i brojni gastropodi i vertebrata sa susjednog kopna, a u starijem ulazu vide se potopljeni stalaktiti koji su nastali u kopnenoj fazi, odnosno glavni ulaz u spilju mogao se koristiti samo za vrijeme nižeg položaja morske razine nego što je danas.

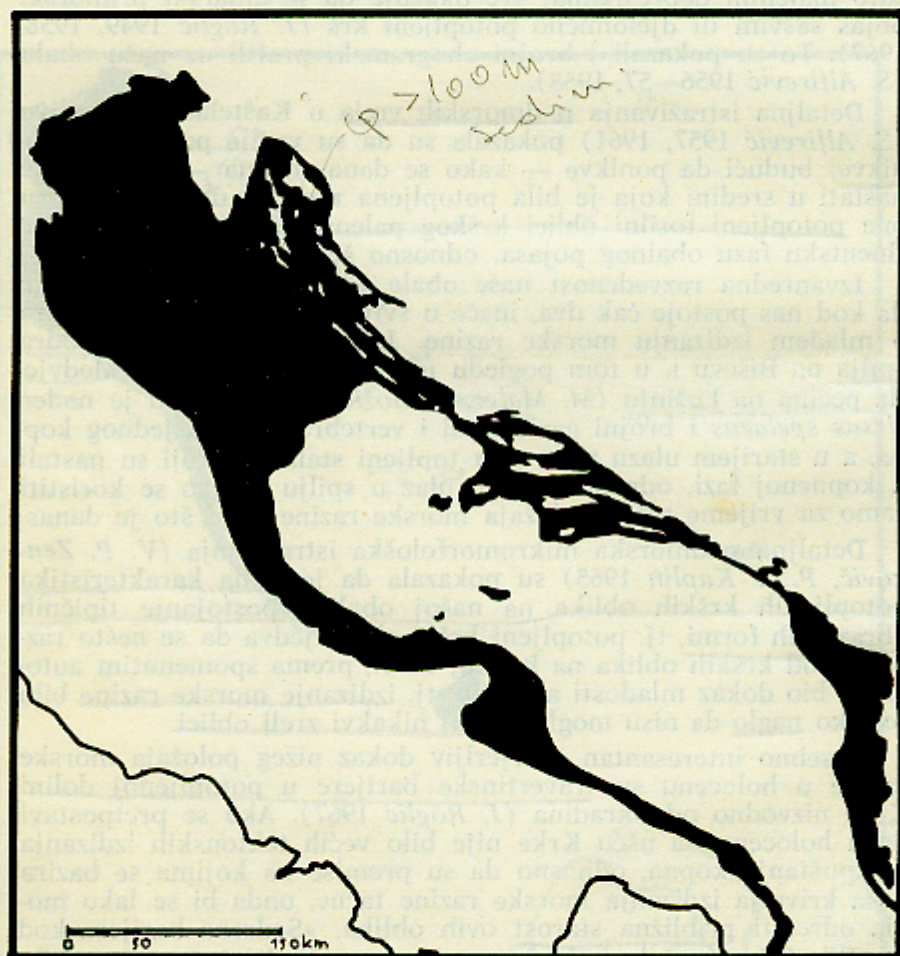
Detaljna podmorska mikromorfološka istraživanja (V. P. Zenkovič, P. A. Kaplin 1965) su pokazala da je bitna karakteristika potopljenih krških oblika na našoj obali nepostojanje tipičnih abrazionih formi, tj. potopljeni krški oblici jedva da se nešto razlikuju od krških oblika na kopnu; to bi, prema spomenutim autorima, bio dokaz mladosti abrazije, tj. izdizanje morske razine bilo je tako brzo da nisu mogli nastati nikakvi zreli oblici.

Posebno interesantan i uvjerljiv dokaz nižeg položaja morske razine u holocenu su travertinske barijere u potopljenoj dolini Krke nizvodno od Skrađina (J. Roglić 1967). Ako se pretpostavi da u holocenu na ušću Krke nije bilo većih tektonskih izdizanja ili spuštanja kopna, odnosno da su premise na kojima se bazira naša krivulja izdizanja morske razine tačne, onda bi se lako mogla odrediti približna starost ovih oblika. »Sedrena barijera kod rta Bila Stina nastala je kad je razina transgredirajućeg mora bila najmanje 14 m ispod današnje, što bi, prema ranijem ključu, bilo pred 9 000 godina«. (J. Roglić 1967, str. 45.)¹ Starost od 9 000

1. Tu je potrebno citirati i autorovu (J. R.) bilješku da je na Međunarodnom simpozijumu o problemima krša (1963) kazano kako je radiokarbonskom metodom u Svapskoj Juri utvrđeno da nema sedre starije od 8 000 godina.

god. dobivena je linearnom ekstrapolacijom na temelju današnjih mareografskih registracija, pa je razumljivo što *J. Roglić* (str. 44) smatra da je »razdoblje mareografskih opažanja nedovoljno za utvrđivanje srednjih vrijednosti. Ritam izdizanja morske razine je u prošlosti nesumnjivo bio brži...«

Sve se to potvrđuje i u ovom radu; prema mojem računu, morska razina se izdigla na — 14 m, tj. do baze sedrene barijere



Sl. 4. Jadransko more za vrijeme najnižeg položaja morske razine u posljednjem glacijalu (—96 m) 25 000 godina prije sadašnjosti. Crna površina označuje današnje dno Jadranskog mora koje je prije 25 000 god. bilo kopno

Fig. 4 The Adriatic Sea during the lowest position of the sea level (— 96 m) 25 000 years ago. Black surface denotes the present sea bottom which was flooded later during the sea level rise

kod rta Bila Stina, prije oko 6 900 godina kada je prekinut proces stvaranja sedre. To znači, spomenuta sedrena barijera je — prema našem računu — starija od 6 900 godina, tj. između početka holocena i 6 900-te godine postojalo je stanovito kraće razdoblje kada su sedreni procesi mogli izgraditi ovu barijeru. Ako su sedrotvorni uvjeti na Krki nastupili istovremeno kao i u Švapskoj Juri, tj. prije 8 000 god., onda je ova sedrena barijera bila nataložena u toku 1 100 god. (S obzirom na zacijelo povoljnije klimatske i fizičko-kemijske uvjete na Krki nego u Švapskoj Juri može se pretpostaviti da su sedrotvorni uvjeti uz Jadran nastali nešto prije nego u Švapskoj Juri, tj. ranije nego prije 8 000 god., pa bi i trajanje izgrađivanja barijera bilo nešto dulje od 1 100 god., ali sigurno ne mnogo više od kojeg stoljeća; to je kratko razdoblje, ali za sedrotvorne procese ipak mnogo znači.)

Naše datiranje je povoljno i za objašnjenje situacije u kanjonskoj sutjesci između Prokljanskog jezera i Zatona gdje nisu nađeni tragovi travertinskih barijera. »Iz dubinskih odnosa možemo dalje zaključiti, da sedrene barijere nisu formirane prije nego što je morski nivo dostigao oko 24 m ispod današnje razine, koliko iznosi najmanja dubina u Sutjesci između Prokljanskog jezera i Zatona«. (*J. Roglić 1967, str. 42*).

Prema mojem računu, morska se razina izdigla na —24 m prije oko 8 800 god., dakle neposredno poslije početka holocena, kada su se ekološki uvjeti vjerojatno tek približavali uvjetima koji su omogućili »hvatanje« i intenzivniji rast sedrotvoraca; međutim, naglo izdizanje morske razine (5,48 m od 9 000. do 8 000. god.) nije omogućilo započinjanje tog procesa, pa zato sedrenih barijera niti nema, niti ih treba tražiti ispod 24 m dubine.

Oba ova primjera pokazuju da se indirektnim putem može doći do zaključka da su uvjeti za postanak travertinskih barijera na Krki — odnosno u cijelom našem primorju — nastupili oko 8 000 — 8 500 god. prije sadašnjosti.

Sve je ovo u potpunom skladu s rezultatima do kojih se došlo istraživanjima na kopnu. *E. Brückner* (1912) je, čini se, bio među prvima koji je dao posve suvremeno objašnjenje o starosti travertinskih barijera u dolini rijeke Krke; za mlađe barijere smatra da su holocenske starosti (a starije pripadaju interglacijalima). To je kod nas potvrđeno kasnijom analizom flore sadržane u barijerama (*Z. Pavletić 1957, 1960*), jer relativne termovalencije vrsta koje pripadaju staništima jasno upućuju na holocenske temperature. Analogni uvjeti postojali su i u nekim drugim našim rijekama (za fosilnu floru travertinskih barijera iz okolice Titovih Užica to je utvrdio *D. Anić 1944*), a geomorfološka istraživanja upućuju na zaključak o sličnoj starosti travertinskih barijera u Plitvičkim jezerima (*J. Roglić 1951*).

U ovom radu nemamo namjeru detaljnije navoditi podatke o najnovijem izdizanju razine Jadranskog mora na temelju historijskih podataka (potopljene građevine) i mareografskih mjerenja, a posebno ne na temelju starije literature, što je već poz-

nato; spomenut ćemo samo neke radove. Osobita opreznost potrebna je kod ekstrapolacije na bazi mareografskih podataka iz posljednjih nekoliko decenija, jer radovi iz tog područja jasno pokazuju da neke kratkoperiodske promjene morske razine nisu glacioeustatičke prirode, a superpozicijom dviju ili više funkcija dobivena rezultirajuća krivulja može bitno deformirati cijeli proces. Usprkos tome, ekstrapolacija do 2 000 — 3 000 god. unazad — zbog nedostatka drugih metoda — može korisno poslužiti za rekonstrukciju stanja, odnosno za provjeru pretpostavki. Mareografski podaci za Jadran (*S. Polli* 1953 i 1954; *C. D'Ambrosi* 1959; *M. Kasumović* 1950; sistematski pregled: *M. Tešić* 1956—57), kao uostalom i iz drugih mora i oceana, jasno pokazuju određenu tendenciju izdizanja razine Jadranskog mora, kao dijela jednog općeg, svjetskog procesa. Ekstrapolacija mareografskih podataka kombinirana s istraživanjima nekih objekata iz rimske i grčke prošlosti međusobno se dobro slažu. *A. Gniers* (1908) je utvrdio da je prije 2 000 god. na obali Istre morska razina bila niža za 2 m. To se potpuno slaže s procjenom *F. Bulića* (1899), koji je do toga došao na osnovu poznatih nalaza potopljenih rimskih sarkofaga iz Vranjica, pa smatra da su, od vremena kada su postavljeni, potonuli za više od 1,75 m. Slično *C. D'Ambrosi* (1959) smatra da je u istom razdoblju razina mora u Trstu izdignuta za 2,2 m, a u Puli za 1,6 m. (Prema mojem računu prije 2 000 god. razina je bila na —1,9 m.)

Do istih rezultata došao je i *D. Hafemann* (1960; 1961) sistematskim istraživanjima u Sredozemlju, koji smatra da nema bitnih razlika između njegovih pojedinih dijelova; od propasti Rimskog carstva razina mora u Sredozemlju se izdigla za 1,7 — 2,2 m, ili pak za 2,5 — 2,8 m za 2 500 godina (2,6 m prema mojem računu).

Znatno veće vrijednosti do kojih se došlo u nekim dijelovima šireg područja delte Poa (*H. Dongus* 1963; *H. Lehmann* 1963) zajednička su posljedica izdizanja morske razine i istovremenog spuštanja kopna.

Iako ne tvrdimo da mlađih tektonskih izdizanja kopna (i morskog dna) u holocenu i mlađem Würmu na našoj obali nije bilo, kod rekonstrukcije općeg stanja — i u današnjoj fazi istraživanja — moramo zanemariti eventualne lokalne razlike, ili odstupanja uzrokovana tim procesima. To činimo prije svega zato što u ovom času nije moguće odvojiti eustatičke pokrete morske razine od vertikalnog kretanja samog kopna (tu razliku smo pokušali konstatirati u delti Mississippija). Potrebno je upozoriti na neke poznate slučajeve izuzetno naglog tonjenja kopna; sigurno nije slučajno da su to baš delte, npr. Mississippija, Rajne, Poa, ali to ne vrijedi za široka njihova područja; takvo je tonjenje ograničeno na relativno manje prostore. Slično tome, istraživanja na kopnu pokazala su da su neka vrlo intenzivna izdizanja prostorno jako ograničena (sistematski pregled *R. F. Flint* 1957). Zato smo uzeli da u našem, istočnom primorju Jadranskog mora u cjelini u ho-

locenu i mlađem Würmu nije došlo do bitnih vertikalnih kretanja kopna. Prisjetimo li se da je na granici posljednjeg glacijala i holocena, tj. prije 10 000 godina, morska razina bila na — 31 m, onda neće biti teško nacrtati onaj dio šelfa Jadranskog mora koji je na početku holocena bio kopno (sl. 3).

Polazeći od sličnih pretpostavki kao i prilikom rekonstrukcije obale Jadrana na početku holocena, nije teško rekonstruirati morskou obalu, odnosno razmještaj kopna i mora u času najnižeg položaja morske razine u posljednjem glacijalu: —96 m prije 25 000 godina (sl. 4). Geografske su promjene zaista bile temeljite. Prije svega pada u oči golema površina plitkog šelfa na sjeverozapadu koji je bio kopno, a isto tako povezanost naših otoka s kopnom.

Na kraju bi mogli reći nekoliko riječi o »tonjenju« naše obale, koje je prilično popularno u širim krugovima; ovdje ćemo samo konkretizirati na našem primjeru ono što smo o ovom mehanizmu rekli naprijed. Očito je da se radi o prilično kompliciranoj i ne uvijek zornoj interferenciji više funkcija koje određuju položaj razine svjetskog mora. U pleistocenu je nekoliko puta došlo do jakog i relativno vrlo naglog pada i izdizanja morske razine (amplituda oko 100 m) u vezi s razvojem i potpunim nestankom ledenih pokrova na sjevernoj hemisferi, odnosno pulziranjem antarktičkog i grenlandskog ledenog pokrova. U ovom članku prikazano holocensko i mlađe-virmsko izdizanje morske razine dio je takvog posljednjeg ciklusa, dio je koji se odnosi samo na porast morske razine do kojeg je došlo otapanjem golemih količina leda u toku mlađeg dijela posljednjeg glacijala i u holocenu. Prema tome, ako se izuzmu neki dijelovi svijeta koji su u Würmu bili pokriveni ledom, sve obale svijeta, pa tako i Jadranskog mora, potopljene su ovom posljednjom univerzalnom transgresijom mora.

Budući da je izdizanje morske razine relativan pojam, u izvjesnom smislu može se naoko opravdano uzeti da je u istom razdoblju kopno — potonulo. Tako bi se moglo reći da je naša obala (i daleko najveći dio drugih obala na svijetu) u holocenu i mlađem Würmu potonula. Međutim, da bi se izbjegla konfuzija kod većine koji ne mogu dublje ući u te probleme, a ipak su u njihovoj sferi, smatramo da je *bolje kazati da se morska razina diže (ili spušta), nego govoriti da obala tone (ili se izdiže)*. Naime, kad se kaže da nešto tone (npr. brod ili kopno) onda to znači da je razina mora (u odnosu na radius Zemlje) nepromijenjena, ista, a pomiče se (tone, ili se izdiže) objekt (brod ili kopno). Budući da su istraživanja definitivno pokazala da se radi o vrlo intenzivnom glacioeustatičkom izdizanju morske razine, *treba reći da je u mlađem Würmu i holocenu Jadransko more potopilo sve svoje obale, kako našu, istočnu, tako i talijansku, zapadnu* (jasno, ne svagdje jednako). U ovom smislu — odnosno u ovom razdoblju — *nema nikakve osnove tvrdnja da se talijanska obala izdiže, a naša obala da tone*. Istini odgovara samo činjenica da — ako baš treba tako reći — »tonemo i jedni i drugi«.

Da li naše kopno tone, a talijansko se izdiže u pravom smislu riječi, tj. da li tonemo ili se izdižemo u odnosu prema radiusu Zemlje, sasvim je drugi proces, kako po svojoj (geotektonskoj) prirodi, tako i po brzini (tj. sporosti). Ukoliko naša obala (kopno) doista tone, a talijanska se izdiže, onda su to u cjelini bitno sporiji procesi od promatranog glacioeustatičkog izdizanja morske razine. Osim toga, za ovaj proces zaista nema gotovo nikakvih zornih i lako mjerljivih veličina, jer ne znamo od koje bi se razine ti pokreti mjerili, nemamo »čvrstu tačku«; tu vrijede samo relativni odnosi. Do nesporazuma je došlo jedino zato što jedan dio talijanske obale, njen akumulacioni dio na sjeveru, raste prema pučini zbog nanošenja materijala Poa i alpskih pritoka, pa se taj proces pripisivao i ostalim dijelovima talijanske jadranske obale.

Literatura

- ALFIREVIĆ S.: Rezultati morfoloških i geoloških istraživanja marinskih sedimenata u srednjem Jadranu, Hidrografski godišnjak 1956—57, 163—189.
- ALFIREVIĆ S.: Marinsko-geološka istraživanja Jadrana, II kongres geologa Jugoslavije, Sarajevo 1957, 540—561.
- ALFIREVIĆ S.: Rezultati morfoloških i geoloških istraživanja marinskih sedimenata u južnom Jadranu, Hidrografski godišnjak 1958, 125—154.
- ALFIREVIĆ S.: Prilog poznavanju morfologije podmorskih vrela, Drugi jugoslavenski speleološki kongres 1958, Zagreb 1961, 59—66.
- ANIĆ D.: Fosilna flora travertina iz okoline Užica, Vjesnik Hrvatskog drž. geol. zavoda i Hrv. drž. geol. muzeja, sv. II/III 1944, 160—170.
- ARNOLD J. R., LIBBY W. F., Jr.: Radiocarbon Dates, Science 113, 1951, 111—120.
- BERMINGHAM A.: Victoria Natural Radiocarbon Measurements I, Radiocarbon 8, 1966, 507—521.
- BLOOM A. L., STUIVER M.: Submergence of the Connecticut Coast, Science 139, 1963, 332—4.
- BRANNON H. R. JR., SIMONS L. H., PERRY D., DAUGHTRY A. C., McFARLANE Jr.: Humble Oil Company Radiocarbon Dates II, Science 125, 1957, 919—923.
- BROECKER W. S., KULP J. L., TUČEK C. S.: Lamont Natural Radiocarbon Measurements III, Science 124, 1956, 154—165.
- BROECKER W. S., KULP J. L.: Lamont Natural Radiocarbon Measurements IV, Science 126, 1957, 1324—1334.
- BRÜCKNER E.: Die dritte Tarminfahrt S. M. S. »Najade« in der Hochsee der Adria von 16. August bis 5. September 1911, Mitt. der k.k. Geographischen Gesellschaft in Wien 55, 1912, 5—39.
- BULIĆ F.: Tre sarcofaghi romani nel villaggio di Vranjic (Urania?) sotto il livello del mare, Bull. di archeologia e storia dalmata XXII, 1899, 107—111.
- CVIJIC J.: Geografija I, Beograd 1924, 495.
- D'AMBROSI C.: Recenti misure mareografiche confermerebbero il persistere di tendenze epirogeniche in Istria, Boll. Soc. Adriatica di Scienze Nat. Trieste, 50, 1959, 9—25.
- DEVRIES H., BARENDSEN G. W.: Measurements of Age by the Carbon — 14 Technique, Nature 174, 154, 1138—1141.
- DONGUS H.: Die Entwicklung der östlichen Po-Ebene seit frühgeschichtlicher Zeit, Erdkunde 17, 205—222.
- EMERY K. O., GARRISON L. E.: Sea Levels 7000 to 20000 Years Ago, Science 127, 1967, 684—687.

- FLINT R. F.: *Glacial and Pleistocene Geology*, New York 1957, 250.
- GNIERS A.: Beobachtungen über den Fortschritt einer sekundären Niveauschwungung des Meeres während der letzten zwei Jahrtausende, *Mitt. der k.u.k. Geogr. Gesell. in Wien* 51, 1908, 1—56.
- GODWIN H., WILLIS E. H.: *Cambridge University Natural Radiocarbon Measurements I*, *Radiocarbon Supplement* 1, 1959, 63—75.
- GODWIN H., WILLIS E. H.: *Cambridge University Natural Radiocarbon Measurements III*, *Radiocarbon* 3, 1961, 60—76.
- GODWIN H., WILLIS E. H.: *Cambridge University Natural Radiocarbon Measurements VI*, *Radiocarbon* 6, 1964, 116—137.
- GODWIN H., WILLIS E. H., SWITSUR V. R.: *Cambridge University Natural Radiocarbon Measurements VII*, *Radiocarbon* 7, 1965, 205—212.
- GRANT — TAYLOR T. L., RAFTER T. A.: *New Zealand Natural Radiocarbon Measurements I—V*, *Radiocarbon* 5, 1963, 118—162.
- GRUND A.: Die Entstehung und Geschichte des Adriatischen Meeres, *Geogr. Jahresbericht aus Österreich VII*, 1907, 1—14.
- HAFEMANN D.: Die Frage des eustatischen Meeresspiegelanstiegs in historischer Zeit, *Deutscher Geographentag*, Berlin 1959, Wiesbaden 1960, 218—231.
- HAFEMANN D.: Art und Ausmass der Meeresspiegelanstieg in den letzten zweieinhalb Jahrtausenden, *Berichte zur Deutschen Landeskunde* 27, 1961, 229.
- HARRISON W., MALLOY R., RUSNAK G., TERASMAE J.: Possible Late Pleistocene Uplift of Chesapeake Bay Entrance, *J. of Geology* 73, 1965, 201—229.
- HUBBS C. L., BIEN G. S., SUESS H. E.: *La Jolla Natural Radiocarbon Measurements II*, *Radiocarbon* 4, 1962, 204—238.
- HUBBS C. L., BIEN G. S., SUESS H. E.: *La Jolla Natural Radiocarbon Measurements IV*, *Radiocarbon* 7, 1965, 86—117.
- IVES P. C., LEVIN B., ROBINSON R. D., RUBIN M.: *U. S. Geological Survey Radiocarbon Dates VII*, *Radiocarbon* 6, 1964, 37—76.
- KASUMOVIC M.: Srednja razina Jadranskog mora i geodetska normalna nula Trst, *Rad Geofizičkog zavoda u Zagrebu*, II serija, br. 3, 1950.
- KOWALSKI S. J., SCHRODT A. G.: *Packard Instrument Company Radiocarbon Dates II*, *Radiocarbon* 8, 1966, 386—389.
- KULP J. L.: The Carbon 14 Method of Age Determination, *Scientific Monthly* 75, 1952, 259—267.
- KULP J. L., TRYON L. E., ECKELMAN W. R., SNELL W. A.: *Lamont Natural Radiocarbon Measurements II*, *Science* 116, 1952, 409—414.
- KUŠČER I.: Kraški izviri ob morski obali, *Razprave Slovenske AZU*, A, III, 97—147.
- LEHMANN H.: Standortverlagerung und Funktionswandel der städtischen Zentren am Adriasaum der Poebene, *Mitt. der Österr. Geogr. Gesell.* 105, 1963, 3, 119—140.
- LIBBY W. F.: *Chicago Radiocarbon Dates V*, *Science* 120, 1954, 733—742.
- LIBBY W. F.: *Radiocarbon Dating*, Chicago 1955, str. 90.
- MALEZ M., BOŽIČEVIĆ S.: Medvjeda pečina (Bärenhöhle) auf der Insel Lošinj als ein Beweis für postwürmsche Transgression im nördlichen Teile des Adriatischen Meeres, *Bull. sci., Conseil des Academies de la RSF de Yougoslavie* t. 9, 4—5, 1964, 105—6.
- MERRILL A. S., EMERY K. O., RUBIN M.: Ancient Oyster Shells on the Atlantic Continental Shelf, *Science* 147, 1965, 398—400.
- MILOJEVIĆ B. Ž.: Dinarsko primorje i ostrva u našoj kraljevini, *SKA. posebna izdanja* 96, *prir. i mat. spisi* 25, 1933, str. 52.
- MILOJEVIĆ B. Ž.: Ostrvo Murter, *Glasnik Geografskog društva Beograd* 12, 1926, 65—74.
- MILOJEVIĆ B. Ž.: O reljefu Šibenske okolice, *Rad JAZU* 289, 1952, 197.
- NEWMAN W. S., RUSNAK G. A.: Holocene Submergence of the Eastern Shore of Virginia, *Science* 148, 1965, 1464—6.
- OLSON E. A., BROECKER W. S.: *Lamont Natural Radiocarbon Measurements VII*, *Radiocarbon* 3, 1961, 141—175.

- ÖSTLUND J. G., BOWMAN A. L., RUSNAK G. A.: Miami Natural Radiocarbon Corrections I—III, Radiocarbon 7, 1965, 153—155.
- PAVLETIĆ Z.: Prilozi poznavanju ekologije briofita na slapovima rijeke Krke u Dalmaciji, Rad JAZU 312, 1957, 95—137.
- PAVLETIĆ Z.: Sedreni slapovi rijeke Krke i njihov postanak, Krš Jugoslavije 2, 1960, 71—98.
- POLLI S.: Il graduale aumento del livello del mare lungo le coste italiane, Geofisica pura e applicata 25, 1953, 123—129.
- POLLI S.: L'attuale aumento del livello del mare lungo le coste del Mediterraneo, Geofisica e meteorologia 2, 1954, 13—16.
- REDFIELD A. C.: Postglacial Change in Sea Level in the Western North Atlantic Ocean, Science 127, 1967, 687—691.
- REDFIELD A. C., RUBIN M.: The Age of Salt Marsh Peat and its Relation to Recent Changes in Sea Level at Barnstable, Massachusetts, Proc. of the Nat. Acad. of Sciences of the USA 48 (10), 1962, 1728—1735.
- ROGLIĆ J.: Geomorfološka istraživanja na Kvarnerskim otocima i Zadarskom primorju, Ljetopis JAZU, 55, 1949, 161—167.
- ROGLIĆ J.: Unsko-koranska zaravan i Plitvička jezera. Geomorfološka promatranja, Geografski glasnik, 13, 1951, 49—68.
- ROGLIĆ J.: Odnos morske razine i cirkulacije vode u kršu, Drugi jug. speleološki kongres 1958, Zagreb 1961, 45—48.
- ROGLIĆ J.: Prilog poznavanju reljefa jadranskog priobalskog dna, Rad JAZU 345, 1967, 39—54.
- RUBIN M., ALEXANDER C.: U.S. Geological Survey Radiocarbon Dates V, Radiocarbon Supplement 2, 1960, 129—135.
- RUBIN M., SUESS H.: U. S. Geological Survey Radiocarbon Dates III, Science 123, 1956, 442—448.
- STIPP J. J., KNAUER G. A., GOODELL H. G.: Florida State University Radiocarbon Dates I, Radiocarbon 8, 1966, 46—53.
- STUIVER M., DEEVEY E. S.: Yale Natural Radiocarbon Measurements VI, Radiocarbon 3, 1961, 126—140.
- STUIVER M., DADDARIO J.: Submergence of the New Jersey Coast. Science 142, 1963, 142—151.
- SUESS H. E.: U.S. Geological Survey Radiocarbon Dates I, Science 120, 1954, 467—473.
- TEŠIĆ M.: O postglacijalnom pozitivnom pomeranju obalske linije na istočnoj obali Jadranskog mora, Hidrografski godišnjak 1956—57, 153—162.
- UPSON J. E., LEOPOLD E. B., RUBIN M.: Postglacial Change of Sealevel in New Haven Harbor, Connecticut, American Journal of Science 262, 1964, 121—132.
- ZENKOVIĆ V. P., KAPLIN P. A.: Podvodnye geomorfologičeskie issledovanija na Dalmatinskom poberežje, Izvjestija AN SSSR, serija geografičeska 1965, 3, 18—34.

Summary

SEA LEVEL POSITIONS IN THE HOLOCENE AND THE LATE WÜRM

by
T. Šegota

One of the most important problems of the Quaternary research are the sea level fluctuations. The sea level rise was a universal process, and this means that the data from one part of the world can be satisfactorily applied in other parts of the world. Supposing that the sea level fluctuations have been in essence of glacio-eustatic nature, and that the only disturbing factor was a tectonic subsidence, the author calculated the curves representing the sea level rise in the Holocene and in the Late

Würm. At the beginning of the Holocene, 10 000 years ago, the sea level was 31 m lower than to-day. The lowest position of the sea during the last glacial stage was $-96,4$ m. This maximum sea level lowering was attained 25 000 years ago.

Since the sea level lowering was a world-wide process, the author was able to construct the paleogeographical maps of the Adriatic Sea 10 000 years ago and 25 000 years ago respectively.

U BIJELOGRAFISKOM RASCLANJENJU DORANSKO-LIČKE KORDJE

190. PRILASAK ZAŠTIT. RAZ. 1957.

Uvod

Doransko-lička kordja kao jedna geografska cjelina obuhvaća područje zapadne Hrvatske i dio južne Hrvatske, a u geografskom pogledu nalazi na prijelazu Alpa u Dinarika. Planinski lanci Gorski Kotar (Obur, Esenja, Sušinski, Vele i Male Karve, Plješćica i Velebita) naposevaju se sjevero i Dinarški planina, koje se dio zapadnog dijela Balkanskog planinskog masiva s obalom Jadranskog mora, prilaze u sjeveru prema južnoj obali Jadrana. U sjeveru prema sjeveru i sjeverozapadu dolaze ti sjeverni obranci Dinarika u neposrednoj blizini s Alpama, na općem području uz njih jednog niza planinskih i kordja planinskih lanaca, na južnoj Alpi na sjeveru Dinarika u centru i Srednje Pindike planina na jugu, koje se spuštaju Peloponosa u Grčkoj prema u dolini Egejskog mora. Središnje planinske lanca, s početkom u Alpama, mogu sešiti u sjeveru prema istoku a protežu se Tatra i Karpatima, te u Kavkazu sva ovaj niza lanaca i kordja na zapadnoj Alpi. Među njima su planinski lanca, s obalnim dijelom u zapadnim Alpama, koja se dio srednjim poluotoka i prelazi na Siciliju gdje su grube i planinske srednjim moru.

U su planinski lanca, koji svoje sjeverne krajnje u Alpama u Sjeveru u bijelografskom pogledu vidim ugnati, jer su planinski lanca, naravno u mladom geološkom smislu, planinski lanca, koja su obično holocena) vidim najprije u sjeveru, gdje su u sjeveru i sjeveru se spuštaju se sjeveru prema jugu (Dinarika prema Mediteranu) i sjeveru prema sjeveru (Dinarika prema sjeveru prema sjeveru). U su planinski lanca, koja su obično holocena) vidim najprije u sjeveru, gdje su u sjeveru i sjeveru se spuštaju se sjeveru prema jugu (Dinarika prema Mediteranu) i sjeveru prema sjeveru (Dinarika prema sjeveru prema sjeveru). U su planinski lanca, koja su obično holocena) vidim najprije u sjeveru, gdje su u sjeveru i sjeveru se spuštaju se sjeveru prema jugu (Dinarika prema Mediteranu) i sjeveru prema sjeveru (Dinarika prema sjeveru prema sjeveru).