



6209



Dž. Imbri, K. P. Imbri, LEĐENA DOBA

BIBLIOTEKA ZANIMLJIVA NAUKA

or Akimuškin

ANIMLJIVA
IOLOGIJA

Vlasov — D. Trifonov
ANIMLJIVA HEMIJA

I. Pereljman
ANIMLJIVA FIZIKA

evgenij Sedov
ANIMLJIVA
ELEKTRONIKA

5. Boris Sergejev
TAJNE PAMĆENJA
6. Milutin Milanković
KROZ VASIONU I
VEKOVE
7. Lepold Infeld
ALBERT AJNŠTAJN
8. Ranko Risojević
VELIKI MATEMATIČARI
9. Džon Imbri
Ketrin Palmer Imbri
LEĐENA DOBA

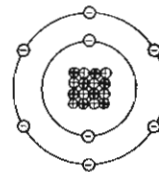
NOLIT

Džon Imbri
Ketrin Palmer Imbri

LEĐENA DOBA

NOLIT

BIBLIOTEKA ZANIMLJIVA NAUKA



Naslov originala

JOHN IMBRIE AND KATHERINE PALMER IMBRIE
ICE AGES

Solving the Mystery

Enslow Publishers, Short Hills, New Jersey
© 1979 by John Imbrie and Katherine Palmer Imbrie

PREVEO

DUŠAN LATKOVIĆ

STRUČNI KONSULTANTI

Prof. dr NIKOLA PANTIĆ
Prof. dr DRAGOLJUB STEFANOVIĆ

DŽON IMBRI I KETRIN PALMER IMBRI

LEDENA DOBA

REŠENJE TAJNE

NOLIT • BEOGRAD

Ova knjiga Džona Imbrija (John Imbrie) i njegove ćerke Ketrin Palmer Imbri (Katherine Palmer Imbrie) je van svake sumnje dragocen prilog kategoriji popularne naučne literature i kao takva zaslužuje svoje mesto u interesantnoj Nolitovoj biblioteci „Zanimljiva nauka“.

Ona je pravi biser takve literature, i to iz više razloga. Najpre, uopšte, stoga što je ova literatura u današnje doba neophodna, jer usled brzog razvoja nauke i tehnike klasični način sticanja znanja i opšteg obrazovanja u školama postaje nedovoljan. Čovek se danas mora stalno obavestavati o novim pojmovima koji se sreću na svakom koraku, i to ne samo u stručnom radu, pa se mora neprekidno učiti! Tako se i o ledenim dobima često čuje, o njima se i dosta piše, pa se stoga ne može zamisliti kulturni čovek koji koliko-toliko ne bi o njima bio obavešten, iako mu to stručno nije neophodno i ne predstavlja nasušnu potrebu. Svaki čovek, bez obzira na nivo svoga obrazovanja, svaki učenik, očiju otvorenih za pitanja razvoja prirode, mora se zapitati kako je došlo do pojave ledenih doba pre više hiljada godina i kad će se i zašto ona možda ponovo pojaviti. To, dakle, nije samo neko stručno pitanje geologa, paleontologa, okeanografa itd. već je pitanje opšte kulture pojedinca. A ova knjiga je napisana na za svakoga pristupačan način. Autori, od kojih je jedan i sam vrlo istaknuti istraživač u toj oblasti, uspeali su da tako prikažu razvoj ovih istraživanja koja traju nešto više od jednog veka – otkad je otkriveno postojanje ledenih doba u ranijim epohama, pa sve do danas. Ne može

se poreći da se čovek mora zainteresovati za pitanje zašto su se, npr., lednici pre više hiljada godina prostirali i po oblastima Svajcarske i Nemačke, gde ih danas nema, zašto su se povukli i, najzad, da li će ponovo naići? Prikazan je napor čitavog niza naučnika da objasne ovu pojavu – kont-raverze povodom raznih tumačenja, i to sve na književni na-čin i zabavno. Već samim tim prikazom istraživačkih lutanja u objašnjenju ove pojave postignuta je svojevrsna zanimljivost.

Međutim, osim te, da tako kažemo, opšte zanimljivosti ove knjige ona ima još jedan značaj posebno za nas, i to je onaj drugi razlog za njeno objavljivanje. Naime, u tom istraživanju o poreklu i trajanju ledenih doba učestvovao je i naš poznati naučnik, bivši profesor Beogradskog univerziteta i potpredsednik Srpske akademije nauka Milutin Milanković. On je u razdoblju između dva svetska rata u nizu svojih radova zasnovao jednu astronomsku teoriju nastanka ledenih doba. Njegova teorija je bila prihvaćena i prodrla je u nauku, ali je tek istraživačka grupa američkog naučnog projekta „CLIMAP“ (Climate: Longrange Investigation, Mapping, and Prediction), među kojima je bio i Džon Imbri, dokazala ispravnost Milankovićeve periodizacije ledenih doba i tačnost njegovog tvrđenja o pretežnosti astronomskih uticaja na pojavu i tra-janje ledenih doba. Više od trećine ove knjige posvećeno je Milankoviću i njegovoj teoriji. Što je najzanimljivije, autori su iskoristili ne samo stručnu sadržinu njegovih naučnih pub-likacija o tom pitanju već su poklonili dosta pažnje i nje-govim ličnim uspomenu, naročito onima opisanim u nje-govom sjajnom delu Kroz vasionu i vekove – njegovoj popularnoj istoriji astronomije, koje je objavljeno i u dva nemačka izdanja, a čije je peto izdanje na srpskohrvatskom jeziku nedavno izašlo u ovoj istoj Nolitovoj biblioteci. Tako su oni uspeli ne samo da nam na prikladan način izlože samu teoriju već i da s toplinom prikažu ličnost našeg Milutina Milankovića.

Ova knjiga je u stranom svetu primljena sa velikim inte-resovanjem i komplimentima. Tako, npr., nosilac Nobelove nagrade Vilard F. Libi (Willard F. Libby) kaže: „Ledena doba su divna knjiga, preporučujem je svakome“ a dode-ljena joj je i ugledna nagrada američkog Udruženja Phi Beta Kappa za najbolju knjigu iz oblasti prirodnih nauka u 1979. godini.

Inače, za svoje rezultate u astro i geofizici Milanković je stekao svetsko priznanje. Tako je u SSSR-u, posle fotogra-fisanja one druge strane Meseca, nevidljive sa Zemlje, jed-nom objektu (krateru) na toj Mesečevoj strani dato Milan-kovićevo ime i to je Međunarodna astronomska unija oz-vaničila u Brajtonu 1970, a godine 1973. ova Unija je u Sidneju Milankovićevo ime dala i jednom objektu na Marsu.

Kod nas je do skora u širem krugu bila malo poznata vrednost Milankovićevo stvaralaštva – jer se odnosila na multidisciplinarna istraživanja dve ranije sasvim odvojene nauke, astronomije i geologije – iako je on ostavio dosta podataka o sebi i svom radu. O tome se može čitati u njegovim Uspomenama, doživljajima i saznanjima (3 sveske) u izdanju Srpske akademije nauka i umetnosti, ali dosta zabeležaka ima i u drugim publikacijama od kojih posebno treba pomenuti knjigu Zivot i delo Milutina Milankovića u izdanju Galerije Srpske akademije nauka i umetnosti.

Povodom stogodišnjice rođenja Milutina Milankovića 1979. godine održan je u Srpskoj akademiji nauka i umetnosti me-đunarodni naučni skup, jedna ulica u Beogradu i jedna u rodnom mu Dalju dobile su njegovo ime, jedan školski cen-tar u Osijeku takode nosi njegovo ime, postavljena je spo-menploča na Milankovićevom bivšem domu u Beogradu i rodnoj kući u Dalju, koja je uz to stavljena pod zaštitu države kao kulturni spomenik. Njegove biste biće postavljene na javnim mestima u Beogradu i Osijeku.

Izdavačkom preduzeću Nolit, koje je uz izvesnu pomoć Republičke zajednice nauke izdalo ovu knjigu, valja odati priznanje za razumevanje potrebe objavljivanja ove knjige i za njenu opremu.

Tatomir P. ANĐELIĆ

LEDENA DOBA

REŠENJE TAJNE

Saznanje da je svet već jednom preživeo ledeno doba poznato je već više od stotinu godina. Pojam ledenog doba nam je, odista, toliko blizak da gotovo svako zimsko nevreme odmah biva praćeno dramatičnim pitanjem: Preti li nam novo ledeno doba?

Ova knjiga je priča o ledenim dobima – o tome kakva su bila, kada je do njih dolazilo i kada treba da nastupi sledeće takvo doba. To je i priča o naučnim otkrićima i, prema tome, o ljudima – astronomima, geohemičarima, geolozima, paleontolozima i geofizičarima iz desetine zemalja, koji su se gotovo stotinu godina bavili traženjem rešenja tajne ledenih doba.

Svojim savetima i pomoći u toku pripremanja ove knjige, zadužili su nas mnogi ljudi. Posebno želimo da se zahvalimo Vasku Milankoviću, što je sa nama podelio sećanja na svoga oca, Milutina Milankovića. Zahvalni smo Tatomiru Andeliću iz Srpske akademije nauka i umetnosti, koji nam je obezbedio potpunu bibliografiju Milankovićevih spisa. Barbara Grenkist prevela je više odlomaka sa nemačkog jezika. Gordon Greg sa Univerziteta u Edinburgu pomogao nam je u nalaženju podataka o Džejsmu Krolu. Rezultati istraživanja Alberta V. Karocija sa Univerziteta u Ilinoisu bili su neprocenjivo vredni vodič kroz rani razvoj teorija o ledenim dobima. Katarina Krauze pronašla je mnoge skrivene izvore koji su znatno doprineli ovoj knjizi.

Mnogi su nam ljudi stavili na raspolaganje svoja lična sećanja. Među njima su Vilijem Bergren, Valas Breker, Roz-

mari Klin, Čezare Emilijani, Semjuel Epstejn, Dejvid B. Erikson, Rouds Ferbridž, Džejms Hejs, Georg Kukla, Robli Metjus, Nil Opdajk, Nikolas Šeklton i Manik Talvani.

Rozalind M. Melor pripremala je rukopis i motrila na nedoslednosti. Teri A. Pipers takođe je bio od pomoći tokom pripremanja ove knjige. Barbara Z. Imbri prva je kritički pročitala rukopis i dala mnoge korisne sugestije.

Muzej nauka u Bostonu ljubazno je odobrio odsustvo jednom od nas (K. P. I), kako bi ova knjiga mogla da bude napisana.

Najzad, želimo da izrazimo svoju zahvalnost našem uredniku Rajdliju Enslou na savetima i ohrabrenjima. Njegov entuzijazam i interesovanje umnogome su pomogli da ova knjiga postane stvarnost.

Sikonk, Masačusets,
juna 1978. godine

Dž. I.
K. P. I.

PROLOG

ZABORAVLJENO LEDENO DOBA

Pre dvadeset hiljada godina, Zemlju su bili šćepali nemilosrdno prodorni prsti leda – leda koji je crpao snagu iz studenih uporišta na severu i valjao se ka jugu zatrpavajući šume, polja i planine. Predeli ugroženi laganim kretanjem glečera dugo će nositi ožiljke od ovog osvajanja. Temperature su bivale sve niže a površina zemlje u mnogim delovima sveta tonula je pod neumoljivom težinom leda koji ju je pritiskao. U isto vreme, da bi se stvorili ovakvi gigantski glečeri, iz okeana je izvučeno tako mnogo vode da je nivo mora svuda u svetu bio opao za više od stotinu metara, a velike površine kontinentalnih oboda postale su suva zemlja.

Ovaj period u istoriji Zemlje naziva se ledeno doba. U Severnoj Americi led se širio iz centara u blizini Hadsonovog zaliva i zatrpavao je celu istočnu Kanadu, Novu Englesku i velika prostranstva Srednjeg zapada pokrivačem čija je debljina, u proseku, iznosila više od kilometar i po. Drugi ledeni pokrivač širio se iz centara u kanadskim Stenovitim planinama i drugim visijama na zapadu Severne Amerike, da proguta delove Aljaske, celu zapadnu Kanadu i delove država Vašington, Ajdaho i Montana. U Evropi led je nahirupio iz Skandinavije i Škotske i prekrrio najveći deo Engleske, Dansku i velike oblasti severne Nemačke, Poljske i Sovjetskog Saveza. Manja ledena kapa, čiji je centar bio na Alpima, zatrpala je čitavu Švajcarsku i obližnje delove Austrije, Italije, Francuske i Nemačke. Na južnoj polulopti mali ledeni pokri-



Slika broj 1.

Zemlja danas (levo) i tokom poslednjeg ledenog doba (desno). Pre dvadeset hiljada godina, veliki ledeni pokrivači pokrivali su delove Severne Amerike, Evrope i Azije; voda na površini Arktičkog i severnog Atlantskog okeana bila je zaleđena, a nivoi mora i okeana bili su preko stotinu



metara niži nego danas. Mnogi delovi kontinentalnog praga, uključujući i koridor između Azije i Severne Amerike, bili su suva zemlja. (Crtež Anastazije Sotiropulos, zasnovan na informacijama koje su pribavili Džordž Denton i drugi saradnici na projektu CLIMAP).

vači razvili su se na delovima Australije, Novog Zelanda i Argentine. Sve u svemu, led je prekrivao oko dvadeset četiri miliona kvadratnih kilometara zemlje koja je danas bez leda.

Južnu granicu ovih ogromnih ledenih pokrivača na severnoj polulopti dodirivale su tundre bez drveća. Ovde su, tokom kratkih i svežih leta, na močvarnom zemljištu rasli vres i druge niske, izdržljive biljke. Stada irvasa i krda mamuta, u stalnom pokretu, napasala bi se tokom letnjih meseci na ovim bujnim biljnim prostirkama, a zimi bi se selila na jug, u potrazi za boljim pašnjacima. U Severnoj Americi tundru je predstavljao samo uzak pojas zemlje koji je ledene prekrivače na severu razdvajao od šumskih predela na jugu. U istočnom delu kontinenta, smrekove šume su rasle unedogled; na manje plodnom Srednjem zapadu, smreka je rasla uz reke, a između šuma prostirala se suva travnata zemlja.

U Evropi i Aziji pojas tundre bio je širi nego u Severnoj Americi i tek je postepeno ustupao mesto poluplodnoj travnatoj zemlji koja se protezala od horizonta do horizonta – preko dva kontinenta, od francuske obale Atlantika, preko srednje Evrope, do istočnog Sibira.

Lovci kamenog doba su, prateći preko tundre mamute i irvase, mogli da vide južnu ivicu ledenog pokrivača. Mraz je prodirao kroz njihovu odeću od irvasove kože, a vetrovi sa severa šibali su im lica; ti ljudi bi teško mogli shvatiti da će njihovi potomci naseljavati svet sasvim drugačiji od njihovoga.

Pa ipak, ledeno doba se okončalo. Pre oko 14.000 godina ledeni pokrivači počeli su da se povlače. U toku 7.000 godina, povukli su se do svojih sadašnjih granica. Sve što je danas ostalo od ledenih pokrivača na severnoj polulopti jeste Grenlandski pokrivač i nekoliko malih ledenih kapa na kanadskom Arktiku. Tamo gde savremeni farmeri žanju kukuruz u Ajovi i pšenicu u Dakoti, nekada su se preko zemlje valjali kilometar i po visoki glečeri, a tamo gde su sada evropske šume unedogled su se prostirale doline bez drveća.

Topeći se, glečeri su za sobom ostavljali veoma izmenjeni predeo, predeo osut tragovima glečerskog porekla. U severnim oblastima glečeri su strugali i glačali po-



Slika broj 2.

Glacijalne naslage u blizini Kejp Ena u Masačusetsu: predeo je tipičan za oblasti koje su nekada bile pokrivene ledom. (Dž. D. Dejna, 1894).

vršinu pod sobom, urezujući duboke brazde u površinske stene i gutajući komade i delove materijala iz podloge. Ovaj materijal je prenošen do isturenih granica ledenih pokrivača gde se nataložio u takozvanim morenama (slika 2.)

Pošto su se ledeni pokrivači povukli, ljudsko sećanje na njih počelo je da blede. Nasledno pamćenje – ako uopšte i postoji – mora da je nesavršeno, jer je svet lovaca iz kamenog doba ubrzo zaboravljen. Čak su i sve-dočanstva koja su ledeni pokrivači ostavili za sobom bila pogrešno tumačena. Još u osamnaestom veku, geolozi su pretpostavljali da su glečerski nanosi u stvari, bili dopremljeni i nataloženi usled velikog potopa, opisanog u Bibliji. Tek ranih godina devetnaestoga veka neki naučnici su počeli da sumnjaju u ovo objašnjenje. Jesu li vode potopâ – čak i one koje je pokretao bog – bile u stanju da zaista prenose gigantske gromade stotinama kilometara, ili je za to bio odgovoran neki drugi činilac?



DEO PRVI
OTKRIĆE LEDENIH DOBA

1. LUJ AGASIZ I GLACIJALNA TEORIJA

Malo je stanovnika mesta Nešatel u Švajcarskoj bilo na nogama u četiri i petnaest izjutra, 26. jula 1837. godine. Inače, opazili bi dugu kolonu kočija solidne izrade, kako lagano škripuće po kaldrmisanim ulicama njihovog pospanog grada. U stvari, veoma je malo ljudi uopšte znalo da prvu i najveću kočiju, koju su vukla četiri bela konja, dele trojica među najpoštovanijim naučnicima toga vremena.

Leopold fon Buh (Leopold von Buch) – čije su sede kovrdže i povijeni stas prikivale bezgraničnu energiju – zlovoljno je zurio u pod kočije koja se njihala. Žan Baptist Eli de Bomon (Jean Baptiste Elie de Beaumont), uspravan i odeven s besprekornim ukusom, uprkos tome što ga je njegov poslužitelj bio probudio u vampirsko vreme, ravnodušno je posmatrao ledom prekrivene vrhove Alpa, osamdeset kilometara daleko, preko Švajcarske nizije i obližnju, manje zastrašujuću, Juru. Treći putnik u kočijama, tamnokosi mladi čovek širokih ramena, bistrh i radoznalih očiju, gledao je kroz prozor i ljutito razmišljao o tome kako se hladna osamljenost alpskih vrhova, koji kao da se gordo drže po strani od karavana čangrljavih kočija, može meriti jedino sa de Bomonovim držanjem.

De Bomonovo ledeno ponašanje uznemiravalo je mladoga čoveka. Luj Agasiz (Louis Agassiz), hitrog ljubopitljivog uma, nije mogao pojmiti da bi naučnik de Bomonovog ranga mogao da prenebregne značaj upravo ovog putovanja kroz planinu Juru.



Slika broj 3.

Komad stene sa „strijama“ iz jedne evropske glacialne naslage. Stene ove vrste su karakteristične za predele koji su bili zahvaćeni glacijacijom. (Dž. Gejki, 1877).

Dva dana ranije Švajcarsko prirodnjačko društvo držalo je svoj godišnji skup u Nešatelu, a mladi predsednik Društva, Luj Agasiz, iznenadio je svoje učene kolege

održavši predavanje koje se nije, kako su istaknuti članovi Društva očekivali, odnosilo na fosile riba nedavno pronađene u dalekom Brazilu, već na izgrebane i uglučane oble komade stena kakvi su šarali planinu Juru u blizini samoga Nešatela (sl. 3). Agasiz je nastojao da dokaže kako ovi „lutajući“ ili eratički kamenovi (komadi stena koji se, razbacani tamo-amo, javljaju na mestima vrlo udaljenim od onih na kojima su nastali) mogu da se protumače jedino kao svedočanstva o nekadašnjoj glacijaciji – i o nekom davnašnjem dobu leda.

Tako je počeo spor – jedan od najžešćih u istoriji geologije – koji će trajati više od dvadeset i pet godina i koji će se okončati opštim prihvatanjem teorije o ledenom dobu. Iako pojam ledenog doba Agasiz, nije prvi uveo, njegovo kontroverzno predavanje (koje će kasnije biti poznato kao *Nešatelsko predavanje*) poslužilo je da se glacialna teorija izvuče iz usko naučnih sfera i približi oku javnosti.

Kao predsednik jednog švajcarskog naučnog društva, Agasiz se našao u idealnom položaju da svoju teoriju predstavi eliti naučnog sveta devetnaestoga stoleća. On je, međutim, bio samo jedna karika u lancu koji će naposljetku dovesti do opšteg prihvatanja zaprepašujuće teorije po kojoj je pokretno more leda nekada prekrivalo velike oblasti Zemljine lopte.

Ova teorija, koju su najpoznatiji naučnici toga vremena, isprva odbacivali već dugo je bilo činjenica za mnoge Švajcarce koji su živeli i radili u planinama i tako bili u svakodnevnom dodiru sa svedočanstvima jedne davne, prostrane glacijacije. Nekolicina poznatih naučnika i prirodnjaka, istina, rano je pristala uz teoriju, ali nije imala prilike da svoje ideje uspešno obelodani.

Još 1787. godine jedan švajcarski sveštenik, Bernar Fridrih Kun (Bernard Friederich Kuhn), tumačio je lokalne „lutajuće“ gromade kao dokaz davnašnje glacijacije. Sedam godina kasnije Džejms Haton (James Hutton) – škotski geolog, koga danas mnogi smatraju ocem naučne geologije – posetio je Juru i došao do istih zaključaka kao i Kun. Godine 1824. Jens Esmark je našao svedočanstva o nekadašnjim prostranim glečerima u Norveškoj. Sa Esmarkovim pogledima upoznao se Rajnhard Bernardi (Reinhard Bernhardt), nemački profesor

prirodnih nauka, koji je kasnije obavio i vlastita posmatranja. Godine 1832. Barnardi je objavio članak u kojem je nastojao da dokaže kako se polarna ledena kapa nekada prostirala preko Evrope i dopirala čak do južne i srednje Nemačke.

Mnogi od ovih ranih pionira razvili su svoje ideje sasvim nezavisno jedan od drugog, na osnovu ličnih posmatranja i zaključaka. Ali je objašnjenje o „lutajćim“ gromadama kao tragovima velikog potopa bilo tako ukorenjeno da nijedan od tih ljudi nije bio kadar da svoje revolucionarne ideje učini široko poznatim. Biće potreban združeni napor nekih od najvećih naučnih umova toga vremena i to tokom dvadeset i pet godina, da bi se svrgla ova neprikosnovena teorija.

Ne čudi to što su u tako religioznom vremenu i naučnici i obični ljudi verovali da su „lutajuće“ gromade odista bile prenošene nezamislivo snažnim vodenim i blatnim strujama, biblijskog potopa iz Nojeva vremena. Ova teorija je ipak, pretrpela izvesne izmene i kada je, 1837. godine, Agasiz održao svoje predavanje pred Švajcarskim prirodnjačkim društvom, prihvaćeno objašnjenje pojave „lutajućih“ kamenova bilo je ono koje je 1833. godine dao engleski geolog Čarls Lajel (Charles Lyell). Lajel je držao da su odgovorni činilac bile kamenom krcate ledene sante i ploče, koje su, za vreme velikog potopa, plutale tamo-amo.

Lanac kreativnih mislilaca i srećnih okolnosti, koji je doveo do Agasizovog predavanja u Nešatelu započeo je sa Žan-Pjerom Perodenom (Jean-Pierre Perraudin), gorštakom sa juga Švajcarskih Alpa. Peroden je živio od lova na divokoze, u blizini Lurtijeja, u Dolini prognanih. Na osnovu vlastitih zapažanja, još 1815. godine, došao je do zaključka da su glečeri, koji su tada zauzimali samo više, južnije delove Doline prognanih, nekada popunjavali celu dolinu. Pisao je:

Posmatrajući dugo tragove ili brazde koje se javljaju na čvrstim stenama, kakve se ne razjedaju tokom vremena, konačno sam zaključio, pošto sam prethodno odlazio u blizinu glečera, da su ti tragovi posledica težine kojom su ove mase pritiskale tlo – a takve sam posledice mogao da pratim, u najmanju ruku, sve do Šanseka. To me je navelo na pomisao da su u prošlosti

glečeri ispunjavali celu Dolinu prognanih i spreman sam da onima koji ne veruju, ukažem na tu činjenicu uz pomoć očiglednog dokaza: poređenjem tih tragova sa onima koje glečeri danas otkrivaju.

Godina 1815. Peroden je svoje ideje saopštio Žanu de Šarpantijeju (Jean de Charpentier), prirodnjaku, koji će docnije postati značajan zastupnik glacijalne teorije. Impresioniran gorštakovim zapažanjima, ali još ne i uveren, de Šarpantije je pisao:

Iako je Peroden smatrao da se njegov glečer prostirao samo do Perinjija (trideset i šest kilometara preko njegove sadašnje granice), jer sâm verovatno nikada nije ni išao dalje od toga grada, premda sam se složio s njim da je nemoguće da voda prenese „lutajuće“ gromade, ipak sam nalazio da je njegova hipoteza do te mere neobična, i čak do te mere nastrana, da sam bio mišljenja kako je ne vredi ispitivati, pa čak ni razmatrati.

Negde u toku sledeće tri godine, međutim, Peroden će napokon pronaći naklonjenog slušaoca u ličnosti Injasa Veneca (Ignace Venetz), koji je po zanimanju bio graditelj drumova i mostova. Između 1815. i 1818. godine Venec je mnogo vremena provodio na poslu u oblasti Doline prognanih. U tom periodu vodio je mnoge razgovore o glečerima sa Žan-Pjerom Perodenom. Bilo je to istorijsko i srećno druženje.

Venec je dosta sporo prihvatao Perodenove ideje. Godine 1816. na sastanku Švajcarskog prirodnjačkog društva u Bernu, pokrenuo je pitanje glečera, ali samo da bi izneo neke misli o kretanjima leda i da bi opisao kako se na površini glečera stvaraju izdužene hrpe otpadaka stena, ili morene (slika 4). Pet godina posle toga Venec se još ustezao da se prikloni glacijalnoj teoriji. U jednoj belešci iz 1821. godine (a izdatoj tek 1833) napomenuo je da je uočio nekoliko morenskih nabora na udaljenosti od oko pet kilometara od iverice glečera Felš i da su ti nanosi morene koje je ovaj glečer u prošlosti ostavio.



Slika broj 4.

Slika glečera Zermat u švajcarskim Alpima, koju je objavio Luj Agasiz 1840. godine.

Sve do 1829. godine Venec nije u potpunosti razvio ideje koje je napabirčio od Perodena; tada je, na godišnjoj skupštini Društva u Institutu sv. Bernara Velikog, saopštio svoj zaključak da su se nekada ogromni glečeri proširili sa Alpa i prekrili ne samo Švajcarsku niziju i Juru već i druge oblasti Evrope. U prilog toj teoriji opisao je rasprostranjenost „lutajućih“ gromada i morena i takve nanose je uporedio s onima koje formiraju savremeni alpski glečeri.

Uprkos Venecovom dobrom, ali razvučenom izlaganju, naučnici koji su prisustvovali sastanku ili su ignorisali njegovu teoriju ili su je bez okolišenja odbacili. Jedan je čovek, međutim, uočio istinitost te teorije i potom Venecu pritekao upomoć. Taj čovek bio je Zan de Šarpantije, koji je Injasa Veneca dugo poznao. Kao direktor rudnika soli kod Beksa u Švajcarskoj, de Šarpantije se živo zanimao za nauku i svet prirode. Sada je, kao zabludeli sin, bio spreman da podrži Veneca i čvrsto stane uz teoriju koju je, gotovo petnaest godina ranije bio odbacio.

Tokom sledećih pet godina (1829–1833) de Šarpantije je usmerio svoju izvanrednu moć rasuđivanja na pitanje davnašnje glacijacije. Iako je Venec bio prvi koji je prihvatio Perodenove radikalno nove ideje, de Šarpantije je glacijalnoj teoriji obezbedio čvrsto uporište u naučnim činjenicama, organizujući i klasifikujući dokaze koji su joj išli u prilog. Ali de Šarpantije je bio čist naučnik i nedostajale su mu one osobine nasrtljivosti i istrajnosti, koje će biti potrebne da se izbori prihvatanje glacijalne teorije.

Dok su se poznati naučnici toga vremena čvrsto držali ustoličene teorije o ledenim bregovima, koju je razvio Lajel, a koju su podržavale i reči Biblije, dotle su mnogi Švajcarci bili stare pristalice glacijalne teorije. Ironičnost ove situacije je naročito snažno delovala na de Šarpantijea kada je, na putu za Lucern, gde će održati predavanje o glacijalnoj teoriji na skupštini Društva 1834. godine, naišao na jednu neočekivanu podršku.

Putujući dolinom Haslija i Lungerna, sreo sam na drumu za Brunig, jednog goroseču iz Meringena. Neko vreme smo zajedno hodali i pričali. Dok sam ispitivao jedan veliki „lutajući“ komad grimselskog gra-

nita, goroseča je primetio: „Ovuda ima mnogo takvog kamenja, ali ono potiče izdaleka, sa Grimsela; to je granit, a ovdašnje planine nisu granitne.“

Kada sam ga upitao kako misli da je to kamenje došlo do svojeg sadašnjeg mjesta, odgovorio mi je bez ustezanja: „Grimselski glečer ga je doneo i ostavio s obe strane doline; taj se glečer u prošlosti prostirao sve do Berna. Voda ovo kamenje nije mogla da nanese tako visoko iznad dna doline, a da ne ispuni jezera.“

Ovaj dobri starac ni u snu ne bi mogao pomisliti da sam u džepu nosio rukopis koji je podržavao njegovu pretpostavku. Bio je veoma iznenađen videvši koliko sam zadovoljan njegovim geološkim objašnjenjem i time što sam mu dao nešto novca da nazdravi prastarom Grimselskom glečeru i očuvanju bruniškog kamenja.

Uprkos gorosečinoj zdravici, Društvo je u Lucernu ponovo odbacilo teoriju. Ali u publici – i među onima koji su teoriju odbacili – nalazio se i Luj Agasiz.

Agasiz je prvi put sreo de Šarpantijea za vreme školovanja u Lozani. U stvari, možda je veliko divljenje koje je osećao prema de Šarpantijeu uticalo na Agasizovu odluku da postane prirodnjak. Sada, deset godina kasnije, sâm Agasiz je važio za jednog od najistaknutijih evropskih ljudi od nauke. Međutim, i pored divljenja i simpatija koje je osećao prema de Šarpantijeu, Agasizu se isprva učinilo nemogućim da prihvati glacialnu teoriju.

De Šarpantije je često pozivao svog mlađeg kolegu da ga poseti, jer je oblast oko Beksa bila na glasu po fosilima i geološkim svojstvima za koje je mislio da bi Agasizu bila zanimljiva. Godine 1836. dve godine nakon de Šarpantijeovog izlaganja u Lucernu, Agasiz je prihvatio poziv i proveo je leto u Beksu. U to vreme Agasiz se uglavnom bavio izučavanjem fosila riba. Iako se i on, kao i većina naučnika, držao Lajelove teorije, nije odbijao da lično vidi ma kakav dokaz u prilog glacialnoj teoriji koji bi njegov prijatelj de Šarpantije, mogao da mu pokaže. Agasiz je u Beks otišao očeku-



Slika broj 5.

Portret Luja Agasiza kod glečera Unterar; portret je izradio Alfred Berto. Slika se nalazi u biblioteci Univerziteta u Nešatelu.

jući da će Šarpartijeu moći da dokaže neispravnost glacijalne teorije. Umesto toga, vrlo brzo je bio pridobijen.

Dobri de Šarpartije čvrsto je verovao u ideju da su se alpski glečeri nekada prostirali daleko van svojih današnjih granica, ali nije smatrao naučničkom dužnošću da nastoji na objavljivanju i širokom prihvatanju te teorije. De Šarpartije se zadovoljavao time što će prijateljima i saradnicima koji bi ga posetili u Beksu izneti činjenice; bio je uveren da će se, vremenom, teorija dokazati. I tako je glacijalna teorija – rođena iz opažanja seljaka, razvijena trudom Injasa Veneca, a sistematizovana zahvaljujući Žanu de Šarpartijeu – najzad stekla moćnog zaštovnika u ličnosti Luja Agasiza (slika 5).

Jednom preobraćen, Agasiz je učio brzo i nezasito. U društvu de Šarpartijea i Veneca, posetio je glečere u dolini Dijablerea i Samonija i morene u dolini Rone. Dokazi su govorili sami za sebe, a Agasiz je ovoga puta slušao. Za nekoliko sedmica naučio je sve čemu su de Šarpartije i Venec mogli da ga nauče. Agasiz je brzo pretekao svoje mentore; koristeći se činjenicama koje su oni tokom sedam godina tako prilježno sakupljali, Agasiz je u kratkome vremenu sastavio obimnu glacijalnu teoriju, za koju je mislio da će moći da izdrži napade protivnika. Na nesreću, u svojoj velikoj želji da teoriju izloži, Agasiz je sebi dozvolio izvesne slobode u vezi sa de Šarpartijeovim radom, za koje je ovaj skrupulozni džentlmen smatrao da su neoprostive. U nekoliko važnih tačaka Agasizova proširena verzija teorije išla je mnogo dalje no što su postojeći dokazi dopuštali.

U svojem uzbuđenju Agasiz je potcenio protivnike teorije. Tekst kojim se obratio članovima Švajcarskog prirodnjačkog društva, 24. jula 1837. u Nešatelu, bio je napisan u žurbi prethodne noći pa Agasiz nije bio dobro pripremljen za reakciju koja je usledila. Članovi Društva očekivali su da od svog mladog predsednika čuju novosti o njegovom istraživanju fosila riba. Bili su iznenađeni kada je pokrenuo sasvim drugačiju temu.

Nedavno su dvojica naših kolega (de Šarpartije i Venec) svojim ispitivanjima otvorili spor čije su posledice u sadašnjosti i budućnosti dalekosežne. Osobine mesta



Slika broj 6.

Slika uglučane stene u blizini Nešatela u Švajcarskoj, koju je objavio Luj Agasiz 1840. godine. Agasiz je nastojao da dokaže da su uglučane i izbrazdane površine stena, na koje se nailazi kilometrima daleko od sadašnjih glečera, jasan dokaz nekadašnjeg ledenog doba.

u kojem se danas sastajemo nameću mi da vam govorim o predmetu koji, po mojem mišljenju, može biti rešen baš ispitivanjem padina naše Jure. Mislim na glečere, morene i „lutajuće“ gromade.

Agasiz je nastavio opisujući detaljno vlastita zapažanja, kao i ona do kojih su došli de Šarpantije i Venec. Ta opažanja je protumačio kao dokaz da su mase leda nekada prekrivale Juru. Taj led, rekao je, bio je deo ogromnog polarnog ledenog pokrivača, koji se u Evropi prostirao na jug čak do Mediterana, kao i preko širokih oblasti Severne Amerike. Pozajmljujući termin od svoga prijatelja, botaničara Karla Šimpera (Karl Schimper), Agasiz je ovaj period istorije Zemlje nazvao *ledenim dobom* (Eiszeit). Ledeni pokrivač je, po pretpostavci, nastao pre no što su Alpi bili formirani, pa je, tokom kasnijeg izdizanja te oblasti, kliznuo naniže prema Juri. „Lutajući“ kamenovi i uglučane stene koje se još mogu videti u toj oblasti ukazuju na put kojim su se te pokretne mase leda kretale (slika 6).

Agasizova predstava ledenog doba uzdrmla je mnoge slušaocce. Njegovo „Nešatelsko predavanje“ izazvalo je takav haos da je dnevni red predviđen za taj dan bio sasvim poremećen. Jedna snebivljiva duša, Amanc Gresli (Amanz Gressly), bio je uznemiren pometnjom, toliko da nije uspeo ni da pročita rukopis koji je sa sobom bio doneo – o teoriji sedimentacije – docnije značajan prilog geologiji.

Agasiz je uspeo utoliko što je pokrenuo snažna osećanja, u živoj diskusiji do koje je bilo došlo u Sekciji za geologiju temperatura se visoko popela i padale su teške reči. Gotovo svi prisutni naučnici smatrali su da Agasizovo izlaganje nije moguće prihvatiti.

Sastanak je nastavljen sledećeg dana, a Agasiz je izneo svoja zapažanja do kojih je došao u brdima Jure, u blizini samoga Nešatela. Pročitao je i potvrdu teoriji koju je napisao Karl Šimper. Ali je otpor prema teoriji i dalje bio snažan. Dolaskom Elija de Bomona, opozicija je učvrstila svoje redove.

Agasiz je bio ubeđen da će i najveći skeptik morati da se uveri – kao što se i sâm uverio – u susretu sa dokazima koje su pružale same stene. Terensko puto-

vanje u brda Jure isplanirano je za sledeći dan i užurbano su se pripremale kočije kojima će se članovi Društva prevesti od Nešatela do Šo d’Fona, u samom sru Jure. Jedan od učesnika, koji se odlično zabavljao, docnije je pisao:

Uopšte uzev, na osnovu svojeg kratkog poznanstva sa vodećim naučnicima koji su učestvovali u putovanju, uverio sam se da je među njima vladala velika zavist i egoizam. Eli de Bomon je za čitavoga puta bio hladan kao led. Leopold fon Buh je išao pravo napred, pogleda uprtog u zemlju nešto je gundao protiv jednog Engleza koji je de Bomonu govorio o Pirinejima, dok smo se, eto, nalazili na Juri; prilično se uvredljivo žalio na glupe primedbe što su ih stavljali neki amateri koji su se bili pridružili grupi. Agasiz, koji je, po svoj prilici, još bio ljut zbog oštre kritike koju je fon Buh uputio na račun njegove glacijalne hipoteze, napustio je grupu odmah po polasku i išao je sâm, celi kilometar ispred ostalih.

Ljutit zbog toga što su njegove kolege bile ravnodušne prema dokazima glacijacije koji su se nalazili svuda oko njih, Agasiz je verovatno, nezadovoljno pomišljao da je dugi put u planine rdavim drumom i sa umornim konjima ispao, na kraju, uzaludan.

Ako je tako mislio, nije bio u pravu. Jer, njegovo *Nešatelsko predavanje*, ovo putovanje i njegovo monumentalno *Istraživanje glečera* (objavljeno 1840. godine) će, na kraju ipak usmeriti pažnju naučnog sveta na pitanje nekadašnje glacijacije. Uprkos nekim preterivanjima, Agasizovo srčano izlaganje u Nešatelu 1837. godine, obavilo je važan zadatak. Otada, bez obzira na to koliko snažno njeni protivnici govorili protiv nje, teoriju o ledenom dobu niko nije mogao da ignoriše.

U godinama posle nešatelskog sastanka. Agasiz je nastavio svoja istraživanja davnašnje glacijacije, uprkos snažnim kritikama koje su mu evropski naučnici upućivali. Decembra 1837. Aleksandar fon Humbolt (Alexander von Humboldt) nagovarao je Agasiza da se vrati svojim istra-

živanjima fosila riba. „Na taj način ćete,“ pisao je, „učiniti veću uslugu geologiji nego tim uopštenim razmatranjima (pomalo hladnim, uz to) o prevratima u primitivnom svetu – razmatranjima koja, kao što dobro znate, uveravaju samo one što se njima bave.“

Mnogo će godina proći pre no što će fon Humbolt shvatiti da je Agasiz bio daleko od toga da se povodi za priviđenjima i da je, u stvari, bio među prvima koji su uočili istinu. Agasizov je zadatak sada bio da druge naučnike uveri da je Zemlja odista preživela ledeno doba.

2. TRIJUMF GLACIJALNE TEORIJE

Zahvaljujući smeloj mašti, odvažnim tvrđenjima i živom proznom stilu, Agasiz je lako osvojio pažnju široke publike. Izlaganje poput ovoga što sledi, svakako bi bilo zanimljivo u bilo kojem vremenu:

Napredovanje ovih ogromnih naslaga leda mora da je dovelo do uništenja svekolikog organskog života na površini Zemlje. Evropski predeli, ranije zastrti tropskom vegetacijom i nastanjeni krdima velikih slonova, ogromnim hipopotamima i džinovskim mesožderima, iznenada behu sahranjeni pod ledom, koji je zatrpavao doline, jezera, mora i visoravni. Usledila je grobna tišina ... Izvori su usahli, potoci prestali da teku, a sunčeve zrake nad tom zaleđenom zemljom ... sretali su samo fijuci severnih vetrova i tutnjava pukotina koje su se otvarale na površini tog ogromnog ledenog okeana.

Pomisao da je neka katastrofa užasne snage mogla, nekada u prošlosti, da iskoreni život na čitavoj planeti nije bila nova. U stvari, opšte je verovanje bilo da je istorija Zemlje podeljena u nekoliko epoha, od kojih se svaka završavala katastrofom dovoljno snažnom da poremeti postojeće slojeve sedimenata i stena, da pokrene poplave neverovatnih razmera, izdigne planine i uništi sav biljni i životinjski svet na planeti. Na početku svake naredne epohe, verovalo se, novi život bio bi udahnut opustošenome

svetu – život koji bi opstajao samo dok ne dođe do sledeće velike kataklizme.

Katastrofizam je bio vodeća geološka filozofija osamnaestog i devetnaestog veka, jer je pružao zgodno objašnjenje o fosilnim ostacima životinja, koje su geolozi iskopavali. Činjenica što je takvo shvatanje objašnjavalo fosilna svedočanstva a nije podrivalo reč božju, zapisanu u Starome zavetu, činila ga je neprikosnovenim.

I naučnicima i običnim ljudima činilo se očiglednim da je veliki potop, koji je opusteo Zemlju i poštdeo samo Noja i njegov kovčeg pun životinja, bio, u stvari, katastrofa koja je prethodnu epohu dovela do „vodenog“ završetka i pokrenula ovu sadašnju. Na primer, kada je u jednom tresetištu blizu Albanija, u državi Njujork, 1706. godine otkriven veliki okamenjeni zub mastodonta, „pouzdan“ je bilo utvrđeno da je taj zub pripadao nekom od nesrećnih i grešnih ljudi koji su nastanjivali Zemlju pre Nojeva potopa. Guverner države Masačusets, Dadli (Dudley), ispitao je taj primerak i potom ga poslao bostonskom svešteniku Kotonu Meteru (Cotton Mather):

Pretpostavljam da su ga svi lekari u gradu videli i mišljenja sam da je reč o ljudskom zubu. Izmerio sam ga i u visinu je merio petnaest santimetara, a obim mu je bio trideset i dva santimetra; težak je 870 grama ... Uveren sam da bi se ovaj zub mogao uklopiti jedino u telo ljudskoga bića, kakvome je samo potop mogao dohakti; ovo je stvorenje, bez ikakve sumnje, gazilo vodu sve dok je moglo da drži glavu iznad nje, ali je na kraju moralo biti uništeno, zajedno sa svim ostalim bićima. Nove naslage nakon potopa zatrpale su ga do dubine na kojoj sada nalazimo njegove ostatke.

A dvadeset godina kasnije, u Švajcarskoj, Johan Šojcer (Johan Scheuchzer) je pronašao zbirku okamenjenih kostiju u naslagama jednog davnašnjeg jezera. Zaključio je da kosti pripadaju prepotopskom čoveku, koga je potop uništio. Šojcer je objavio i knjigu, pod naslovom *Čovek koji je video potop (Homo diluvii testis)*. Prošlo je gotovo stotinu godina pre no što je veliki francuski anatom, baron Žorž

Kivije (Georges Cuvier) proučio te iste kosti i tačno ih identifikovao kao kosti jednog velikog, davno izumrlog guštera.

Sam Agasiz je učenje o katastrofama razvio još korak dalje, sa svojim izvanredno detaljnim opisima fosila riba i drugih izumrlih životinja za koje se pretpostavljalo da su živele tokom proteklih epoha. Zamenjujući potop ledenim dobom, Agasiz je doveo u pitanje ukorenjene poglede na prirodu poslednje velike katastrofe, ali ne i uverenje da je do katastrofe došlo.

Moćni zastupnik teorije o potopu – i kada bi se mogao pridobiti značajan saveznik Agasizov, – bio je prečasnii Vilijam Baklend (William Buckland) iz Engleske. Otkako je postao profesor mineralogije i geologije na Oksfordu, 1820. godine, Baklend je postao i najcenjeniji geolog u Engleskoj. Kao i Agasiz, bio je daroviti predavač i izazivao bi uzbuđenje kada god bi govorio. Čak i na Oksfordu, univerzitetu poznatom po gajenju čudaka na mnogim poljima, Baklend je bio na glasu po snazi svoje ličnosti i neobičnom ponašanju. Njegove učionice do tavanice krcale gomilama kamenja, lobanja i skeleta bile su čuvane na čitavom univerzitetu. Baklend je verovao u izlazak iz učionice, kada bi god bilo moguće, i u posmatranje geoloških naslaga u njihovoj prirodnoj sredini. Na takve ekskurzije išao bi odeven u svoju akademsku odeždu i sa kicoškim cilindrom na glavi – navika koja je, nesumnjivo, doprinosila njegovoj popularnosti među studentima. Ali, i pored svojeg osobenjaštva, Baklend je bio savestan i veoma poštovan naučnik. Većina vodećih engleskih geologa, uključujući i Čarlsa Lajela, smatrali su sebe njegovim učenicima.

Baklend je bio vatreni katastrofist. U svojoj pristupnoj besedi na Oksfordu, *Objašnjenje veza između geologije i religije*, izrazio je uverenje da cilj geologije treba da bude „da potvrdi svedočanstva prirodne religije i pokaže da se činjenice do kojih se pri geološkim istraživanjima dođe slažu sa izveštajima o stvaranju sveta i potopu, zabeleženim u Mojsijevim spisima“. Baklend je, takođe, bio prvi naučnik koji je veći deo svog vremena posvetio proučavanju nepravilnih nanosa šljunka, peska, ilovače i velikih komada stena, koji su prekrivali široka područja britanskog tla. Baklendov cilj je bio da utvrdi na koji su način formirani ovi na izgled haotični nanosi. Iako nije sumnjao u to da

je potop bio uzrok stvaranju tih nanosa, na mnoga pitanja je tek trebalo odgovoriti.

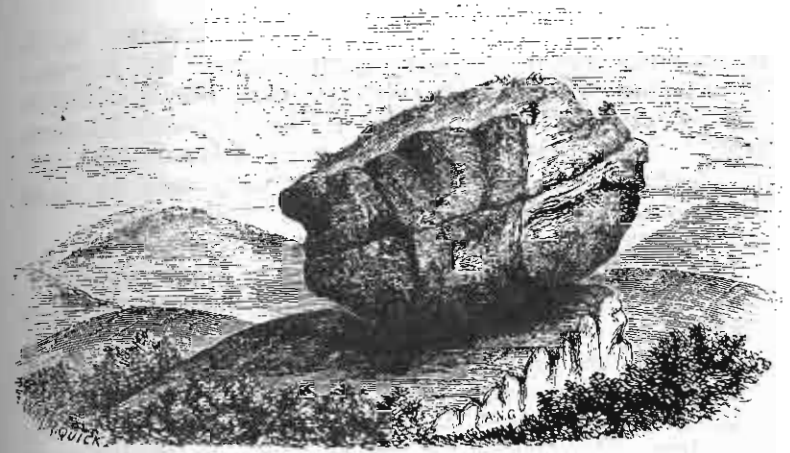
Na koji je tačno način voda mogla da prenese tako velike količine otpadaka od stena? Baklend se priklonio tradicionalnom pogledu da su vode potopa bile dovoljne da stvore diluvijum (kako su čvrste nanose usled veoma jakog delovanja vode nazvali pobornici ove teorije). Jednim delom, Baklend je ovome gledištu naginjao i zbog toga što se ono dobro slagalo sa biblijskim shvatanjima. Bio je, pored toga, uveren da ta shvatanja podržavaju i dokazi koji su sadržani u samim sedimentima.

Godine 1821. u dolini Pikeringa pronađeno je mnogo čudnih kostiju u jednoj pećini. Čuvši za ovo otkriće, Baklend je odmah otputovao u Jorkšir da bi te kosti proučio. Našao je da su veći deo činile kosti hijena, ali da su među njima bile razbacane i kosti još dvadeset tri vrste, uključujući ptice, lavove, tigrove, slonove, nosoroge i hipopotame.

Baklend je zaključio da je pećina služila kao jazbina prepotopskim hijenama i da je bila preplavljena vodom za vreme Nojeva potopa. Držao je da način na koji su kosti bile prekrivene muljem ukazuje na to da su se životinje podavile. Na osnovu količine postdiluvijalnih stalagmita, koji su prekrivali pećinsko tle, ocenio je da je do potopa došlo pre pet do šest hiljada godina – vreme, istakao je, koje se u potpunosti slaže sa biblijskom hronologijom.

Svoje nalaze Baklend je izložio u knjizi koju je posvetio biskupu od Darema: *Reliquiae Diluvianae, ili Zapažanja o organskim ostacima u pećinama, fisurama i diluvijalnom šljunku i o drugim geološkim pojavama koje svedoče o delovanju svetskoga potopa* (1823). U ovo monumentalno delo bili su uključeni i rezultati Baklendovih proučavanja dvadeset drugih pećina, razbacanih širom Engleske i Evrope. Knjiga je Baklendu donela Kopli medalju Kraljevskog društva i učinila ga slavnim u geološkim krugovima.

Kako ni u jednoj od tih „prepotopskih“ pećina nisu nađeni ljudski ostaci, Baklend je zaključio da je ljudska vrsta stvorena tek nedavno. Bio je, dakle, do izvesne mere uzbuđen kada je, u naslagama jedne pećine u Pej-



Slika broj 7.

„Lutajući“ ili eratički kamen u Škotskoj. Pojavu velikih kamenih gromada kilometrima daleko od njihovog prirodnog mesta, Luj Agasiz je pripisivao delovanju glečera iz ledenog doba. (Dž. Gejki, 1894).

vilendu na južnoj obali Velsa, pronađen ženski skelet – obojen bojom rde i ukrašen komadićima slonovače. Po mišljenju mnogih, ovaj skelet je bio u direktnoj suprotnosti sa jednim od najvažnijih načela teorije potopa.

Baklend je, međutim, uspeo da postojanje skeleta objasni ističući da se on nalazio u najvišim sedimentnim slojevima i da bi neki nagoveštaj razloga daminog prisustva mogao da se potraži i u ostacima logora iz rimskog doba, koji su se nalazili u blizini. Pošto dva i dva čine četiri, Baklend je, savladujući viktorijansko zgražanje, pisao:

Okolnost što se britanski logor nalazio na brdu neposredno iznad pećine izgleda da u velikoj meri osvetljava karakter žene o kojoj je reč, kao i vreme u kom je živela. Kojeg god zanimanja da je bila, blizina logora bi predstavljala kako motiv za nastanjenje, tako i mogućnost za izdržavanje na ovome mestu koje je sada tako očigledno i neprivlačno samotno.

Ali neka druga svojstva diluvijuma nisu se mogla objasniti tako lako kao prisustvo „skerletne žene“. Bilo je prvenstveno „lutajuće“ kamenje od kojih je neko bilo veličine omanje kuće, a koje je sa svojih prvobitnih mesta bilo preneto stotinama kilometara daleko (slika 7).

Pored toga ogrebotine i brazde na stenovitom tlu ispod tih nanosa, kao i haotična priroda samih nanosa bile su zbilja zagonetne.

Neki katastrofisti smatrali su da su takve pojave rezultat ogromnih talasa sasvim posebne vrste, kakve niko nikada nije video. Dinamiku tih „translatornih talasa“ temeljno su analizirali matematičari sa Kembriža, koji su pažljivo izračunavali njihovu visinu i brzinu, a svoje zaključke objavljivali u učenim časopisima.

Drugi geolozi nisu verovali da bi divlje struje mogle pokrenuti velike „lutajuće“ gromade. Oni su prihvatili varijantu teorije o potopu kakvu je, 1833. godine, predložio Čarls Lajel u svom uticajnom priručniku *Principi geologije*. Lajel je smatrao da su ovakve gromade mogle biti zaleđene u ledenim bregovima i da su tako mogle lagano da doplove (drift) do svojih sadašnjih neprirodnih lokacija. Privrženici ove teorije o ledenim bregovima odgovarajuće nanose nazvali su „drift“, kako bi naznačili prirodni njihovog stvaranja.

U izveštajima istraživača severnih i južnih polarnih oblasti naišlo se na dodatnu teoriju o santama leda. Niko drugi do Čarls Darwin (Charles Darwin), u *Dnevniku* (1839) sa putovanja na brodu *Bigl*, zabeležio je da neki ledeni bregovi na koje je naišao u južnim okeanima sadrže kamene gromade.

Ali Baklend je bio prvi koji je priznao da ni Lajelova teorija o „driftu“ ledenih bregova, a ni klasična diluvijalna teorija, ne pružaju objašnjenja svih pojava. Na primer, bio bi neophodan porast nivoa mora za gotovo dva kilometra da bi se na Lajelov način objasnili neki nanosi u planinskim regionima. Otkuda bi se stvorila tolika voda, i gde bi nestala? – Nastojeći grozničavo da pronađu odgovore na takva pitanja, neki su diluvijalisti bili pustili mašti na volju, a zagonetne činjenice nisu je mogle sputati. Voda je pokuljala iz podzemnih rezervoara, pa isto tako naglo nestala i vratila se u nez-

nane pećine. Poremećaji u položaju rotacione ose Zemlje izazivali su talase plime koji su mogli da dosegnu do najviših planina. Ili se kakva velika kometa „očešala“ o Zemlju, izazivajući nevidenu izgibanost vode.

Iako Lajelova teorija nije rešila problem nivoa mora, ona se mogla modifikovati tako da pruži objašnjenje nekih nanosa na visokim nadmorskim visinama. Da bi obrazložio eratičke blokove u brdima Jure, na primer, Lajel je prizvao u pomoć ne ledene bregove koji plove okeanima, već ledene ploče koje plove velikim jezerima – jezerima koja bi nastala kada bi zemljotres ili odron zajazio kakvu reku.

Iz Baklendovih dnevnika jasno se vidi da nije bio sasvim zadovoljan odgovorima koje je pružala teorija o potopu, kao ni onima koje je nudila teorija o ledenim bregovima: nastavljao je potragu za objašnjenjima koja bi se odnosila na sve aspekte „drift“-nanosa. A onda je, septembra 1838. godine, prisustvovao sastanku Udruženja nemačkih prirodnjaka u Frajburgu, u Nemačkoj. Tamo je slušao svoga prijatelja, Luja Agasiza, kako ubedljivo argumentuje teoriju o ledenom dobu, koju je prvi put izložio godinu dana ranije u Nešatelju. Baklend je bio načuo govorkanja o Agasizovoj radikalnoj teoriji i došao je u Frajburg s namerom da se sa dokazima upozna iz prve ruke.

Posle sastanka Baklend je sa suprugom otputovao u Nešatelj, na planine koje su kratko vreme pre toga i samoga Agasiza uverile u istinitost teorije o ledenom dobu. U grupi su bila još dvojica ljudi. Jedan je bio Agasiz, koga je uzbuđivala pomisao da bi uticajnog Baklenda mogao da preobradi. Drugi je bio Šarl Lisjen Bonaparta (Charles Lucien Bonaparte), princ od Kanina i brat bivšeg francuskog imperatora Napoleona. Šarl je bio bogat čovek, koji se strasno zanimao za prirodne nauke i koji nije ni imao šta drugo da radi otkako su Francuzi bili poraženi kod Vaterloa, 1815.

Baklend je sa Agasizom ugovorio posetu koliko iz naučnih, toliko i iz ličnih razloga. On i njegova supruga upoznali su švajcarskog prirodnjaka nekoliko godina ranije, kada su Agasizu ponudili gostoprimstvo svoga doma, dok se ovaj nalazio na proputovanju kroz Englesku, proučavajući zbirke fosila riba. Njih troje postali su dobri

prijatelji i sada su se Baklendovi radovali što će u Nešatelu upoznati Agasizovu mladu ženu, Sesil.

Putujući kroz planine ka Nešatelu, Baklend je svakako bio zaokupljen mislima. Kakve mu to dokaze njegov prijatelj može pokazati, dokaze koji bi ga ubedili u osnovanost teorije o ledenom dobu? Mala grupa nije gubila vreme u pripremama za put u planine oko Nešatela, i Agasiz je išao napred, pokazujući svedočanstva glacijacije za koja je bio uveren da će sama ispričati svoju priču. Ali je Baklend tvrdoglavo ostajao neubeden. Na kraju Agasiz je grupu odveo u Alpe, gde će, nadao se, prizor pravih glečera na delu učiniti svoje. Baklend je popustio, ali samo privremeno. Kada je docnije gospoda Baklend pisala Agasizu i zahvalila na gostoprimstvu, dodala je: „Ali dr Baklend se, kao ni ranije, ne slaže s vama.“ Očigledno je da se Baklend, izmakavši Agasizovom zaraznom uticaju i udaljivši se od svedočanstava sa alpskih terena, bio predomislio.

Ovakav obrt razočarao je Agasiza, jer je profesor Baklend bio veoma cenjeni naučnik. Kada bi se jednom preobratio, oksfordski bi geolog za glacijalnu teoriju bio isto toliko važan koliko je to car Konstantin bio za hrišćanstvo. U stvari, iako tada toga nije bio svestan, Agasiz neće morati još dugo da čeka. U jesen 1840. godine stvari su počele da se kreću povoljnijim tokom.

Presudni događaj bio je Agasizov put u Englesku, koji je preduzeo u leto 1840. najviše radi proučavanja fosila riba. Septembra meseca prisustvovao je godišnjoj skupštini Britanskog udruženja za unapređenje nauke u Glazgovu. Tamo je pročitao tekst u kojem je rezimirao svoju glacijalnu teoriju, ističući još jednom da su „u određenoj epohi celu severnu Evropu, a takođe i severnu Aziju i Ameriku pokrivala ledene mase.“

Kao što se moglo i očekivati, reakcija je uglavnom bila negativna. Voda napada bio je jedan od najistaknutijih britanskih geologa Čarls Lajel. Baklend je, iz nepoznatih razloga, ćutao. Ali njegovi dnevници ukazuju na to da je kratko vreme pre toga preispitivao dokaze u prilog glacijalnoj teoriji. Možda je semenu koje je Agasiz posejao dve godine ranije, bilo, naprosto, potrebno vreme da proklija – a možda je preobraćenje stiglo Baklenda

kao i svetoga Pavla: poput munje. Bilo kako bilo, ubrzo posle ovog sastanka Baklend je pozvao Agasiza i još jednog poznatog geologa, Roderika Impija Marčisona (Roderick Impey Murchison) da mu se pridruže na putovanju po Škotskoj i severnoj Engleskoj tokom kojeg bi proučavali tamošnje nanose. To putovanje je konačno uverilo Baklenda da je teorija koju je njegov prijatelj Agasiz tako uporno branio, tačna. Prekonoć, Baklend je postao prvi veliki pristalica teorije u Britaniji. (Marčison je, međutim, ostao neubeden i do kraja života se živo zalagao za teoriju o ledenim bregovima.)

Ono što je Baklend, kao novi pristalica, najpre uradio, bilo je da novo naučno jevanđelje očita Carlsu Lajelu. To je uspeo da učini u iznenađujuće kratkom vremenu, jer je već petnaestog oktobra pobedonosno pisao Agasizu: „Lajel je vašu teoriju prihvatio *in toto* !!! Kada sam mu pokazao prelepu grupu morena kilometar-dva od kuće njegovog oca, smesta je prihvatio teoriju, kao da time skida sa srca kamen koji ga je čitavog života pritiškao“.

Napokon je došlo vreme teorije o ledenom dobu. Lajel, najnoviji pristalica, nije gubio vreme i pripremio je predavanje pod naslovom *O geološkim dokazima o postojanju glečera u Forfarširu u prošlosti*, koje je održao na sastanku Geološkog društva u Londonu, novembra meseca. Sam Agasiz je održao predavanje pod naslovom *Glečeri i dokazi o njihovom nekadašnjem postojanju u Škotskoj, Irskoj i Engleskoj*. Ovoga puta i Baklend je istupio u odbranu teorije sa predavanjem *Dokazi o glečerima u Škotskoj i na severu Engleske*.

Moglo bi se pomisliti da je opozicija teoriji o ledenom dobu bila srušena zalaganjem ove trojice u svetu poznatih geologa. Daleko od toga, opšta reakcija okupljenih naučnika bila je sasvim negativna i posle Agasizovog i Baklendovog predavanja došlo je do žučne prepirke. Prema beleškama jednog posmatrača Baklend je prepirku okončao:

... usred veselih povika ushićenog skupa, koji je toga časa već bio oraspoložen skorašnjim izgledima na čaj (bilo je petnaest do dvanaest) i uzbuđen oštro umnim kritičkim primedbama i starinskim aluzijama... koje je učeni doktor sipao, trijumfalnim tonom i po-

gleda uperenog u protivnike, koji su se drznuli da dovedu u pitanje pravovernost ogrebotina, brazdi i uglačanih površina glečerskih planina – većitog svraba koji se ne može počesati.

U nauci kao i u religiji, novi preobraćenici često su najsnažnije vere. Nepunih mesec dana ranije, Baklend je sedeo skrštenih ruku na glazgovskom sastanku dok su Agasizovu teoriju žučno napadali. Razume se njegova nagla promena mišljenja na londonskom sastanku nije prošla nezapaženo. Karikatura je prikazala oksfordskog profesora, u odeždi i sa geološkom opremom, kako stoji na izgrebanoj i duboko izbrazdanoj kamenom pločniku (slika broj 8). Dva kamena ležala su pred profesorovim nogama; na njima je pisalo: „Izgrebao me je glečer, 33.330 godina pre stvaranja sveta“, a na drugome: „Izgrebao me je kolski točak na mostu Vaterlo, prekjuče.“

Uprkos duhovitosti popularne štampe i negativnoj reakciji članova Geološkog društva, jedno vreme je izgledalo da će se čitava britanska geologija ubrzo prikloniti Agasizovoj teoriji. Sledeće, 1841. godine geolog Edvard Forbs (Edward Forbes) pisao je Agasizu: „Učinili ste da su ovde svi geolozi dobili glečersko ludilo: Britaniju pretvaraju u ledaru. Jedan ili dva pseudogeologa napravili su neke zabavne i krajnje apsurdne pokušaje da se usprotive vašem gledištu.“ Do gađaji su pokazali da je ovaj Forbsov izveštaj bio preterano optimističan. Proći će još dvadeset godina dok većina engleskih geologa prihvati teoriju o ledenom dobu.

Zbog čega je ova teorija, koja se danas čini razumljivom sama po sebi, nailazila pre sto godina na tako veliki otpor? Sporo prihvatanje teorije može se jednim delom pripisati prirodnom otporu prema novim idejama – naročito ako su takve ideje u suprotnosti sa ukorenjenim naučnim principima ili religioznim uverenjima. Agasizova teorija je bila u suprotnosti i sa jednim i sa drugim, premda su religiozna uverenja, po svoj prilici, bila manje značajan činilac nego naučna ortodoksija.

Pre svega, geolozi su raspolagali neoborivim dokazima da su okeani u prošlosti preplavljivali kopnene oblasti, i to ne jednom, već mnogo puta. Fosili riba i školjki, sačuvani u sedimentnim stenama na svim kontinentima do-



Slika broj 8.

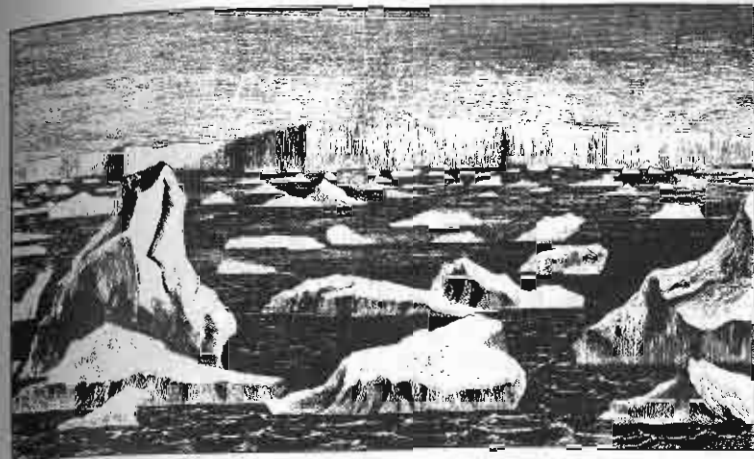
Prečasni profesor Baklend, opremljen kao „glacijalist“. Suvremena karikatura Tomasa Sopvita, koja prikazuje oksfordskog profesora dobro opremljenog za istraživanje glečera, kako stoji na izgrebanoj stenovitoj površini. Na originalnoj karikaturi, komadi stena kod njegovih nogu nosili su natpis: „Mene je izgrebao jedan glečer, 33.330 godine pre stvaranja sveta“, odnosno: „Mene je izgrebao kolski točak na mostu Vaterlo, prekjuče“. Karikaturu koja je ovde prikazana, objavio je Arčibald Gejki, koji je, iz poštovanja prema svome prijatelju, te natpise uklonio. (A. Gejki, 1875).

kazivali su to više nego izdašno. Stranice i stranice Lajelovog priručnika bile su posvećene objašnjavanju ovih morskih plavljenja i utvrđivanju njihovih geografskih granica. Pomisao da su „drift“ nanosi svedočanstvo jedne posebno velike i neobuzdane poplave, bila je samo prirodni produkt opšteg i poznatog načela.

U stvari, upravo je gotovo potpuno odsustvo morskih fosila u ovim nanosima i navelo mnoge istraživače da posumnjaju u njihovo okeansko poreklo. Da je to odsustvo bilo apsolutno, glacijalna teorija bi verovatno bila mnogo ranije prihvaćena. Na nesreću, međutim, neki su „drift“ nanosi sadržali marinske fosile i ti „nanosi sa ljušturama“ bili su trn u oku glacijalistima poput Agasiza. „Nanosima sa ljušturama“ nisu mnogo rasprostranjeni; na njih se nailazi u blizini sadašnjih obala u Novoj Engleskoj, u Nemačkoj i na nekoliko mesta u Škotskoj i severnoj Engleskoj. Ali oni postoje i bili su predmet pažljivih ispitivanja diluvijalista sredinom prošloga veka; oni su na njih ukazivali kao na dalji dokaz da nanose koji su ih zarobili nisu doneli glečeri, već ledene sante što su plovile vodama potopa.

„Nanosima sa ljušturama“ nastavili su da zbunjuju čak i najupornije braniocima glacijalne teorije sve dok, 1865. godine, jedan Škotlandanin, koji se zvao Džejms Krol (James Croll), nije uspeo da ih objasni kao rezultat kretanja ledenih masa preko oblasti koje su danas pod plitkim morima. Pokretna ledena masa pokupila je ljušture i mulj sa dna mora i docnije ih nanela na mesta na kojima se sada nalaze. Prema Krolu, okamenjene morske ljušture su, naprosto, eratički kamenovi u minijaturi, koje je led pokrenuo iz njihovih podvodnih obitavališta.

Drugi činilac koji je uticao na neprihvatanje Agasizove teorije bio je u tome što geolozi nisu posedovali, uopšte uzevši, dovoljno znanja o glečerima. Ako je takvim geolozima bilo teško da razumeju glečere, bilo im je gotovo nemoguće i da zamisle tako ogromne ledene pokrivače o kakvima je Agasiz govorio. Tek je 1852. godine jedna naučna ekspedicija jasno utvrdila da grenlandski glečeri, u stvari, čine veliki ledeni pokrivač. A tek docnije u toku devetnaestog veka, utvrđena je stvarna veličina ledenog pokrivača na Antarktiku (slika broj 9).



Slika broj 9.

Antarktički ledeni pokrivač. Zahvaljujući sve boljem upoznavanju polarnih oblasti tokom devetnaestoga veka, geolozi su mogli da upoređuju savremene ledene pokrivače sa onima iz ledenog doba. (Dž. Gejki. 1894).

Ipak – kako su se polarna istraživanja nastavljala i kako su geolozi koji su se bavili na planinama mogli da posmatraju dolinske glečere na delu – bilo je neizbežno da naučna sredina počne sve lakše da prihvata shvatanje da je Evropa nekada bila zatrpana ledenim pokrivačem sličnim onome kakav se danas nalazi na Grenlandu i Antarktiku. Kao što se i moglo očekivati, oni geolozi koji su živeli u planinskim oblastima Škotske, Skandinavije i Švajcarske, mnogo su spremnije prihvatili to shvatanje, od onih koji su živeli u nizijama kraj mora. Ovoj drugoj grupi geologa morski potop se činio najprihvatljivijim objašnjenjem „drift“ nanosa.

Međutim, još je jedan činilac delovao protiv teorije o ledenom dobu: bila su to Agasizova preterivanja. U svom oduševljenju, švajcarski je prirodnjak uporno dokazivao i tvrdio da su ledene mase dosezale mnogo šire geografske granice no što su to svedočanstva potvrđivala. Godine 1837. tvrdio je da se led prostirao na jug sve do Mediterana. Činjenica što u tim južnim oblastima nikada nije pronađen

nijedan „drift“ nanos, olakšavala je skeptičnim naučnicima da odbace i ostatak argumenata kojima je Agasiz raspolagao.

Kako su godine prolazile, Agasizove tvrdnje o opsegu ledenih pokrivača postajale su sve nastranije. Godine 1865, dok se nalazio na putovanju po Južnoj Americi, pronašao je dokaze da su se glečeri na Andima nekada prostirali znatno van svojih sadašnjih granica. Odatle je izvukao zaključak da su se nekadašnji ledeni pokrivači nad Evropom i Severnom Amerikom prostirali sve do Južne Amerike. Kako za to nije bilo čvrstih dokaza, Agasiz je uspeo samo utoliko što je naterao geologe da se naježe. Lajel je pisao: „Agasiza . . . su glečeri sasvim zaludeli . . . Čitava velika dolina (Amazona), sve do ušća, bila je puna leda . . . (A pri tome) ne navodi da je ugledao makar jedan glečerski kamičak ili uglačanu površinu stene.“ Na sreću, međutim, već je bilo pronadeno dovoljno dokaza, u Engleskoj i Evropi, da se, sa izuzetkom najzagriženijih diluvijalista osigura prihvatanje glacijalne teorije.

Dok je u Evropi besneo naučni rat, Agasiz je otputovao u Ameriku. Na put ga je nagovorio Čarls Lajel, koji je kratko vreme pre toga bio u Sjedinjenim Državama i želeo da i švajcarski prirodnjak vidi Novi svet. Lajel je Agasizu pozeleo srećan put na liverpulskom pristaništu, septembra 1846. godine i bio je uveren da će ga ponovo videti pre no što protekne godina dana.

Posle plovidbe po uzburkanom moru Agasizov brod se nakratko ukotvio u Halifaxu, pre no što će zaploviti ka Bostonu. Agasiz je požurio na obalu, u potrazi za dokazima koji će potvrditi njegovu teoriju: „Istrčao sam na obalu i bodrim korakom se uputio ka brdima iznad pristaništa . . . Sreo sam poznate znake – uglačane površine, ogrebotine i brazde . . . i uverio sam se da je i ovde bio na delu taj veliki uzročnik.“

U Bostonu je Agasizu dobrodošlicu pozeleo Džon Ejmori Lovel (John Amory Lowell), koji ga je pozvao da boravi u njegovom udobnom domu na Pemberton skveru. Kao i mnogi pre njega, i Lovel je ubrzo podlegao Agasizovom uticaju. Kao uspešni vlasnik tekstilne fabrike i član korporacije Harvardskog univerziteta, Lovel je bio u dobroj prilici da velikog evropskog prirodnjaka nagovori da mu Masačuset bude stalno boravište. Početkom sledeće

godine Agasiz je postao profesor na Harvardu: našavši se u novčanim neprilikama, sa zahvalnošću je prihvatio ponuđeno mesto. U Americi je ostao sve do smrti, 1873. godine.

Agasiz je mnogo putovao po svojoj novoj domovini i sa zadovoljstvom primećivao da su novosti o njegovoj teoriji tamo stigle pre njega. U stvari, mnogi američki naučnici već su bili prihvatili tu teoriju. Još 1839. godine, samo dve godine posle predavanja u Nešatelju, američki paleontolog Timoti Konrad (Timothy Conrad) objavio je kratak članak u kojem je istakao: „G. Agasiz pripisuje uglačane površine stena u Švajcarskoj delovanju leda, a diluvijalne brazde, kako ih nazivaju, pesku i kamenju koje su, na svom putu bez odmora, nosile ledene mase. Ja bih na sličan način objasnio uglačane površine stena u zapadnom delu države Njujork.“ Dve godine kasnije, državni geolog Masačusetsa Edvard Hičkok (Edward Hitchcock) obratio se novoformiranom Udruženju američkih geologa sa predavanjem o Agasizovoj teoriji.

Sredinom šezdesetih godina prošloga veka, nekih trideset godina pošto je predložena, glacijalna teorija je bila čvrsto ustoličena sa obe strane Atlantika. Opozicija će se, tu i tamo, zadugo čuti, a poslednji je napad bila rasprava od hiljadu stranica, koju je napisao engleski ekscentrik, ser Henri Hovort (Henry Howort), 1905. godine. Ali niko iz opozicije nije se odista mogao suprotstaviti dokazima u prilog Agasizovoj teoriji. Tada se već smatralo da se nekadašnje postojanje sveta ledenog doba samo po sebi razume. Uskoro će početi ozbiljno proučavanje toga sveta.

3. ISTRAŽIVANJE SVETA LEDENOG DOBA

Napokon ubedeći da je nekada u prošlosti vladalo ledeno doba, geolozi su marljivo prionuli na posao, sa željom da o tome dobu što više saznaju. Poput detektiva koji ispituju mesto zločina, geolozi-istraživioci su istraživali tragove i pojedinosti na osnovu kojih bi zaključili šta se, pre više hiljada godina, zbilo. Ali, za razliku od onih detektivskih priča u kojima se potraga za dokazima obično ograničava na jednu sobu ili, u najboljem slučaju, na englesko poljsko imanje, ključevi za rešavanje ove geološke tajne bili su razbacani po čitavom šaru zemaljskom. Trebalo je obaviti veoma zamašnu istragu.

Sa ove tačke gledišta, Agasiz je izabrao srećan istorijski trenutak da predloži svoju teoriju. Jer, u beričetnim godinama vladavine kraljice Viktorije, bogatstvo stvoreno industrijskom revolucijom i ono koje se slivalo iz izvora prostrane imperije omogućavalo je organizovanje geoloških ekspedicija do najudaljenijih krajeva sveta.

Geolozi iz viktorijanskog vremena imali su kako teorijske tako i praktične razloge da uporno tragaju za svedočanstvima o ledenom dobu. Postojala je, naravno, prirodna želja da se reši zagonetka koju je Agasiz postavio, ali je ekonomija obezbeđivala i dodatni motiv. U svim civilizovanim zemljama bile su organizovane geološke službe radi utvrđivanja potencijalnih ekonomskih vrednosti nepoznatih oblasti. Nigde se to nije videlo bolje nego u Sjedinjenim Državama, gde su, u godinama posle građanskog rata, geolozi počeli da, u sedlu ispituju i kartiraju Zapad. Kongresnim aktom iz

1879. godine formirana je Geološka služba SAD, koja će se sistematski baviti ovim poslom.

Da bi stekli jasnu sliku o dejstvima glečera, geolozi su se peli u planinske oblasti, istražujući aktivne i doskora neaktivne glečere. To im je omogućilo da saznaju kako su delovali nekadašnji glečeri i da tako reše tajnu nastanka glečerskih nanosa. Otkrili su da se glečerski led stvara gomilanjem slojeva snega jednog na drugi. Kada bi takva gomila narasla preko tridesetak metara, njena bi težina pretvorila najniže slojeve u led. Taj led bi tada počeo polako da klizi naniže, skupljajući na svojem putu raznovrsni slobodni materijal, ali i lomeći i gutajući velike komade čvrstih stena. Stenje i kamenje sleđeno u najnižim slojevima glečera delovalo bi poput zuba džinovske turpije, glačajući i bruseći, ali katkad i grebući stenovitu podlogu po kojoj se led kretao.

Drugo važno otkriće, učinjeno tokom ovog perioda intenzivnog istraživanja, bio je zakon koji kontroliše veličinu glečera i brzinu njihovog kretanja. Ovaj zakon se može izraziti pomoću tzv. „snežnog budžeta“. U svakoj datoj klimi glečer će održavati određenu veličinu. Veličina glečera zavisi od toga koliko snega padne svake godine i koliko se snega istopi, odnosno ispari. Ako se klima promeni, glečer će se povećavati ili smanjivati, sve dok ne postigne novu ravnotežu.

Ono što stariji geolozi nisu razumeli, bila je činjenica da, iako je donja ivica glečera koji je postigao ravnotežu utvrđena, ostatak glečera stalno klizi naniže. U višim delovima glečera, gde količina snega koji padne premašuje onu koja se otopi, ovaj tok je brz i ne dolazi do taloženja materijala. U delovima glečera sa nižom nadmorskom visinom, gde količina snega koji se otopi premašuje onu koja padne, tok je, međutim, sporiji i glečer stalno deponuje materijal na površinu pod ledom. Ovaj materijal, čvrsto uglavljen na jednome mestu i snažno sabijen težinom leda iznad njega, zove se *podinska morena* (lodgement till).

Kada nastupi toplija klima, lednički obod traži novu tačku ravnoteže. Ako je reč o dolinskom glečeru, tačka ravnoteže biće više uzbrdo, a ako je reč o ledenom pokrivaču ili kaloti, tačka ravnoteže biće više prema centru kalote. Međutim, tada se niži deo glečera smiruje – on

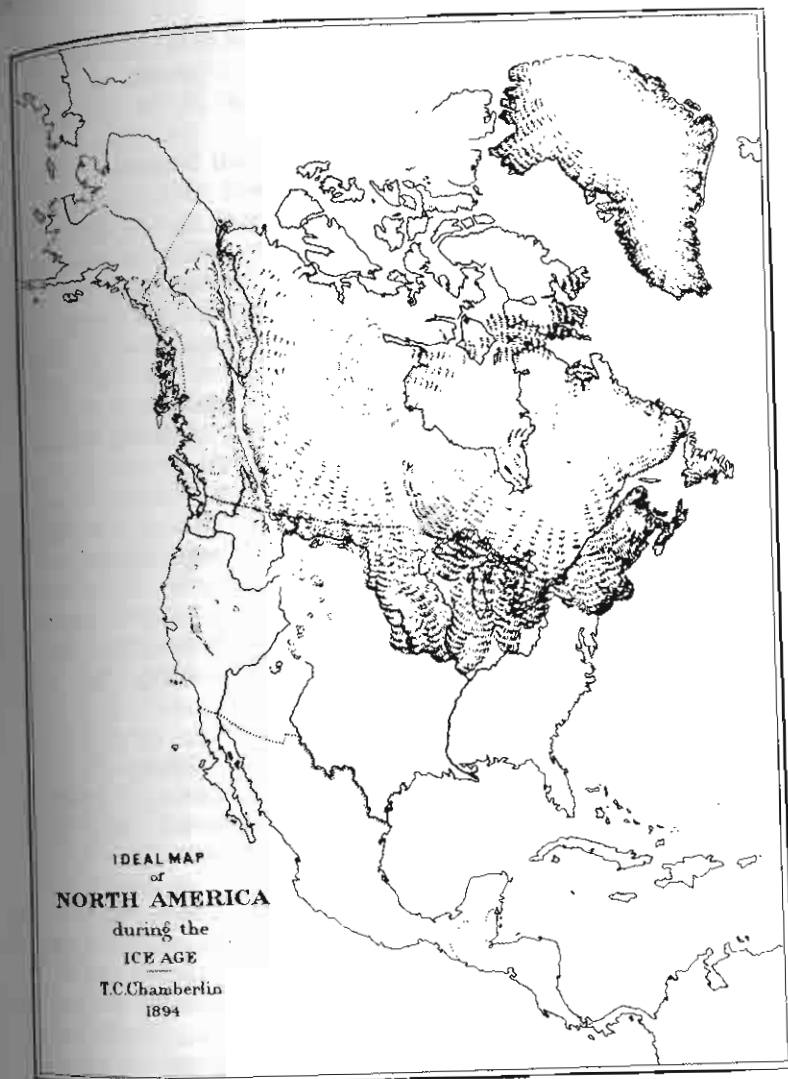
prestaje da klizi i postepeno se topi. Deo stenja, peska i drugog materijala koji se tu nađe biva na ovaj način oslobođen neposredno iz leda. Taj sloj, koji se zove *čeon* *morena* (ablation till), naleže povrhu podinske morene. Ostatak taloga odnesu sa sobom potoci koji nastaju usled topljenja vode i teku u unutrašnjosti nepomičnog glečera i po njegovim ivicama a potom taj talog deponuju kao isprani nanos.

Viktorijanski geolozi uspevali su da odrede veličinu glečera iz ledenog doba tako što bi potražili najdeblje naslage, koje bi se sastojale i od podinskih i od čeonih morena, poznate pod nazivom *završne morene* (terminal moraines). Otkriveno je takođe da su neki od nanosa koji su nazvani „drift“, bili, u stvari, isprani nanosi koje su doneli potoci vode usled topljenja i naneli ih ispred glečera.

Potrebno je bilo dosta vremena dok geolozi nisu otkrili da su slični potoci vode tekli i u samoj unutrašnjosti glečera, ispunjavajući pukotine, kaverne i pećine pod površinom ispranim nanosima nepravilnog oblika. Nije ni čudo onda što je Agasizov prijatelj prečasnii Baklend bio zbunjen ovim nanosima. Sedimentnu prostirku koju su glečeri za sobom ostavili pošto su se konačno povukli, predstavljali su haotično raštrkani neslojeviti nanosi, materijal koji je led doneo a potom ostavio da leži zbrda-zdola i oni uslojeni (čiji je materijal nosila voda, razvrstavala ga i taložila u pravilnim slojevima).

Imajući na raspolaganju sve ove nove podatke o delovanju glečera, geolozi su ubrzo uspeali da kartiraju tvorevine ledenog doba i da tako na karti prikažu prostiranje velikih ledenih pokrivača. Ustanovljeno je da u Severnoj Americi završne morene čine neprekidni greben, visok na pojedinim mestima i do pedeset metara, koji se pruža od istočnog Long Ajlanda sve do države Vašington (slika broj 10). Severno od ovih završnih morena, ustanovljeno je da su glečerski nanosi uglavnom morenske prirode; južno od njih prostirao se ravan predeo, koji je stvoren naplavlivanjem nanosa nastalih ispiranjem.

Posle kartiranja rubova ledenih pokrivača geolozi su pošli za rukom da utvrde i pravac kojim je led klizio, beležeći položaj ogrebotina i brazdi koje su glečeri, krećući se, utiskivali u stenovito tle. Ovakvi podaci bili su uzeti sa široke teritorije i, uzeti zajedno, dali su pravac kretanja



Slika broj 10.

Karta profesora T. C. Čemberlina bila je prvi pokušaj da se prikaže Severna Amerika u vreme ledenog doba. (Dž. Gejki, 1894).

leda. Drugi način za postizanje istoga cilja bilo je praćenje eratičkih gromada do njihovog prvobitnog mesta; u tom slučaju pravac kojim se led kretao mogao je da se ustasnovi prostim pogledom na kartu.

Ovi postupci primenjivani su ne samo u Severnoj Americi već i u Evropi, Aziji, Južnoj Americi, Australiji i na Novom Zelandu. Do 1875. godine rezultati tih istraživanja sažeti su u karti sveta, koja je kazivala priču o velikim glečerima kakvi su postojali na vrhuncu ledenog doba.

U celini, glečeri su pokrivali blizu 40 miliona kvadratnih kilometara – površinu tri puta veću nego danas. Ali, kako su se glečeri nalazili gotovo isključivo na severnoj polulopti, ta je brojka donekle varljiva. Samo na severnoj polulopti, glečeri su prekrivali otprilike 22,5 miliona kvadratnih kilometara – skoro trinaest puta više nego danas. A južnom je poluloptom – kao i danas – dominirala masa od 11,2 miliona kvadratnih kilometara antarktičkog ledenog pokrivača, koja se za vreme ledenog doba samo malo uvećala. Ledeni pokrivači koji su se javljali drugde na južnoj polulopti bili su, u stvari, manje ledene mase koje su samo neznatno prekoračivale planinske predele južnih Anda, odnosno jugoistočne Australije, Tasmanije i južnog Novog Zelanda.

Viktorijanski geolozi bili su iznenađeni kada su utvrdili da su veliki ledeni pokrivači na severnoj polulopti imali, pored južne, i severnu granicu. Tako se pokazala pogrešnom Agasizova pretpostavka da se jedan jedinstveni ledeni pokrivač proširio iz centra u blizini Severnog pola i postepeno prekrivio veći deo severne polulopte. U stvari, pojedini su se pokrivači širili svaki iz svojeg centra. Lorencijski ledeni pokrivač (po reci Lorens u SAD) na primer, širio se iz centra u blizini današnjeg Hadsonovog zaliva (na širini od svega 60° severne širine). Iz ovoga centra led je klizio ka severu, ka obalama Arktičkog okeana. Taj okean je, očigledno, tada kao i danas, bio samo delimično prekriven relativno tankim slojem plovećeg morskog leda.

Još 1841. godine, neki naučnici su zapazili da, ukoliko je Agasizova teorija tačna, mora biti da je iz okeana povučena ogromna količina vode, kako bi se na kopnu оформili ledeni pokrivači. U izvanredno oštrom članku objavljenom te godine, škotski geolog Čarls Maklaren (Charles

Maclaren) je istakao: „Terorija nameće jedno pitanje koje on (Agasiz) nije ni dotakao. Ako pretpostavimo da je oblast severno od 35. paralele sve do Severnog pola bila snabdevena ledenim ogrtačem dovoljno debelim da dosegne do vrhova Jure, što će reći oko 5.000 francuskih stopa ili jednu englesku milju (1. eng. milja = 1.609 metara – prev.) onda je jasno da bi povlačenje tolike količine vode iz okeana bitno uticalo na njihovu dubinu.“ Koristeći se oskudnim podacima kojima je tada raspolagao, Maklaren je izračunao da bi „povlačenje vode potrebne za stvaranje pomenutog ogrtača snizilo nivo okeana za oko 800 stopa (oko 250 metara)“.

U to vreme, ova procena je smatrana za proizvoljnu spekulaciju, ali do 1868. godine sakupljeno je dovoljno podataka, pa se mogla izvršiti tačna procena nivoa mora u vreme ledenog doba. Za takvu procenu bilo je potrebno jedino utvrditi prosečnu debljinu ledenih pokrivača, čije su granice tako jasno bile očitane na kartama. Geolozi su to učinili utvrđujući koje su planine nosile tragove glacijacije tokom ledenog doba, a koje nisu. Ako je planinski vrh bio prekriven ledom, tada je ledeni pokrivač morao biti debeo barem onoliko kolika je visina te planine od podnožja do vrha. Još tačnije određenje pružale su planine (kao, na primer, planina Monadnok u Nju Hempširu) koje su samo delimično bile pokriveno ledom: njihovi stenoviti, ledom netaknuti vrhovi izdizali su se iznad leda, kao stenovita ostrva u ledenom moru. Danas se, idući naviše uz takve planine, uočava nagla promena u izgledu predela. Ispod kritične tačke, planinske padine su ujednačene, ravne i glatke, dok je iznad te tačke topografija gruba i neravna. Debljina ledenog pokrivača mogla se utvrditi prostim određivanjem visine kritičke tačke u odnosu na podnožje planine.

Na osnovu ovakvih izračunavanja geolozima je pošlo za rukom da procene da je debljina kontinentalnih ledenih pokrivača na severnoj polulopti iznosila oko kilometar i po. Koristeći se tom brojkom, nastojali su da načine grubu procenu zapremine leda. Prvi koji je do takve procene došao bio je Čarls Vajtli (Charles Whittlesey), geolog iz Klivlenda, u državi Ohajo. Godine 1868. pisao je kako mu je cilj

... da dokaže da je, tokom glacijalnog perioda, moralo doći do znatnog opadanje nivoa okeana ... Do akumulacije leda ... može na kopnu doći jedino usled taloženja, u obliku kiše i snega koji se zamrzavaju. Krajnji izvor takvog taloženja jeste isparavanje sa otvorenih morskih površina. Jezera na kopnu, reke, močvare i nizije, snabdevaju oblake parom, ali svi baseni sveže vode primaju svoje zalihe, isprva iz okeana ... ako se zalihe vode sa površine kopna ne vrate u more, voda se mora povući iz tog zajedničkog rezervoara.

Vajtlzi je izračunao da bi „u periodu najžešćeg zahlađivanja, opadanje nivoa mora trebalo da bude najmanje stotinu, do stotinu i dvadeset metara“.

Opadanja nivoa mora o kojem je Vajtlzi govorio (a što su nedavna istraživanja i potvrdila) bilo je dovoljno značajno da izazove uočljive promene u geografiji morskih obala. Vajtlzi je pisao: „Kada bi se voda povukla, konfiguracija svih kontinenata bi se izmenila. Grupe ostrva, kao Zapadno-indijska ostrva, postale bi jedinstvenije, uz manji broj ostrva, ali veće površine; nikli bi novi vrhovi iznad površine mora, a široki plićaci ... pretvorili bi se u suhu zemlju. Docijela istraživanja i arheologa i geologa pokazaće da su baš takvim jednim kopnenim mostom, upravo otetim od mora, azijski lovci iz kamenog doba prvi put putovali ka Severnoameričkom kontinentu.“

Ubrzo su škotski i skandinavski geolozi pronašli napuštene grebene i druge obalske formacije koje su ukazivale da je nivo mora u vreme ledenog doba odista bio niži nego danas. A na nekim mestima pronašli su, takođe, dokaze da je nivo mora neposredno posle povlačenja glečera bio viši nego danas. Ovakve visoke obale su naročito uočljive u Skandinaviji, gde su, posred onoga što je danas planinska oblast, pronađene nataložene morske ljuštore, na nadmorskoj visini preko tri stotine metara. Škotski geolog Tomas Džejmison (Thomas F. Jamieson) bio je prvi koji je tačno protumačio te naslage. Godine 1865. pisao je:

„U Skandinaviji i Severnoj Americi, kao i u Škotskoj, pronašli smo dokaze da su neki tereni, odmah po stvaranju velikih ledenih pokrivača, potanjali. Posebno treba istaći da je nadmorska visina do koje su na ovim terenima na-

loženi morski fosili, gotovo sasvim ista. Pomislio sam da je ogromna težina kojom je led pritiskao tle imala neke veze sa tim potanjanjem.“

Džejmison je pretpostavio i zbog čega bi do takvog potanjanja tla došlo. Pretpostavio je, naime, da se ispod Zemljine spoljašnje, čvrste kore nalazi sloj stena „u fluidalnom stanju“, koji se pod pritiskom ponaša kao tečan.

Ova smela i originalna razmišljanja potvrđena su mnogo godina docnije uz pomoć geofizičkih merenja. Upravo kao što je Džejmison nagovestio, utvrđeno je da gornji deo Zemljine kore pluta na fluidalnom materijalu. Kada se neki deo zemljinih slojeva nađe pod velikom masom leda, on potone – tačno onako kao što čamac u koji uđe suviše ljudi, duboko zagazi u vodu.

Tako su obale predela koji su bili zahvaćeni glacijacijom kazivale čudnu priču o morskim plavljenjima. Tokom samog ledenog doba opšte spuštanje morskog nivoa učinilo je da se i obale spuste za oko stotinu deset metara. Istovremeno, težina ledenih pokrivača pritiskala je površinu tla pod sobom. Pri topljenju ovih pokrivača, usledila bi neposredna reakcija – porast nivoa mora i postepena reakcija – lagano izdizanje kopnenih površina, te je u Novoj Engleskoj, Skandinaviji i drugim oblastima koje su bile zahvaćene glacijacijom, deglacijaciju neposredno pratilo plavljenje. Kako je vreme, međutim, prolazilo, kopnene površine su se izdizale do svog prvobitnog položaja, a rezultat je ličio na ponovno opadanje nivoa mora. U nekim delovima sveta kopno još reaguje na povlačenje leda. U okolini Gornjeg jezera, na primer, zemlja se izdiže brzinom od 38,1 cm za stotinu godina. Ali, daleko od oblasti koje su bile direktno pod ledenim pokrivačem obale pričaju mnogo jednostavniju priču i odražavaju samo opšte spuštanje, odnosno podizanje morskog nivoa, u zavisnosti od povlačenja, odnosno vraćanja vode u okeanski basen.

Dok su neki geolozi ograničili istraživanja na oblasti koje su se bile našle neposredno pod ledenim pokrivačem, drugi su ispitivali kopno daleko od tih oblasti. Ovi geolozi su ustanovili da je za vreme ledenog doba, u Evropi, Aziji i Severnoj Americi, više od dva miliona kvadratnih kilometara bilo prekriveno slojem finog, homogenog, žućkastog sedimenta. Uzajmljujući stari izraz koji su upotrebljavali

nemački ratari, geolozi su ovaj talog nazvali „les“ (loess). U nekim predelima, sloj lesa bio je deblji od tri metra; na drugim mestima bilo je samo tankih i neujednačenih naslaga

Ove neobične naslage privukle su pažnju geologa još početkom devetnaestog veka, ali je njihovo poreklo ostalo nepoznato. Činjenica da je les sastavljen od sićušnih, jednakih čestica poput mulja ukazivala je na mogućnost da ga je nataložila tekuća voda. Ali les ne pokazuje horizontalnu slojevitost, karakterističnu za takve nanose, a ne sadrži ni morske fosile. Tek 1870. godine geolozi su došli do pravih objašnjenja postanka lesa. Objašnjenje je dao nemački geolog, Ferdinand fon Rihtofen (Ferdinand von Richthofen), koji je svoju teoriju objavio, a docnije je branio pred skeptičnim kolegama:

Savršeno je jasno da nijedna teorija koja polazi od hipoteze da je les nanela voda ne može da objasni sva, pa čak ni pojedina njegova svojstva. Ni mora, ni jezera, ni reke nisu mogle da nanesu les na visinu od dva i po kilometra. Vodenim poreklom apsolutno je nemoguće objasniti nedostatak slojevitosti ... vertikalne pukotine i cepljivost, povremenu pojavu zrnaca kvarca i njihov uglasti oblik ... niti prisustvo kopnenih ljuštura i kostiju kopnenih sisara.

Postoji samo jedan veliki uzročnik pomoću kojeg se mogu objasniti stotine hiljada kvadratnih kilometara prekrivenih savršeno homogenim nanosom ... Kad god *vetar* nosi prašinu iz suvih predela i nanosi je na mesto koje je prekriveno vegetacijom, ova se tu zaustavlja. Ako se takvo nanošenje ponavlja, sloj će sve više rasti.

Fon Rihtofenovo objašnjenje lesa kao nanosa koje je doneo vetar postalo je opšteprihvaćeno. Geolozima je pošlo za rukom da sliku sveta iz ledenog doba učine jasnijom i rešen je još jedan deo zagonetke. Kada bi došlo do topljenja na južnome kraju ledenog pokrivača, potoci vode bi isprali i naneli velike količine mulja. Pošto taj mulj led nije držao u ropstvu, niti ga je vegetacija vezivala

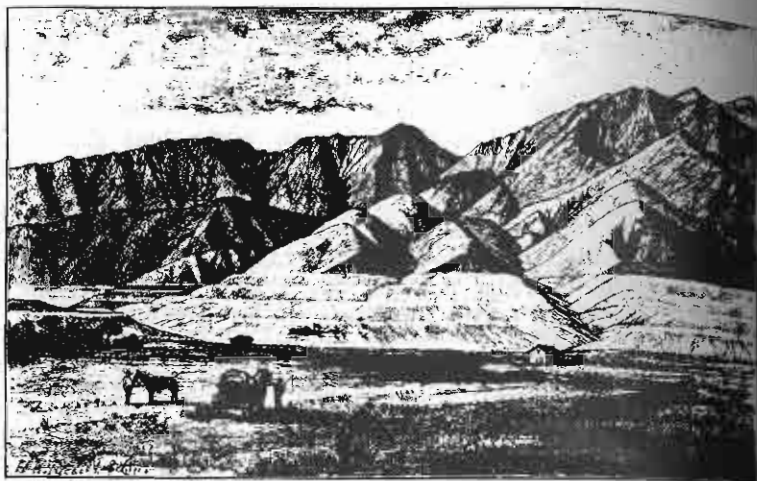
za jedno mesto, lako bi ga odnosili vetrovi sa visija, koji su vitlali ispred ledenih pokrivača. Fon Rihtofenove ideje potvrđene su zapažanjima učinjenim na Aljaski, gde se tokom leta glečeri brzo tope, a velika količina mulja nanetog u njihovom podnožju se suši, posle čega ga vetar odnosi i pokriva plodnim lesom okolne travnate površine.

Mulj koji su nekadašnji glečeri uz pomoć potoka nastalih usled topljenja izvukli iz Kanade doneo je blagodat američkim ratarima sa Srednjeg zapada. Jer, taj mulj bio je oduvan na jug, gde se zaustavljao i potom pretvarao u bogatu i lako obradivu zemlju američkog poljoprivrednog pojasa.

Geolozi koji su radili na Američkom zapadu prošli su dokaze da su delovi država Utah, Arizona i Nevada, kao i južne Kalifornije, u vreme ledenog doba bili vlažniji nego danas. Godine 1852. kapetan Hauard Stensberi (Howard Stansbury), topografski inženjer koji je istraživao zaravni u blizini Velikog slanog jezera u državi Utah, zapisao je u svoj dnevnik sledeća zapažanja:

Idući uz venac koji je povezan sa ovom ravnicom, izbrojano je trinaest izdvojenih terasa, ili vodenih oznaka, u nizu, od kojih je svaka, u svoje vreme, očigledno bila izjedena jezerskom vodom, to jest, nastala delovanjem jezerske erozije tokom određenog vremena na svakom pojedinom nivou. Najviša od tih terasa se nalazi na visini od oko šezdeset metara iznad doline ... Ako je ova pretpostavka tačna – a izgleda da joj sve ide u prilog – ovde se nekada moralo nalaziti unutrašnje more, koje se protezalo stotinama kilometara, a planine koje se danas izdižu iznad ravnice čineći njene zapadne i jugozapadne ivice, bez sumnje su bile velika ostrva, slična onima koja danas štrče iz opalih voda jezera.

Docnija istraživanja potvrdila su Stensberijeve zaključke. Sedamdesetih godina prošlog veka Grouv Gilbret (Grove K. Gilbret) iz Geološke službe SAD dokazao je da je Veliko slano jezero samo ostatak nekadašnjeg mnogo većeg jezera, koje je nazvao Jezero Bonevil (slika broj 11). U vreme ledenog doba ovo jezero je bilo veće no ijedno

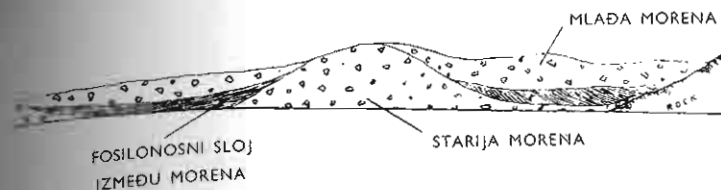


Slika broj 11.

Obala nedakasnog jezera Bonevil, u državi Utah. Terasa duž planinskih podnožja u blizini Velsvila, Utah, formirane su u različita vremena tokom ledenog doba, uz obale jezera Bonevil – velike vodene mase koje danas više nema. Kada se ledeni pokrivač povukao, klima ove oblasti pretvorila se iz vlažne u suhu, a nivo jezera je opao. Slana voda Velikog slanog jezera jedini je ostatak jezera Bonevil. (G. K. Gilbret, 1890).

od današnjih iz grupe američkih Velikih jezera, što ukazuje da je zapadni deo Sjedinjenih Država nekada bio ne samo hladniji već i znatno vlažniji no što je danas.

Već na početku ere istraživanja bilo je jakih nagaoveštaja da je u prošlosti do glacijacija došlo ne jednom, već više puta. Još 1847. godine, Eduar Kolomb (Edouard Collomb) izvestio je o dvostrukom sloju morena u francuskim Vogeziima. Ovi su slojevi, međutim, bili razdvojeni samo ispranim nanosima, koji su se mogli protumačiti i kao svedočanstvo o kratkotrajnom i neznatnom povlačenju glečerskog oboda, a ne samo kao dokaz velikog i dugog prekida glacijacije. Tokom pedesetih godina prošloga veka, slična su svedočanstva pronađena i u Velsu, Škotskoj i Švajcarskoj, ali je u načelu radije prihvatano konzervativno gledište – da medumorenski slojevi predstavljaju beznačajne klimatske promene tokom jedinstvenog ledenog doba.



Slika broj 12.

Višestruki morenski slojevi u Škotskoj. Profil u useku Kouden Barn železničke pruge pokazuje dva sloja morena, razdvojena slojem fosilnog treseta. Svedočanstvima ove vrste koristili su se geolozi devetnaestog veka da bi dokazali da je u prošlosti došlo do više od jednog ledenog doba. (Dž. Gejki. 1894).

Godine 1863. škotski geolog Arčibald Gejki (Archibald Geikie) dokazivao je da ostaci biljaka, nađeni između slojeva škotskih morena predstavljaju jasan dokaz da su se između različitih ledenih doba javljali dugi intervali tople klime (slika broj 12). Najzad, 1873. godine, Ejmos Worten (Amos H. Worthen), direktor Geološke službe Ilinoisa, pokazao je da se na jednoj moreni pre no što će biti zatrpan sledećom morenom razvio sloj zemlje bogate humusom. Pošto se zemlja ove vrste može formirati jedino u klimi dovoljno toploj da omogući bujan razvoj vegetacije, to je ona bila jak dokaz pretpostavke o postojanju toplih, interglacijalnih perioda. Samo nekoliko godina posle toga Džon Njuberi i V. Dž. Mek Gi (John S. Newberry; W. J. McGee) okončali su raspravu pokazavši da su dva sloja morena, na američkom Srednjem zapadu, bila razdvojena ostacima nekadašnje šume.

Geolozi su, do 1875. godine, obavili svoje prvo sagledavanje sveta, onakvog kakav je bio u vreme poslednjeg ledenog doba. Kartirali su njegove glečere, izmerili nivoe njegovih mora i utvrdili koji su predeli bili hladni i vlažni, a koji hladni i suvi. Otkrili su takođe da ledeno doba nije jedinstvena pojava već da je, u stvari, u prošlosti došlo do niza ledenih doba, koja su među sobom bila razdvojena toplijim, interglacijalnim periodima, sličnim ovom današnjem. Učinivši sve to, geolozi su bili spremni da svoju pažnju sa činjenica prenesu na teorije.

DEO DRUGI
OBJAŠNJENJE LEDENIH DOBA

4. PITANJE NASTANKA LEDENIH DOBA

Prihvativši i obogativši Agasizovu glacijalnu teoriju, geolozi su se suočili sa pitanjem nastanka ledenih doba. Šta je teralo ledene mase da se šire i rastu? Zbog čega su se, prekrivši gotovo jednu trećinu kopna, te ledene mase kasnije povukle? I, najzbudljivije od svega, hoće li se ponovo vratiti? – To su bila središnja pitanja u vezi sa tajnom ledenih doba.

Stvorene su mnoge teorije. Neke, za koje se isprva činilo da pružaju prihvatljive odgovore, kasnije su odbačene, opovrgnute novim dokazima. Druge, koje se nisu mogle proveriti, morale su biti ostavljene po strani, „u nedostatku dokaza“.

Nekoliki pokušaji da se reši tajna ledenih doba naišli su na teškoće jer su se isuviše usko usredsredili na fluktuacije samih ledenih pokrivača, ne sagledavajući ih kao deo globalnog klimatskog sistema – sistema koji uključuje sve pokretne sastavne delove planete: ledene mase, mora i atmosferu. Tri elementa ovog sistema vazduh-more-led međusobno su isprepleteni tako da se ponašaju kao kakva velika mašina. Promena jednoga dela izaziva odgovarajuće promene i drugih delova sistema.

Pogonska energija ovog klimatskog sistema, koja pokreće vetrove i struje, potiče od Sunca. Sunčevu energiju prima svaka tačka u atmosferi i svaka tačka na površini Zemlje. Jedan deo ove energije odbija se u prostor od čestica prašine ili oblaka u atmosferi ili od kopnenih i morskih površina. Ostatak energije koja dospe sa Sunca apsorbuje

se, a potom zrači nazad u prostor. Svaki deo klimatskog sistema, prema tome, svakoga dana apsorpcijom dobija izvesnu količinu energije, a putem zračenja i odbijanja gubi izvesnu količinu energije.

Samo na dve geografske širine postoji ravnoteža između ovog primanja i gubitka: na 40° severne i na 40° južne geografske širine. Na svim drugim širinama, energetski bilans je neuravnotežen pa tu, dakle, postoji tendencija ili ka zagrevanju ili ka hlađenju. U blizini ekvatora temperatura teži porastu. Tamo kopno i morske površine apsorbuju veliki deo energije, dani su duži, a Sunce je visoko na nebu. U blizini polova, sa druge strane, gubitak energije je veliki usled snega i leda, koji odbijaju velike količine pristigle energije. Uz to, na ovim visokim geografskim širinama Sunčevi zraci padaju koso. Kada ne bi dejstvovali nikakvi drugi procesi osim odbijanja i zračenja, polovi bi svake godine postajali sve hladniji, a ekvator sve topliji. Vetrovi i struje to sprečavaju tako što toplotu prenose sa ekvatora ka polovima. Pasati i uragani su primer tog mehanizma prenošenja toplote, kao i Golfška struja u Atlantskom, odnosno Kurošio struja u Tihom okeanu. Istovremeno, struje koje teku ka jugu, duž istočne strane severnog Atlantika i severnog Pacifika, nose hladnu vodu ka ekvatoru.

Bilo kakva valjana teorija o ledenim dobima morala bi da uzme u obzir činjenicu da bi rast ili povlačenje ledenih pokrivača imalo znatnog uticaja na ostale elemente klimatskog sistema. Na primer, ako jedan ledeni pokrivač raste, to znači da se voda mora povući iz okeana, preneti atmosferskim putem do mesta na kojem se taj pokrivač nalazi i tamo pasti u obliku snega. Varijacije u zapremini globalnog leda su na taj način nerazdvojivo vezane sa promenama morskog nivoa. Dalje, svaka promena u oblasti jednog ledenog pokrivača mora izazvati i promene u globalnoj ravnoteži zračenja. Kada ledeni pokrivač raste, toplota se gubi odbijanjem, globalna temperatura opada, i stvara se još leda. Nasuprot tome, kada se ledeni pokrivač smanjuje, temperatura raste i dolazi do daljeg topljenja. Ovaj „povratni uticaj zračenja“ (fidbek efekat) igra važnu ulogu u više teorija o ledenim

dobima, jer objašnjava na koji se način neznatna početna promena u veličini ledenog pokrivača uvećava.

Glavni cilj većine teorija bio je da se pronade uzrok takve početne promene. Od Agasizovog „Nešatelskog predavanja“ iz 1837. godine naovamo, predloženo je bukvalno na desetine objašnjenja nastanka ledenih doba. Jedno od najranijih ukazuje na to da bi ledeno doba moglo biti prouzrokovano smanjenjem količine energije koju emituje Sunce. Međutim, uopšte nema dokaza da je do takvog smanjenja odista došlo tokom bilo kojeg ledenog doba. Dakle, glavni argumenti u prilog solarnoj teoriji prilično su indirektni. Jedan od pristupa ističe zapažanja do kojih se došlo u toku prošloga veka koja govore o neznatnoj tendenciji da broj Sunčevih pega utiče na promenu padavina i temperature. Na žalost, nikada nije dokazano da je broj Sunčevih pega odista u nekoj vezi sa solarnom energijom. Postoji i gledište, zasnovano na posrednim dokazima, koje ukazuje na to da je, tokom proteklih 1000 godina, neznatno širenje planinskih glečera u vezi sa promenama na Sunčevoj aktivnosti. Iako male, te promene glečera povezuju se sa promenama temperature reda veličine od 1° do 2° C.

Ali, čak i kada bi se, na osnovu zapažanja koja bi se odnosila na proteklih stotinu ili hiljadu godina, dokazala solarna kontrola nad klimom, takav dokaz ne bi značio da su promene u Sunčevoj aktivnosti uzrok ledenim dobima. Većina istraživača veruje da bi jedini način za proveru solarne teorije bio razvoj metode za izračunavanje u kolikoj je meri Sunčevo zračenje variralo tokom vremena. Dok se to ne učini, misao o tome da solarne varijacije prouzrokuju ledena doba, ostaje u „bubnju“ - jer niti je dokazana, niti je, pak, oborena.

Druga jedna teorija smatra da klimatske promene koje zčinju ledena doba izaziva nejednaka raspodela čestica kosmičke prašine u prostoru. Prema jednoj varijanti ove teorije, kada Zemlja prolazi kroz oblast u kojoj su čestice kosmičke prašine gusto koncentrisane, biva zaklonjeno dovoljno Sunčeve energije da se javi tendencija ka zahlađivanju. Druga varijanta drži da se dešava upravo suprotno: što se više čestica nađe na putu Sunčevih zraka, ono jače sija te, dakle, usled toga temperatura na Zemlji

raste. Očigledno je da se ove dve varijante teorije o česticama prašine moraju izmiriti pre no što se ta teorija ozbiljno shvati. Pod pretpostavkom da je to izmirenje moguće, preostaje još jedna krupna prepreka koja sprečava konačnu proveru ove teorije: do danas astronomi nisu uspeli da tačno utvrde kako se tokom geološke istorije menjala koncentracija čestica prašine između Zemlje i Sunca. Kada bi se raspolagalo takvom hronologijom, naučnici bi mogli da je uporede sa hronologijom ledenih doba. Tada bi, ukoliko bi se dve hronologije poklopile, teorija dobila čvrstu osnovu.

Polazna tačka za sledeću teoriju o ledenim dobima je koncentracija ugljen-dioksida u atmosferi. Iako se ovaj gas javlja samo u veoma malim količinama (u proseku oko 33 hiljadita dela jednog procenta), istraživanja su pokazala da je on od znatnog uticaja na globalnu klimu. Uzrok tome je što ugljen-dioksid poseduje jedno neobično svojstvo: dok relativno lako propušta kratkotalasno zračenje sa Sunca, relativno je neprobojan za duge talase koji se odbijaju sa Zemlje nazad u prostor. Prema tome, promene količine ugljen-dioksida u atmosferi nameću i promene u Zemljinom toplotnom bilansu. Što je više ugljen-dioksida u atmosferi, ona se više ponaša kao stakleni krov na staklenoj bašti, zagrevajući sredinu unutra, ali zarobljavajući, istovremeno, primljenu energiju.

Mnogi naučnici su uvereni da bi ledeno doba nastalo ako bi se koncentracija ugljen-dioksida dovoljno smanjila. Ali zbog čega bi došlo do takvog smanjivanja? Sve dok teorija ne razradi objašnjenje zbog čega bi i kako koncentracija ugljen-dioksida u atmosferi mogla da se menja tokom Zemljine istorije – i naročito, – zašto bi se koncentracija smanjivala u vreme ledenih doba – ta teorija se mora svrstavati u na izgled prihvatljive zamisli, koje je, međutim, nemoguće proveriti.

Jedno od dramatičnih objašnjenja pojave ledenih doba pretpostavlja da se ona začinju tokom epoha učestalih i snažnih vulkanskih erupcija. Tokom takvih epoha raste koncentracija fine vulkanske prašine u atmosferi a, zahvaljujući njoj, u prostor se odbija više Sunčeve energije nego inače, što dovodi do zahlađivanja klime na Zemlji.

Zapažanja do kojih se došlo nakon velikih vulkanskih erupcija potvrđuju u osnovi razloženost ove teorije. Godine 1883. na primer, istočnoindijski vulkan Krakatau imao je tako snažnu erupciju da je veći deo ostrva uništen, a eksplozija se čula na udaljenosti od četiri i po hiljade kilometara. U atmosferi su dospele tako velike količine vulkanske prašine da je tokom sledeće dve godine pri sunčevom zalasku crvenilo bilo upadljivo jače nego obično. Pažljiva merenja su otkrila da je usled prisustva prašine u atmosferi prosečna globalna temperatura bila opala. Na kraju, čestice prašine slegle su se na zemlji i klima se vratila u normalno stanje. Pretpostavimo sada da učestalost takvih erupcija poraste. Zar njihovo ukupno „ohlađujuće“ dejstvo ne bi moglo da izazove ledeno doba?

Da je vulkanska prašina odista bila uzročnik ledenih doba, svedočanstva o tome morala bi biti sačuvana u starim naslagama, u postojećim glečerima ili u slojevima mulja stvorenim na dnu jezera i mora u vreme tih događaja. U načelu, trebalo bi da bude moguće proveriti teoriju o vulkanskoj prašini upoređivanjem istorijskih podataka o klimama u vreme ledenih doba sa podacima o vulkanskim aktivnostima očuvanim u sedimentnim stenama. U praksi, međutim, do sada se pokazalo nemogućim da se obave dovoljno precizna merenja i na dovoljno širokoj teritoriji, kako bi se takva poređenja uspešno izvršila.

Prema jednoj drugačijoj teoriji, koju je razvio engleski geolog iz devetnaestog veka Čarls Lajel, ledena doba pro-uzrokuju vertikalna kretanja Zemljine kore. Opšte podizanje nadmorske visine kopna izazvalo bi pad temperature, jer je na višim nadmorskim visinama atmosfera hladnija. Podrobniju varijantu ove rane teorije ponudio je, 1894. godine, američki geolog Džejms Dejna (James Dana). Njegova vizija obuhvatala je ne samo izdizanje kopnenih oblasti širom sveta već i pojavu

suve zemlje, ili pojasa veoma plitke vode, preko severnog Atlantika, od Skandinavije do Grenlanda, koja bi arktičke predele lišila snabdevanja toplotom koju sada donosi Golska struja. Na taj način organičavanje kruga Golske struje na srednje delove severnog At-

lantika dovelo bi do koncentracije toplote, stvaranja mnogo toplijeg okeana i izazvalo bi obilne padavine.

Ali škotski geolog Džejms Gejki (brat Arčibalda Gejkija) još 1874. godine ubedljivo se suprotstavio ovoj teoriji. Držao je da nije moguće poverovati da bi se „tako velike oscilacije Zemljine kore mogle dogoditi u tom relativno kratkom vremenu“. Dodao je, štaviše da pored toga što „nam je teško da pojmimo izdizanje koje će se uočiti istovremeno na gotovo celoj kopnenoj površini severne polulopte, nisu ništa manje ni teškoće na koje nailazimo nastojeći da objasnimo glacijalne pojave i na južnoj polulopti“. Svi dokazi pribavljeni otada naovamo idu u prilog Gejkijevoj negativnoj reakciji.

Druga grupa teorija mnogo je skorijeg postanka. Te teorije izdvajaju pojedine elemente klimatskog sistema, i nastoje da pomoću njih objasne nastanak ledenih doba. Među njima je možda najpoznatija ona koju je predložio novozelandski naučnik, Aleks Vilson (Alex T. Wilson), 1964. godine. Vilson je smatrao da bi naglo klizanje velikih delova antarktičkog ledenog pokrivača u okean izazvalo klimatske promene koje bi dovele do ledenog doba. U normalnoj situaciji sneg koji se skuplja na površini ovog ledenog pokrivača, klizi lagano ka njegovim ivicama, gde se komadi leda lome u vidu ledenih santi. Vilson je mislio kako bi lagano povećavanje težine glečera i akumulacija vode u njegovom podnožju povremeno dovodilo do rušenja glečera koji bi brzo skliznuo u okean. Ovakva iznenadna, periodična obrušavanja poznata su kod nekih planinskih glečera i Vilson je tu pojavu jednostavno pripisao i antarktičkom ledenom pokrivaču. Obrušavanja tako velikih dimenzija svakako bi imalo veoma krupnih posledica u pogledu klime. Pri svakome obrušavanju, okean bi se našao pod slojem plovećeg leda čije bi odbijajuće, reflektujuće svojstvo bilo vrlo izraženo. Odbijajući nazad u prostor veću količinu Sunčevog zračenja. Takav ploveći sloj leda bio bi sposoban da izazove ledeno doba.

Mnogi naučnici su bili razočarani kada nije pronađen nikakav dokaz koji bi Vilsonovu dramatičnu teoriju podržao. Prema toj teoriji, da je do obrušavanja zaista došlo,

nivo mora bi se naglo podigao, a ledeno doba bi usledilo nakon tog iznenadnog podizanja morskog nivoa. Nasuprot tome, kao što je objašnjeno u prethodnom poglavlju, početak ledenog doba podudara se sa postojanim opadanjem morskog nivoa. Pored toga, takav ploveći sloj leda, kada bi se otopio, ostavio bi sasvim određenu vrstu sedimenata na morskome dnu. Činjenica što takav tip sedimenata nije pronađen, još više dovodi u sumnju ovu teoriju.

Drugačiju teoriju, zasnovanu na varijacijama unutar Zemljinog klimatskog sistema, predložila su 1956. godine dva naučnika sa Lamont geološke opservatorije Univerziteta Kolumbija, Moris Eving i Vilijam Don (Maurice Ewing; William Donn). Oni su smatrali da su temperature arktičkog regiona dovoljno niske da omoguće rast jednog ledenog pokrivača kada bi se povećao priliv vlažnog vazduha i pojačale snežne padavine. Kada bi do takvog priliva došlo, ledeni pokrivač bi počeo da raste, a kako bi dodatni snežni pokrivač pojačao odbijanje Sunčeve energije od površine, javila bi se tendencija ka zahlađivanju, koja bi se sama održavala. Ali kakav bi činitelj pokrenuo takvu aktivnost, pumpajući vlažan vazduh ka arktičkim prostranstvima, koja su sada relativno suva?

Suštinu Eving-Donove teorije čini ideja da ledeno doba počinje kada, za kratko vreme, Arktički okean biva oslobođen leda i otvoren toplim strujama iz severnog Atlantika. Tokom takvog intervala povećava se isparavanje, atmosfera iznad odgovarajućih oblasti biva nabijena vodenom parom, a na okolno kopno pada više snega. Kad jednom dođe do toga povratni uticaj odbijanja čini da se proces glacijacije širi, i to dovodi do ledenog doba. Proces deglacijacije počinje kada temperature padnu dovoljno nisko da izazovu ponovno zaleđivanje Arktičkog okeana. Pošto se na taj način prekine njihov glavni izvor vlage, ledeni pokrivači se smanjuju, nivo mora se povećava, a tople struje severnog Atlantika ponovo počinju da tope led Arktičkog okeana.

Prema ovoj originalnoj teoriji, sama dinamika sistema vazduh-more-led dovoljna je da pokrene prirodni klimatski ciklus u kojem se topli interglacijalni periodi smenjuju sa glacijacijama. Teorija se može proveravati, jer pretpostavljena istorijski niz događaja koji bi ostavio svedočanstva

u sedimentima Arktičkog okeana. Sedimentni slojevi formirani u tom okeanu na početku ledenog doba trebalo bi da sadrže fosile životinja koje su živele u vodama izloženim Sunčevoj svetlosti. Ali takvi fosili nisu pronađeni. Naprotiv, istraživanje sedimenata pokazalo je da Arktički okean, tokom proteklih nekoliko miliona godina, nijednom nije bio oslobođen leda.

Druge teorije zasnovane na internim svojstvima klimatskog sistema u manjoj su meri dostupne analizi nego Vilsonova teorija o obrušavanju ili Evingova i Donova teorija o ledu Arktičkog okeana. Među takvim teorijama nalazi se i stohastička teorija, koja je u proteklih deset godina stekla mnoge pristalice. Središnja pretpostavka stohastičke teorije je da su dugoperiodične varijacije bitno i prirodno svojstvo klimatskog sistema.

U kratkoročnim razmerama, pojedine „slučajne“ klimatske varijacije javljaju se od meseca do meseca i od godine do godine. Prema stohastičkoj teoriji o ledenim dobima, intenzitet tih promena je veći ukoliko je duži interval koji se ispituje. Zagovornici ove teorije ističu činjenicu da su klimatske razlike između dve uzastopne decenije upadljivije od razlika između pojedinih uzastopnih godina u okviru jedne od tih decenija. Teorija smatra da će, ako se ispituju sve duži i duži vremenski intervali, biti otkrivana sve oštrija i oštrija klimatska variranja – do nedogled. Predlažu se i složeni matematički argumenti koji bi trebalo da tu pretpostavku podupru.

Prema stohastičkoj teoriji, dakle, nijedno određeno ledeno doba ne iziskuje nikakvo posebno objašnjenje. Ledeni su doba, naprosto, primeri dugoročnih varijacija klime, varijacija koje se javljaju kao rezultat kumulativnog dejstva mnogih malih, „slučajnih“ promena klime, čiji uticaj „pamte“ mora ili ledeni pokrivači. Kako ova teorija smatra da ledena doba ne izaziva nikakav određeni događaj, nju je teško proveriti.

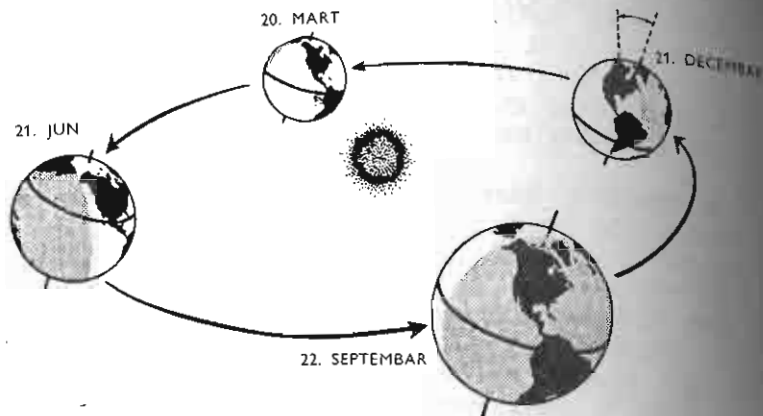
I, kakav je dosadašnji rezultat? – Ne mnogo ohrabrujući, svakako. Od osam glavnih teorija predloženih kao objašnjenje pojave ledenih doba tri su odbačene, a preostalih pet se ne mogu proveriti. Ali, igra nije izgubljena, jer postoji još jedna teorija koja čeka da u igru uđe – teorija koja je ozbiljan takmac još od vremena kada je prvi put predložena, svega pet godina nakon Agassizovog *Nešatelskog predavanja*.

Priča o astronomskoj teoriji počinje 1842. godine, kada je objavljena knjiga koja se zvala *Revolucija mora* (*Revolutions of the Sea*). Knjigu je napisao Žozef Alfons Ademar (Joseph Alphonse Adhémar), matematičar koji je kao privatni učitelj živio u Parizu. Ademar je prvi ukazao na to da su promene Zemljine putanje oko Sunca glavni uzrok ledenih doba.

Ademar je znao da Zemljina orbitalna putanja oko Sunca nije kružnica, već elipsa; (Slika 13) ovu je činjenicu dokazao u sedamnaestome veku astronom Johan Kepler (Johann Kepler).

Zemljina osa rotacije nagnuta je za 23,5 stepena od normale povučene na orbitalnu ravan. Godišnja doba se smenjuju zbog toga što ovakva orijentacija ose ostaje nepromenjena dok Zemlja kruži oko Sunca. Kada je Severni pol nagnut na suprotnu stranu od Sunca, severna polulopta doživljava zimu. Kada je Severni pol nagnut ka Suncu, ta polulopta doživljava leto.

Kepler je pokazao da se Sunce nalazi u jednoj žiži Zemljine orbite (slika broj 14). Druga žiža je „prazna“. Tokom Zemljinog jednogodišnjeg putovanja oko Sunca, ona je nekada bliže Suncu, a nekada dalje od njega. Svake godine, oko 3. januara, Zemlja se, na svojoj orbitalnoj putanji, približava tački koja se zove perihel i tada je najbliže Suncu. Oko 4. jula, Zemlja dolazi do tačke koja se zove afel i u kojoj je najdalje od Sunca. U afelu



Slika broj 13.

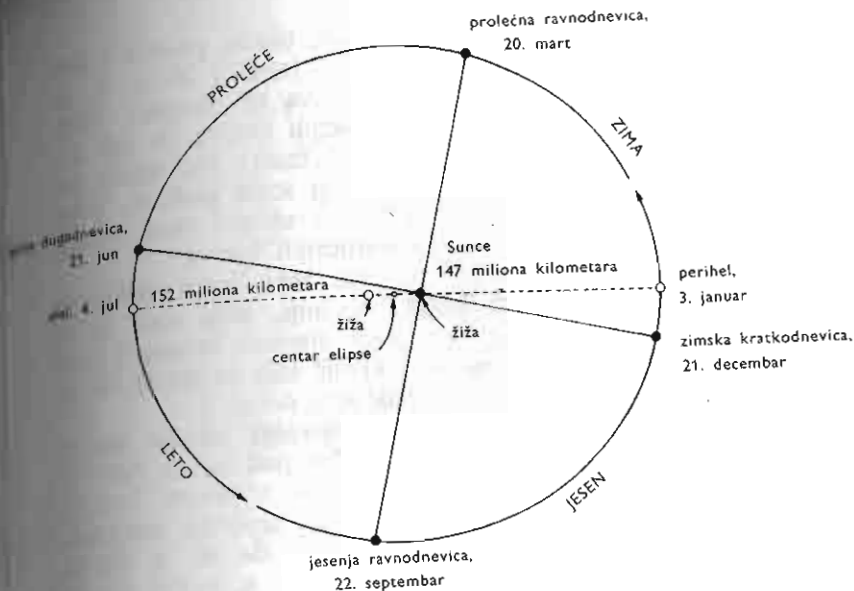
Smjena godišnjih doba. Usled nagiba rotacione ose Zemlje, tokom njenog okretanja oko Sunca dolazi do promena u osunčavanju, što dovodi do smene godišnjih doba. (Ljubaznošću G. Kukle).

je udaljenost Zemlje od Sunca oko pet miliona kilometara veća nego u perihelu.

Svako godišnje doba počinje na određenoj tački Zemljine orbite, koja se zove prekretnica. Ove tačke Zemlja dostiže na (ili blizu) 21. decembar, 20. mart, 21. jun i 22. septembar svake godine. Na severnoj polulopti 21. decembar označava početak zime, jer je toga dana Severni pol najdalje nagnut na suprotnu stranu od Sunca, i taj je dan najkraći dan u godini na celoj severnoj polulopti. Ovaj dan se na severnoj polulopti zove zimska kratkodnevica. Na južnoj polulopti, 21. decembar je letnja dugodnevica, jer je tamo to najduži dan u godini i označava početak leta.

Šest meseci posle toga, 21. juna Zemlja dolazi do prekretnice na kojoj počinje leto na severnoj, a zima na južnoj polulopti. U toj tački, Severni pol je nagnut ka Suncu, a 21. jun je najduži dan u godini na severnoj polulopti.

Samo dva puta godišnje, 20. marta i 22. septembra, dva pola su na podjednakoj udaljenosti od Sunca. Tih



Slika broj 14.

Ravnodnevica i solsticiji. U ravnodnevničnim tačkama oba pola su na podjednakoj udaljenosti od Sunca, a dan i noć su, na celoj Zemlji, podjednake dužine. U tački letnje dugodnevica, Severni pol je nagnut ka Suncu i tada je na severnoj polulopti najduži dan u godini. U tački zimске kratkodnevica, Severni pol je nagnut na suprotnu stranu i tada je na severnoj polulopti najkraći dan u godini.

dana broj dnevnih časova jednak je broju noćnih časova na svim tačkama na Zemlji, pa se te dve tačke na Zemljinoj orbiti zovu ravnodnevnicе ili ekvinociji (= jednake noći). Na severnoj polulopti, prolećna ravnodnevica (20. mart) označava početak proleća, a jesenja ravnodnevica (22. septembar) početak jeseni. Na južnoj polulopti je obratno. Kada bi se u ravni Zemljine orbite povukle dve linije, od kojih bi jedna spajala ravnodnevnicе, a druga kratkodnevnicu i dugodnevnicu (solsticije), te dve linije bi se sekle pod pravim uglom, a u tački preseka nalazilo bi se Sunce. Kraća od te dve linije (vidi sliku 14), koja spaja ravnodnevnicе, deli elipsu orbite na dva nejednaka dela. Put koji Zemlja pređe od 22. septembra do 20. marta kraći je od drugog dela orbite, koji Zemlja pređe od 20. marta do

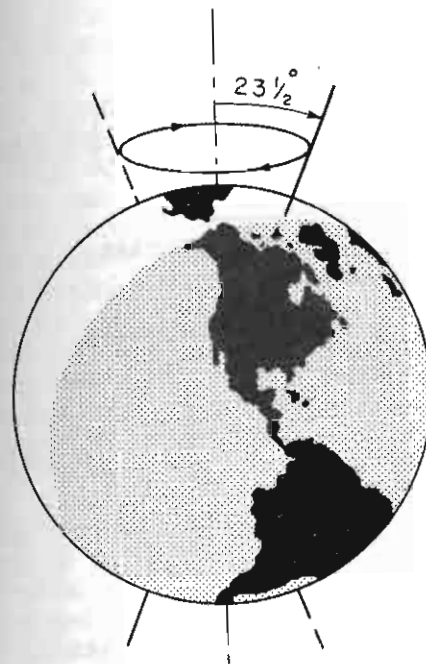
22. septembra. Na severnoj hemisferi, otuda, proleće i leto imaju tačno sedam dana više nego jesen i zima. A na taj način ukupan broj dnevnih časova na severnoj polulopti veći je od ukupnog broja noćnih časova za 168 časova u toku godine (24 časa puta 7 dana). Na južnoj polulopti situacija je obrnuta. Tamo su topla godišnja doba za sedam dana kraća od hladnih, a ukupni broj noćnih časova veći je od ukupnog broja dnevnih časova.

Ademar je nastojao da dokaže kako južna polulopta mora da postaje sve hladnija i hladnija, zbog toga što u toku godine ima više noćnih nego dnevnih časova, i ukazivao je na antarktički ledeni pokrivač kao na dokaz da se južna polulopta sada nalazi u ledenom dobu.

Zadovoljivši se ovakvim objašnjenjem uzroka što je južna polulopta danas hladna i delimično pod ledom, Ademar je pokušao da objasni i zbog čega bi se, u nekom drugom vremenu u prošlosti, led pojavio i na severnoj polulopti. Svoju je teoriju zasnovao na činjenici da se, u dugim vremenskim intervalima, javljaju varijacije u smeru nagiba Zemljine ose rotacije. Ove je varijacije prvi otkrio Hiparh, oko 120. godine pre nove ere, upoređujući vlastita astronomska zapažanja sa zapažanjima Timoharisovim kojih sto pedeset godina ranije.

Danas se tačka oko koje nam se čini da se zvezde okreću, ako ih gledamo sa severne polulopte, nalazi u blizini zvezde Polaris, koje se zove i Severnjača, zbog toga što je Severni pol okrenut ka njoj. Severnjača čini rudi sazvežđa Mala kola. Ali, oko 2000. godine pre nove ere, Severni pol je bio okrenut ka jednoj tački između Malih kola i Velikih kola. Oko 4000. godine, pre nove ere, Severni pol je bio okrenut ka rudi Velikih kola.

Ucrtavajući ovo kretanje na zvezdanu kartu, stari astronomi su mogli da pokažu da Severni pol nije uvek okrenut ka istoj tački. Zemljina osa rotacije se kružno klata, poput gornjeg dela čigre koja gubi brzinu, tako da Severni pol opisuje krug u prostoru (vidi sliku 15). Ovo kretanje, koje se zove precesija ravnodnevnih tačaka je veoma sporo; mora da protekne 26.000 godina pre no što se osa vrati na istu tačku kruga. Godine 1754. francuski matematičar Žan le Rond d'Alamber (Jean le Rond d'Alembert), analizirao

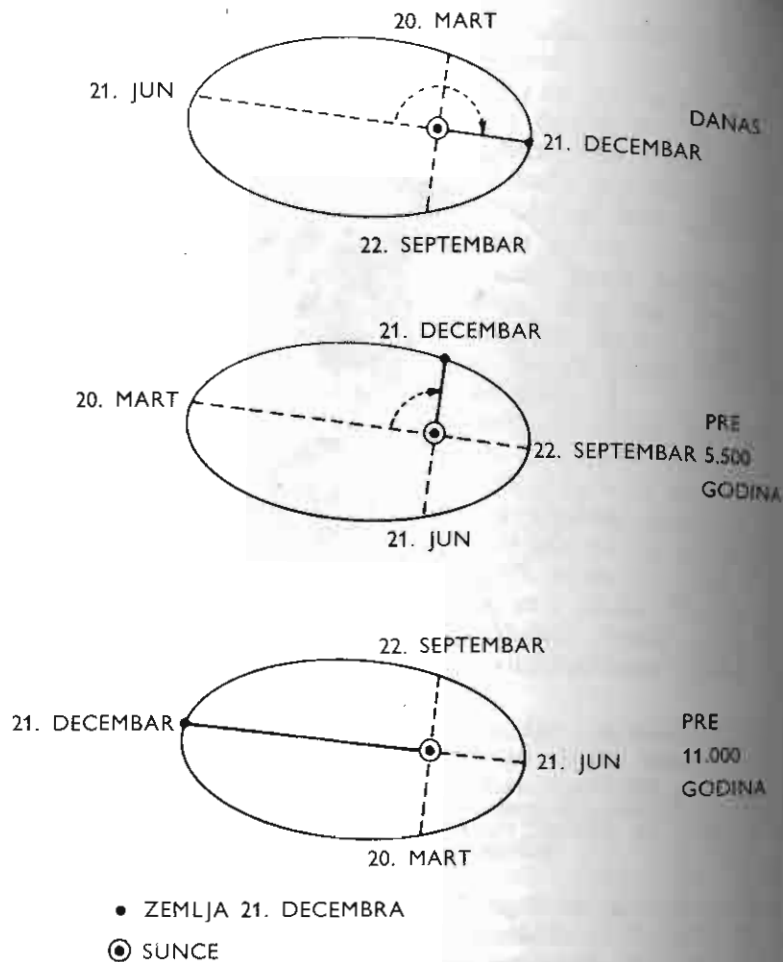


Slika broj 15.

Usled gravitacionog dejstva Sunca i Meseca na ekvatorijalnu izbočinu Zemlje, njena rotaciona osa lagano opisuje kružnu putanju; da bi opisala ovaj krug, potrebno je da protekne 26.000 godina. Nezavisno od ovog ciklusa precesije rotacione ose, nagib Zemljine rotacione ose, meren u odnosu na vertikalu, varira za oko $1,5^\circ$ na jednu ili drugu stranu; prosečni ugao nagiba je $23,5^\circ$.

je tu pojavu, do koje dolazi usled delovanja gravitacionog privlačenja Sunca i Meseca, na Zemljinu ekvatorijalnu izbočinu.

Precesija Zemljine ose rotacije uslovljava da se prekretnice na Zemljinoj orbiti lagano pomeraju duž orbite. Posmatraču koji bi iz visine gledao na Severni pol činilo bi se da je ovo kretanje istoga smera kao i kretanje kazaljke na satu (vidi sliku broj 16). Istovremeno, ravan orbite takođe rotira – nezavisno ali i mnogo sporije – u smeru obratnom kretanju kazaljke na satu, u istoj ravni. Zajedno, ova dva kretanja čine da se prekretnice pomeraju na orbitalnoj putanji. To pomeranje izaziva klimatska dejstva precesije, ili unazadnog pomeranja ravnodnevnih tačaka.



Slika broj 16.

Precesija ravnodnevničnih tačaka. Usled precesije rotacione ose Zemlje i drugih astronomskih kretanja, pozicija ravnodnevničnih tačaka (20. mart i 22. septembar) i kratkodnevica, odnosno dugodnevica (21. decembar i 21. jun) lagano se menja duž Zemljine eliptične orbite. Ovo pomerenje iziskuje 22.000 godina da bi se opisao puni krug. Pre jedanaest hiljada godina, zimska kratkodnevica javljala se u blizini jednog kraja orbite, a danas se javlja u blizini drugog, suprotnog kraja. Zahvaljujući tome, udaljenost između Zemlje i Sunca na dan 21. decembra se menja

Kao što je d'Alamber pokazao, ravnodnevnične tačke, krećući se duž orbite opisuju puni krug jednom u 22.000 godina. Danas, na severnoj polulopti zima počinje kada je Zemlja blizu Sunca, u blizini jednog od krajeva elipse. Pre jedanaest hiljada godina zima je počinjala kada bi Zemlja bila mnogo dalje od Sunca, u blizini suprotnog kraja elipse. A pre 22.000 godina Zemlja je bila u istovetnoj orbitalnoj poziciji kao danas.

Ademar je mislio da se ledena doba javljaju u funkciji ovog 22.000-godišnjeg ciklusa i da bi polulopta koja bi imala dužu zimu prolazila kroz ledeno doba. Na taj način, svakih 11.000 godina (to jest, svakih pola ciklusa), dolazilo bi do ledenog doba, neizmenično na jednoj i drugoj polulopti.

Najveći deo Ademarove teorije bio je pažljivo promišljen. Jedan zaključak je, međutim, bio toliko ekstravagantan da je bacao sumnju na teoriju u celini. Ademar je, naime, nastojao da dokaže da je gravitaciono privlačenje antarktičkog ledenog pokrivača bilo tako snažno da je moglo da izvuče vodu iz okeana severne polulopte i načini jednu vodenu izbočinu na južnoj polulopti. Dramatično slikajući šta bi se dogodilo kada bi, u tom slučaju, temperature na južnoj polulopti počele da rastu, Ademar je zamišljao kako se ogromna ledena kapa Antarktika topi i omekšava dok, najzad – izjedena vodom okeana, koji je sve topliji – ne počne da liči na džinovsku pečurku. Naposletku bi se čitava preostala masa stropoštala u okean, stvarajući tako ogroman talas koji bi krenuo na sever da proguta čitavo kopno.

Iako su Ademarovi savremenici odbacili ove okeanske revolucije kao puki proizvod mašte, nije im bilo tako lako da kritikuju astronomski deo teorije. Prvi koji je to učinio bio je baron Aleksander fon Humbolt (Alexander von Humbolt), nemački prirodnjak, koji je 1852. godine istakao da je Ademarova osnovna postavka – da se jedna polulopta zagreva dok se druga hladi – pogrešna. Prosečna temperatura i jedne i druge polulopte nije pod kontrolom dnevnih i noćnih časova, već ukupnog broja kalorija Sunčeve energije koji se primi svake godine. I, kao što su d'Alamberova izračunavanja pokazala mnogo godina pre toga, svako smanjenje Sunčeve toplote do kojeg dolazi tokom jednog godišnjeg doba zato što je Zemlja daleko od Sunca, biva tačno nadoknađeno povećanjem toplote za vreme sup-

rotnog godišnjeg doba, kada je Zemlja bliže Suncu. Prema tome, ukupna količina toplote koju u toku godine primi jedna polulopta jednaka je količini toplote koju primi ona druga.

Pravi razlog što je južna polulopta ipak hladnija od severne pronađen je mnogo godina docnije. Antarktički kontinent okružuje Južni pol, izolovan je od drugih kopnenih masa a i daleko je van domašaja ublažavajućeg uticaja toplih okeanskih struja, te je stoga taj kontinent dovoljno hladan da održava stalni ledeni pokrivač. Sam taj ledeni pokrivač još više snižava temperaturu, odbijajući veliki deo Sunčeve energije nazad u prostor.

Iako se pokazalo da je Ademarova teorija netačna, ona je, ipak, bila važan korak ka razumevanju tajne ledenih doba. Misao o tome da astronomske pojave, kao procesija ravnodnevničnih tačaka, mogu u znatnoj meri da deluju na klimu na Zemlji, nije bila zaboravljena i pripremiče teren za dalja otkrića.

6. ASTRONOMSKA TEORIJA DŽEJMSA KROLA

U vreme kada je, 1842. godine, bila objavljena knjiga *Revolucije mora*, čovek koji će Ademarove ideje prihvatiti i razviti ih u novu astronomsku teoriju klime radio je kao mehaničar u škotskom gradiću Benhoriju. Život Džejmsa Krola, koji je tada imao dvadeset jednu godinu i posedovao duboko filozofski um, nije bio ni lak ni blagodaran. U zrelijim godinama sećaće se da je „u proseku spavao u tri različita kreveta tokom sedmice, i to ne najudobnijim. Mi graditelji minova uglavnom smo morali da spavamo u kakvoj ratarskoj kolibi ... i često smo bili prinudeni da se dobro uvučemo u odeću, kako bismo se zaštitili od pacova.“

Detinjstvo je Krol proveo na porodičnoj farmi u seocetu Volphil. Njegov otac, kamenorezac, bivao je odsutan tokom većeg dela godine. Sa trinaest godina Džejms je morao da napusti školu, kako bi kod kuće pomagao majci. Ipak je nekako uspevao da sam nastavi učenje i ubrzo je bio zatrpan knjigama iz filozofije i teologije. Kasnije se sećao svoga reagovanja na knjigu iz oblasti fizičkih nauka: „Isprva sam bio zaprepašćen, ali su me ubrzo lepota i jednostavnost zamisli ispunile oduševljenjem i divljenjem, i otada sam počeo da se ozbiljno bavim izučavanjem tog predmeta.“ Neće proći mnogo vremena, a njegova će ozbiljnost prerasti u opsesiju da razume osnovna načela prirode:

Da bih shvatio neki dati zakon, morao sam najčešće, da se prethodno upoznam sa zakonima ili uslovima na kojima je počivao. Dobro se sećam da sam, pre no što sam mogao da zakoračim u nebesku mehaniku,

morao da se vratim i najpre proučim zakone kretanja i osnovna načela mehanike. Proučavao sam pneumaticu, hidrostatičku, optiku, nauku o toploti i elektricitetu, i magnetizam.

Do svoje šesnaeste godine, Krol je bio stekao „prilično poznavanje osnovnih načela tih grana fizičke nauke.“ Da bi mogao da se otisne stazom naučne karijere, međutim, morao je da stekne i univerzitetsko obrazovanje, a to je bilo van mogućnosti Krolove porodice. U leto 1837. godine bio je prinuđen da se opredeli za neko zanimanje.

Nakon nekoliko dana razmišljanja, odlučio sam da bih se mogao da okušam u zanimanju graditelja mlinova. Kako sam bio zainteresovan za teorijsku mehaniku, palo mi je na um da bi taj posao mogao da bude najpodesniji . . . Ali docnije sam uvideo svoju grešku. Jer, iako mi je teorijska mehanika bila poznata, teško da sam, kao praktični mehaničar dosezao i do preseka. Jaka prirodna težnja moga uma ka apstraktnim razmišljanjima, činila me je na neki način nepodobnim za praktične pojedinosti svakodnevnoga posla.

Sukob između praktičnih potreba kakve je iziskivao rad da bi se preživelo i želje za čitanjem i istraživanjem, godinama će se nadnositi nad Krolovim životom. Najzad, u jesen 1842. godine, želja za učenjem je pobedila. Napustio je posao graditelja mlinova i vratio se kući, da bi izučavao algebru. Idućeg proleća prihvatio se tesarškog posla. Našavši da mu taj posao odgovara, odlučio je da se posveti stolarstvu. Na žalost, povreda na laktu, koju je zaradio još kao dečak, bila je sklona upalama. Godine 1846. sve žešći bolovi prisilili su Krola da potraži neko novo zanimanje. Spreman da se prihvati bilo čega, jedno je vreme radio u prodavnici čaja i, docnije, otvorio vlastitu radnju. Tokom toga vremena Krol je upoznao Izabelu Mekdonald i oženio se njome; par se smestio u Elginu i živio mirnim životom.

Kako će docnije Krol primetiti: „Čudni su putevi Providenja, jer da u ranoj mladosti nisam preživio tu prostu nezgodu, sva je prilika da bih sve do smrti radio kao stolar.“ Umesto toga, oslobođen dugih časova fizičkog rada, imao je dovoljno

vremena za čitanje i razmišljanje. Kada je naišao na raspravu o filozofskim pitanjima slobodne volje, koju je napisao Džonatan Edvards (Johnathan Edwards), Krol je odlučio da počne od početka knjige i da je prouči red po red, stranicu po stranicu, sve dok sasvim ne ovlada raspravom. „To sam učinio sa najvećom pažnjom, zadržavajući se često po čitav dan na jednoj jedinjoj stranici. Verovatno da niko nikada nije posvetio takvu pažnju toj knjizi.“

Da je Krol u svoju radnju ulagao toliko energije koliko je ulagao u učenje, njegov bi posao cvetao. Njegov prijatelj i biograf, Džejms Ajrons (James C. Irons), zaključio je da Krol po temperamentu nije bio stvoren za trgovca. „Sve do smrti“, pisao je, „Krol je bio skroman, stidljiv, krut i gotovo i nije nikada govorio, izuzev kada bi se našao među dobrim prijateljima i kada bi ga razgovor zainteresovao“. Jedan drugi prijatelj slagao se sa time:

Sve u svemu, bilo je nečeg neobičnog u pojavi tog čoveka, velike glave i masivnog čela, pitomog izraza lica, teškoga tela i ogromnih šaka a ukočene ruke, kako stoji za tezgom prodavnice čaja . . . niko, pa čak ni najpovršniji posmatrač, ne bi mogao da vidi Krola u ulozi prodavca a da ne uoči da to nije prodavac po rođenju, već da se očigledno nalazi u nekoj drugačijoj sferi.“

Do 1850. godine, Krolov lakatni zglobov sasvim je okoštao i on je bio prinuđen da proda radnju. Neko vreme je pravio i prodavao električne sprave za ublažavanje telesnih bolova, ali je tržište takvih izuma uskoro postalo prezasićeno i 1852. godine Krol se okrenuo hotelijerstvu. Da bi sačuval svoj kapital, koji je bio počeo da se osipa, Krol je sam načinio nameštaj za svoj hotel. Lokacija koju je izabrao za svoj novi poduhvat bio je Blergori – gradić sa samo 3500 stanovnika – smešten daleko od bilo kakve železničke pruge i već pun krčmi i svratišta, kojih je bilo ukupno šest. Da bi stvari bile još gore, Krol nije dozvoljavao da se kod njega toči viski. Hotel je, dabome, propao i 1853. godine Krol je izmislio novo zanimanje – ovoga puta biće prodavac životnog osiguranja.

Tokom sledeće četiri godine Krol je osiguranje prodavao najpre u Škotskoj, a zatim i u Engleskoj. Kasnije se sećao da je to bio najteži deo njegovog života. „Za nekoga poput mene, prirodno naklonjenog povučenosti, i čak samoći, bilo je odista bolno stalno se suočavati sa strancima.“ Bez obzira na to, istrajao je na ovome poslu sve do 1857, kada ga je bolest njegove supruge nagnala da napusti osiguravajuće društvo „Siguran život“. Par se potom preselio u Glazgov, gde je Izabelu mogla da neguje njena sestra. Neko vreme Krol nije mogao da nađe posao i sada je bio „u savršenoj dokolici“ i „u stanju da zabeleži neke misli o metafizičici teizma“ – predmetu o kojem je razmišljao. Otišao je u London i pronašao izdavača koji će objaviti njegov rukopis. *Filozofija teizma* dobila je povoljne kritike, pa su i Krol i izdavač bili na dobiti.

Dve godine kasnije, Krol se zaposlio kao nastojnik u Andersonovom koledžu i Muzeju u Glazgovu. „Sve u svemu“, pisao je, „nikada ranije nisam se našao na mestu koje bi mi tako odgovaralo kao što je bila ta ustanova... Plata je, istina, bila mala, jedva tolika da bi se preživelo, ali je bila nadoknadena nekim prednostima druge vrste.“ Krol je, naime, sada imao pristupa odličnoj naučnoj biblioteci i mogao je da udovolji svojoj „gotovo neodoljivoj sklonosti ka čitanju, koja me je sprečavala da se ceo posvetim poslovima“.

U početku se usredsredio na fiziku i 1861. godine objavio je naučni članak o električnim pojavama. Docnije je, međutim, usmerio svoje interesovanje na geologiju. „U to vreme“, pisao je, „među geolozima se sa zanimanjem raspravljalo o pitanju uzroka glacijalne epohe. U proleće 1864. godine, posvetio sam pažnju tome predmetu.“ Tokom svojih istraživanja, Krol je naišao na Ademarovu knjigu, objavljenu dvadeset i pet godina ranije. Iako je uvideo da francuski matematičar nije bio u pravu kada je verovao da promene u dužini toplih i hladnih godišnjih doba izazivaju ledena doba, Krol je bio uveren da neki drugi astronomski mehanizam mora stajati iza ovih geoloških pojava.

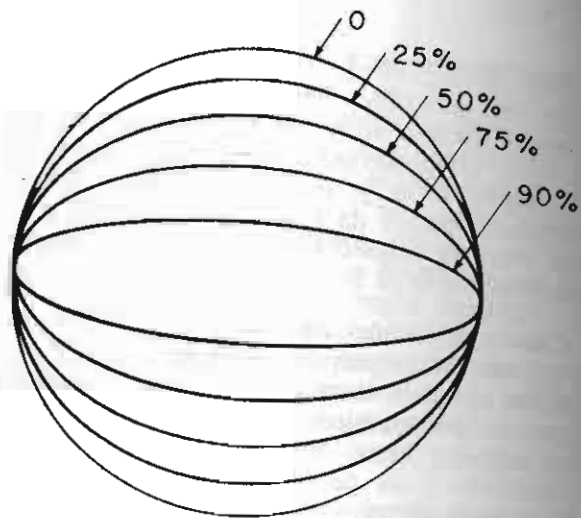
Krol je bio upoznat sa nedavnim istraživanjima velikog francuskog astronoma Irbena Leverijea (Urbain Leverrier), koja su pokazala da se stepen izduženosti orbitalne elipse poznat tehnički kao orbitalni ekscentricitet, polako ali ne-

prekidno menja. To je bio astronomski faktor o kojem Ademar nije razmišljao. Francuski prirodnjak je svoju teoriju o ledenim dobima zasnovao na precesiji Zemljine ose rotacije – a pretpostavljao je da oblik same orbite ostaje nepromenjen. Krolu je palo na um da bi upravo orbitalni ekscentricitet mogao da bude pravi uzročnik ledenih doba. U vezi s tim je napisao članak, koji je bio objavljen u *Filozofskom magazinu* za avgust 1864.

Članak je izazvao znatnu pažnju i uporno su mi savetovali da se potpunije pozabavim ovim predmetom. Kako mi se ta staza činila novom i zanimljivom, rešio sam da pođem njome. Ali u vreme kada sam donosio tu odluku nisam mislio da će ova staza biti toliko zapetljana i da će mi biti potrebno dvadeset godina da dođem do njenoga kraja.

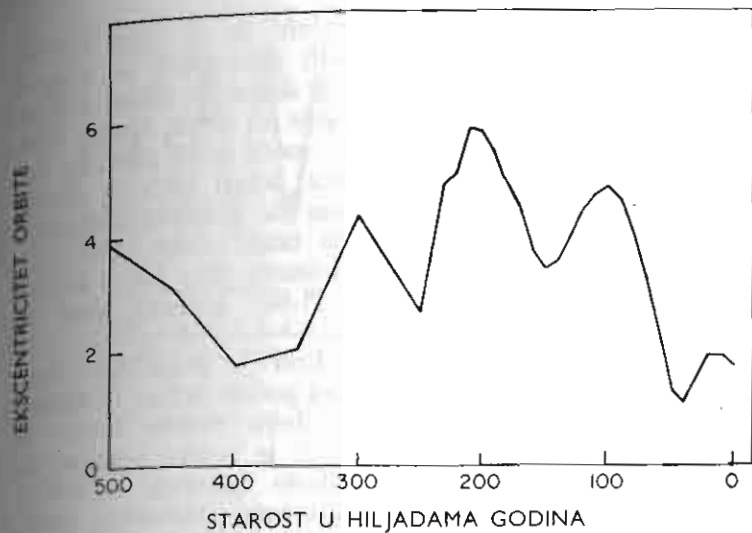
Prvi korak koji je Krol preduzeo bio je da se upozna sa matematičkom teorijom na osnovu koje je Leverije mogao da izračuna kako se Zemljin orbitalni ekscentricitet menjao. Ta je teorija bila neposredna primena Njutnovog zakona gravitacije. Svaka od planeta Sunčeva sistema svojom gravitacionom silom teži da Zemlju izbaci iz njene pravilne eliptične putanje oko Sunca. Zbog toga što se svaka od planeta okreće oko Sunca drugačijom brzinom, kombinovana privlačna sila kojom planete privlače Zemlju menja se tokom vremena na složeni, ali predvidljivi način. Ono čega se Leverije prihvatio bilo je da sakupi tada raspoložive podatke o orbitama i masama planeta i da izračuna kako se oblik Zemljine orbite – kao i stepen nagiba njene ose rotacije – menjao tokom proteklih 100.000 godina. Leverijeu je bilo potrebno deset godina da izvede zamršene računске radnje i da te promene izrazi na vremenskoj skali. Ta izračunavanja, objavljena 1843. godine, a zasnovana na orbitama i masama sedam tada poznatih planeta, dovela su do otkrića planete Neptun.

Leverije je merio orbitalni ekscentricitet određujući udaljenost između žiža elipse u procentualnom odnosu prema dugoj osi elipse. Kada se elipsa po obliku približava krugu, dve njene žiže približavaju se jedna drugoj, sve dok ekscentricitet elipse ne bude nula (vidi sliku 17). I obratno,



Slika broj 17.

Elipse različitog ekscentriciteta.



Slika broj 18.

Krolova kriva orbitalnog ekscentriciteta. Prema Krolovoj teoriji, do ledenih doba dolazi tokom epoha visokog orbitalnog ekscentriciteta. (Prema Dž. Krolu, 1867).

što je elipsa izduženija, žiže se međusobno udaljuju sve dok ekscentricitet ne dospe do 100%. U sadašnjem trenutku orbitalna putanja Zemlje je samo neznatno ekscentrična (oko 1%). Leverije je pokazao da se oblik elipse neprekidno menja, tako da je u proteklih 100.000 godina stepen njenog ekscentriciteta varirao od niskog (u blizini nule), do visokog (od oko 6%).

Koristeći se obrascima koje je razvio Leverije, Krol je izračunao orbitalni ekscentricitet za nekoliko uzoraka – datuma tokom poslednja tri miliona godina i načinio je krivu koja je grafički prikazivala te promene (slika broj 18).

Krol je bio prvi geolog koji je ispitivao orbitalnu istoriju Zemlje izvlačeći takve krive. Otkrio je da do ekscentriciteta Zemljine orbite dolazi ciklično: intervali visokog ekscentriteta, koji traju desetina hiljada godina, smenjuju se sa dugim intervalima niskog ekscentriciteta. Uočavajući da se pre otprilike 100.000 godina Zemljina orbita nalazila u stanju visokog ekscentriciteta, Krol je zaključio da u vezi sa veoma izduženom elipsom orbitalne putanje mora postojati nešto što dovodi do ledenih doba.

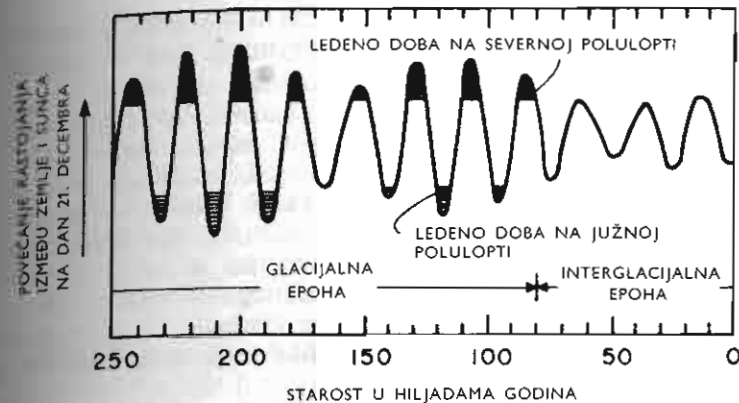
Prvi pokušaji bili su razočaravajući, jer je Leverije pokazao da na ukupnu količinu toplote koju Zemlja primi tokom godine, ekscentricitet orbitalne putanje nimalo ne utiče. Krol se, međutim, nije obeshrabrio i pošlo mu je za rukom da pokaže kako ekscentricitet veoma jako utiče na količinu zračenja koju Zemlja primi tokom svakog pojedinog godišnjeg doba. Prihvatio se stvaranja teorije o ledenim dobima koja bi bila zasnovana na takvom sezonskom uticaju.

Krol je smatrao da opadanje intenziteta osunčavanja tokom zime, pospešuje akumulaciju snega. Štaviše, svako malo inicijalno povećanje površine pod snegom mora izazvati dodatno gubljenja toplote odbijanjem veće količine sunčane svetlosti nazad u kosmički prostor. Prema tome, zaključio je Krol, svaku promenu u Sunčevom zračenju astronomskog porekla, ma kako mala bila, povećale bi same površine pod snegom. Krol je bio prvi naučnik koji je razvio ovu važnu misao, danas poznatu kao „pozitivni fidbek“.

Zadovoljivši se svojim dokazom da je zima kritično godišnje doba za nastanak ledenih doba, Krol je nastavio tako što je pokušao da utvrdi koji astronomski faktor kontroliše količinu sunčeve svetlosti koja se primi tokom zime. Zaključio je da odlučujuću ulogu mora igrati precesija ravnodnevničnih tačaka. Ako do zime dolazi kada je Zemlja blizu Sunca (kao što je to danas na severnoj polulopti), zime su toplije nego obično. Sa druge strane, ako zima nastaje kada je Zemlja daleko od Sunca (kao što je moralo biti na severnoj polulopti pre 11.000 godina), zime su hladnije nego obično.

Iako iz drugačijih razloga, Krol je došao do istoga zaključka kao i Ademar dvadeset pet godina ranije: 11.000-godišnji ciklus precesije izaziva hladniju zimsku klimu na jednoj ili na drugoj polulopti. Krol je potom pokazao da promene u obliku orbitalne putanje određuju u koliko će meri precesija delovati na promene intenziteta godišnjih doba. Kada bi, na primer, orbita bila kružna, precesija ravnodnevničnih tačaka ne bi imala nikakvog dejstva na klimu, jer bi se u tom slučaju sva godišnja doba javljala na podjednako udaljenosti od Sunca. Tokom takve epohe, kada je ekscentricitet ravan nuli, zime bi bile prosečnog intenziteta – ni izuzetno hladne, ni izuzetno tople. Krol je istakao da se današnji uslovi približavaju tom hipotetičnom slučaju, jer je orbitalni ekscentricitet svega oko 1%. To ga je navelo na zaključak da tokom perioda niskog ekscentriciteta zime nisu dovoljno hladne da bi začele ledeno doba, bez obzira na to na kojem mestu na Zemljinoj orbitalnoj putanji usledi zimski kratkodnevica. Ali tokom perioda višega ekscentriciteta zime bivaju izuzetno tople kada do zimskog kratkodnevica dođe blizu Sunca, na kraćem delu orbite, a izuzetno hladne – kada do nje dođe daleko od Sunca i na dužem kraju orbitalne putanje.

Krolova teorija uzima u obzir i ciklus precesije i varijacije u obliku Zemljine putanje. Ona predviđa da će jedna ili druga polulopta doživeti ledeno doba kad god se dve okolnosti jave istovremeno: veoma izdužena orbita i zimski kratkodnevica koja se javi daleko od Sunca. Na slici broj 19 prikazano je kako je Krol verovao da ova dva faktora zajednički deluju na promenu Zemljine udaljenosti od Sunca i, prema tome, na njenu klimu.



Slika broj 19.

Krolova teorija o ledenim dobima. Krol je verovao da do ledenih doba dolazi usled promena u rastojanju između Zemlje i Sunca na dan 21. decembra. Kada to rastojanje pređe kritičnu vrednost, na severnoj polulopti zime su dovoljno hladne da izazovu ledeno doba; kada je to rastojanje manje od kritične vrednosti, do ledenih doba dolazi na južnoj polulopti. Tokom glacijalnih epoha, orbitalni ekscentricitet je tako visok, da kritične vrednosti često bivaju premašene.

Kada je Zemlja daleko od Sunca na dan 21. decembra, na severnoj polulopti doći će do ledenog doba. Kada je toga datuma Zemlja blizu Sunca, ledeno doba će nastati na južnoj polulopti. Pojedinačna ledena doba traju otprilike 10.000 godina i javljaju se najpre na jednoj pa onda na drugoj polulopti, u skladu sa 22.000-godišnjim ritmom precesije. Dugi intervali tokom kojih je orbitalni ekscentricitet dovoljno visok da na jednoj ili drugoj polulopti izazove ledeno doba zovu se glacijalne epohe, a intervali koji ih razdvajaju nazivaju se interglacijalne epohe. Prema ovom gledištu, glacijalna epoha počela je pre oko 250.000 godina, a okončala se pre oko 80.000 godina. Otada Zemlja prolazi kroz interglacijalnu epohu.

Iako Krol nije sumnjao u to da su varijacije Zemljine orbite odgovorne za promene klime, zabrinjavalo ga je što bi oštrina klimatskih promena o kakvima imamo geološka svedočanstva mogla biti isuviše velika da bi se

objasnila prilično sitnim promenama u orbitalnoj geometriji, iako se te promene uvećavaju odbijanjem sunčane svetlosti. Da li je odista moguće da povećanje orbitalnog ekscentriciteta od svega 2 ili 3 procenta izazove rast ledenih pokrivača dovoljno velikih da prekriju najveći deo Evrope i Severne Amerike? – Krol je, u stvari, predvideo primedbe koje će drugi istraživači kasnije uputiti. Napao je ovaj problem sa karakterističnom originalnošću, pretpostavljajući da orbitalne promene deluju kao uzročnici sposobni da iniciraju žestoke reakcije unutar Zemljinog klimatskog sistema. U pokušaju da otkrije kakve bi to klimatske reakcije mogle da budu, Krol se osvrnuo na velike tople struje Atlantskog okeana.

Danas, struje koje teku na zapad preko ekvatora pod uticajem brazilskih obala bivaju skrenute na sever i pridružuju se Golfskoj struji. Tako se toplota sa južne prenosi na severnu poluloptu. Međutim, ako bi postojao neki činilac koji bi mogao da pomeri Ekvatorijalnu struju tako da udari u obale Brazila južno od njegovih najistočnijih tačaka, ta topla struja bila bi skrenuta na jug, toplota bi se prenosila u suprotnom pravcu, a severna polulopta bi se sve više hladila.

Koji bi to činilac mogao da pomeri Ekvatorijalnu struju? – Da bi pronašao odgovor na to pitanje, Krol je razvio originalnu (i u suštini tačnu) teoriju koja je objašnjavala zbog čega velike okeanske struje teku u pravcu u kojem teku. Krol je istakao da se i struje koje teku na zapad a protiču blizu ekvatora, i struje koje su usmerene ka polovima, kao što je Golfska struja, kreću u skladu sa pasatnim vetrovima – veoma slično kretanju tečnosti u šolji za čaj kada u nju duvamo – i da, zauzvrat, brzina ovih vetrova zavisi od temperatura u polarnim oblastima. Ako bi polarne oblasti na jednoj polulopti bivale sve hladnije, bilo bi potrebno da se prenese veća količina toplote kako bi se održala ravnoteža energetskog bilansa na toj polulopti – a pasatni vetrovi bi tamo snažnije duvali. Ukratk0, što su polovi hladniji, i vetrovi su jači. Iz ove analize Krol je zaključio – kada ciklus precesije prouzrokuje rast ledenih pokrivača na jednoj polulopti, jačanje pasatnih vetrova na toj polulopti, time uslovljeno prisiljava tople ekvatorijalne struje u svim okeanima da krenu ka drugoj polu-

lopti, te se tako gubi još više toplote. Krol je mislio da bi ovo dejstvo bilo naročito naglašeno u delovima Atlantskog okeana na niskim geografskim širinama, gde bi izbočina na brazilskoj obali skretala Ekvatorijalnu struju ili na sever ili na jug. Na taj način, neposredno dejstvo na klimu bilo kakve promene u radijaciji astronomskoga porekla, uvećane već jedared povratnim dejstvom fidbekom odbijanja zraka, (refleksije) još se jednom uvećava promenom pravaca okeanskih struja.

Krol nije mogao da odabere pogodniji trenutak da objasni svoju teoriju. Godine 1864. Agasiz je već bio prilobio Baklenda i Lajela, pojam ledenog doba bio je već gotovo opšteprihvaćen, a geolozi su upravo tragali za objašnjenjem tih pojava. Krol im je ponudio pažljivo promišljenu teoriju, koja se mogla proveravati upoređivanjem geoloških svedočanstava o klimi sa astronomskim predviđanjima.

Medu mnogim naučnicima koji su bili impresionirani Krolovim člankom nalazio se i ser Arčibald Gejki, novonaimenovani direktor Geološke službe Škotske. Voljan da svoje usluge stavi na raspolaganje, Gejki je nagovorio Krola da napusti svoj položaj u Glazgovu i prihvati posao u Geološkoj službi. Krol je, 1867. godine, prihvatio ponudu Gejkija, preselio se u Edinburg i nastavio istraživanja.

Godine 1875. Krol je objavio *Klimu i vreme*, knjigu koja je objedinjavala njegove poglede na uzrok ledenih doba. U toj knjizi Krol je proširio svoju prvobitnu teoriju uzevši u obzir Leverijeove proračune o tome da se ugao nagiba Zemljine ose rotacije, kao i ekscentricitet njene orbite, vremenom menja. Taj ugao, koji je sada 23,5 stepeni u odnosu na normalu, menja se u opsegu od oko 3 stepena, od minimuma od 22 stepena do maksimuma od 25 stepeni. Krol je smatrao verovatnijim da će do ledenog doba doći tokom perioda kada je osa bliže normali, jer tada polarne oblasti primaju manju količinu toplote. Na žalost, Leverije nije utvrdio vreme ovih varijacija nagiba i Krol nije mogao dalje da prati ovaj značajni pravac razmišljanja.

U godini koja je usledila nakon objavljivanja njegove knjige Krol je postao član Londonskog kraljevskog društva, a kasnije i počasni doktor Univerziteta sv. Endrjusa. Čovek koji je počeo kao mehaničar u Banhoriju, bio pro-



Slika broj 20.

Fotografija Džejmisa Krola. (J. C. Ajrons, 1896).

davac čaja u Elginu, propao kao gostioničar u Blergoriju i radio kao nastojnik u Glazgovu, postao je svetski poznata ličnost u nauci (slika broj 20).

Ali Krolu sudbina nije dugo bila naklonjena. Godine 1880, u pedeset devetoj godini života, zadobio je povredu

mozga u jednom, kako je govorio, trivijalnom nesrećnom slučaju, i bio je primoran da se povuče iz Geološke službe. Otada pa sve do smrti, deset godina docnije, Krol je vodio neuspešnu pravnu borbu ne bi li nekako dobio punu penziju.

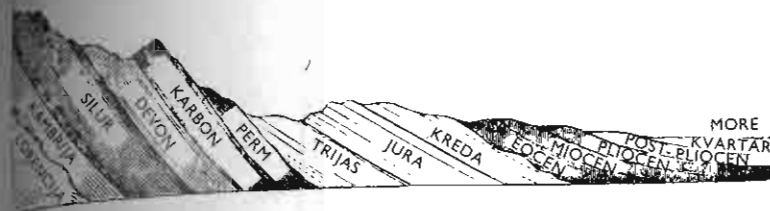
Na kraju, zahvaljujući višekratnoj pomoći naučnih udruženja, Krolovi su mogli da se presele u jednu kućicu u blizini Perta, gde je Džejms nastavio da čita i radi, uprkos gotovo neprekidnim bolovima u glavi. Pet godina je usavršavao svoju teoriju o ledenim dobima, ali je 1885. godine digao ruke od naučnog rada i vratio se svojoj prvobitnoj ljubavi – filozofiji. U 1890. godini objavio je knjižicu *Filozofska osnova evolucije*. Iste godine, Krola su posetili prijatelji, koji su izlazak knjige iz štampe zalili po jednom čašom viskija. Bili su iznenađeni čuvši trezvenog naučnika „kako izgovara tako reći jedinu šalu koju je ikada izgovorio“. „Uzeću i ja kapljicu toga“, rekao je, „mislim da sada više ne postoji bojazan da ću se navići na piće“. Posle nekoliko dana, u šezdeset devetoj godini, Krol je umro.

7. RASPRAVLJANJA O KROLOVOJ TEORIJI

Krolova teorija je ostavila neposredan i dubok utisak u naučnom svetu. To je, najzad, bila razložna teorija o ledenim dobima, koja se mogla proveriti poređenjem njenih postavki sa poznatim geološkim podacima. Tokom narednih trideset godina, o Krolovim idejama se naširoko i žestoko raspravljalo: bile su organizovane naučne ekspedicije koje su, širom sveta, tragale za činjenicama kopajući po nanosima, članci u naučnim časopisima bavili su se pojedinostima Krolove teorije, a dokazi za i protiv ispunjavali su stranice i stranice knjiga o geologiji.

Džejms Gejki, profesor na Edinburškom univerzitetu i brat Arčibalda Gejkija, bio je među prvima koji su snažno podržali Krola. Njegova knjiga *Veliko ledeno doba*, objavljena 1874. godine, bila je prva koja se temeljno bavila ovim predmetom, posle Agasizovih *Proučavanja glečera* iz 1840. Gejki je razmotrio nekoliko oprečnih teorija, uključujući i Lajelovu teoriju o izdizanju kopna i odbacio ih je, jer „sve one, na sličan način, ne uspevaju da udovolje zahtevima geoloških dokaza“. Nastavio je dokazujući da geološki dokazi idu u prilog Krolovoj zamisli o astronomskom uzroku pojave ciklusa ledenih doba.

Gejki je svoju argumentaciju zasnivao na nedavno utvrđenim dokazima da „drift“ nanosi nisu jednostavni nanosi kakve bi ostavio jedan glečer, kako je to Agasiz pretpostavljao, već složeni sedimenti, sastavljeni od mnogo izdvojenih morenskih slojeva, od kojih je svaki predstavljao svedočanstvo napredovanja zasebnog glečera. Štaviše, ti morenski slojevi



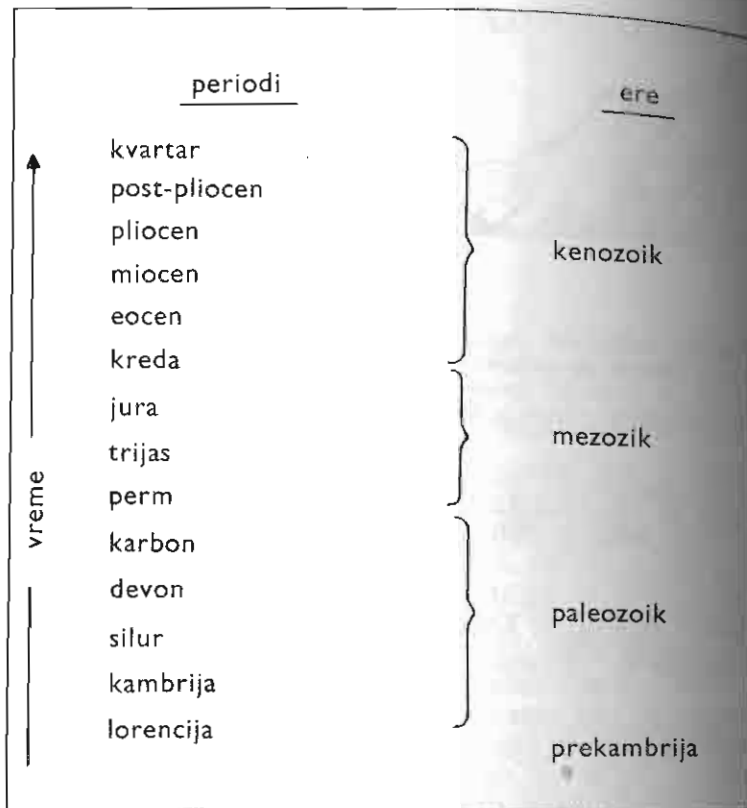
Slika broj 21.

Sukcesija fosilonosnih slojeva prema Čarlsu Lajelu. Lajel je celu istoriju Zemlje podelio na geološke periode kojima je nadenuo i odgovarajuća imena, a svaki je period predstavljen grupom sedimentnih stena. Najstariji period nazvan je lorencijskim periodom. (Po Č. Lajelu, 1865).

često su bili međusobno razdvojeni slojevima treseta, u kome je bilo ostataka biljaka koje ne bi mogle da opstanu u klimi ledenog doba. Na taj način, sedimentni niz nije ostavljao mesta za diskusije: u prošlosti je bivalo više ledenih doba, a između njih je dolazilo do toplijih, neglacijalnih perioda. A Krolova teorija je upravo predviđala cikluse ledenih doba koji se javljaju periodično.

Na nekim mestima nađena su samo dva sloja, ali na drugim je bilo moguće pokazati da je bilo najmanje šest različitih ledenih doba i da je posle svakoga sledio topli interval. Ovi dokazi su poticali najviše iz Evrope, ali je Gejki vodio računa da u svoju knjigu unese i poglavlje o američkim glacijacijama, koje je napisao američki geolog Tomas Čemberlen (Thomas C. Chamberlin). Čemberlen je pokazao da se američki nanosi sastoje od najmanje tri, a možda i više morenskih slojeva. Da bi to istakao, Gejki je objavio jednu fotografiju na kojoj su se videla tri morenska sloja, u različitim bojama, kako leže jedan na drugome, kod Ston Krika, u državi Indijana.

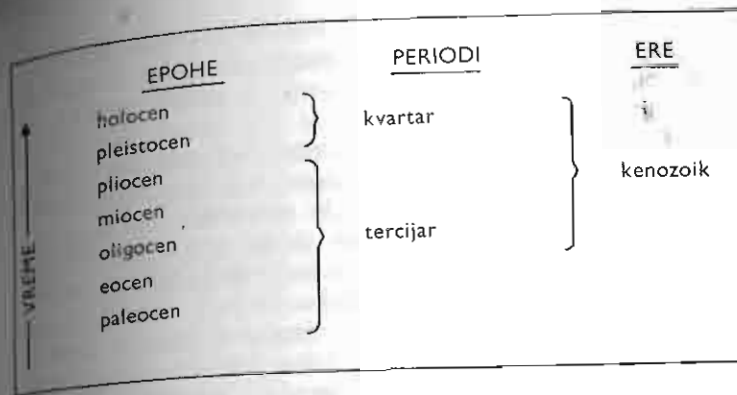
U isto vreme dok su Gejki i njegovi saradnici odmotavali klupko istorije ledenih doba, zamršeno u neujednačenim naslagama glacijalnih nanosa, drugi geotozi su radili na dešifrovanju cele istorije Zemlje, kako je ova bila zabeležena na stenama ispod tih nanosa (slika broj 21). Između 1830. i 1865. godine Čarls Lajel je uveo grupu naziva, kako bi sveukupno geološko vreme podelio na *ere* i *periode*, ne-



Slika broj 22.

Lajelova podela istorije Zemlje. Geološke periode prikazane na slici broj 21. Lajel je grupisao u ere. U jednoj ranijoj verziji, Lajel je predložio naziv „pleistocen“ za period koji sledi pliocenu; do 1865. godine, međutim, napustio je tu terminologiju. (Po Č. Lajelu, 1865).

poznatog, ali, po pretpostavci, dugoga trajanja (slika broj 22). Sa otkrićem da je ledenih doba bilo više i da je njihov niz morao zauzeti dosta veliki vremenski interval, geolozi su, prirodno, počeli da se pitaju gde bi na Lajelovoj istorijskoj shemi trebalo smestiti ciklus ledenih doba. Po pretpostavci, ledena doba su se javljala i negde tokom kenozoika – po Lajelu, najmlađe ere. Ali koliko su se daleko u prošlost protezala?



Slika broj 23.

Savremena podela kenozojske ere. U savremenoj upotrebi, nazivom „pleistocen“ se označava vremenski interval koji sledi neposredno posle epohe pliocena.

Godine 1846. Edvard Forbs je pretpostavio da je post-pliocenski period morao biti interval tokom kojeg su formirani glacijalni i interglacijalni nanosi i preporučio je da se termin pleistocen – koji je, samo sedam godina ranije, Lajel sasvim drugačije odredio – upotrebi kao zamena za termin post-pliocen. Forbsova sugestija je bila opšteprihvaćena i služi kao osnova za savremenu upotrebu toga termina. Umesto Lajelovog termina „skorašnji period“, mnogi geolozi u naše vreme koriste, takođe, termin holocenska epoha da označe naše sadašnje, interglacijalno, ili postpleistocensko vreme. U ovoj upotrebi, holocenska i pleistocenska epoha zajedno čine period kvartara – period tokom kojeg se, na osnovu geoloških nalaza, klima kolebala između glacijalnih i interglacijalnih stanja (slika broj 23).

Uporedo sa daljim napretkom istraživanja istorije Zemlje geolozi su otkrili i novi aspekt tajne ledenih doba. Dokazi glacijacije pronađeni su i u stenama iz paleozojske ere i prekambrijske ere – stenama koje su bile kudikamo starije od pleistocenskih nanosa. Sada su geolozi morali da objašnjavaju ne samo relativno skorašnja ledena doba pleistocenske epohe nego isto tako i mnogo starija ledena doba – kao i zbog čega je između njih dolazilo do tako dugih toplih intervala. Odgovor na to pitanje neće biti pronađen

sve dok se duboko ne zagazi u dvadeseti vek, o čemu će biti reči u Epilogu. U međuvremenu, dovoljan izazov za nauku bila je provera Krolove teorije o pleistocenskim ledenim dobima.

Iako se većina geologa slagala sa Gejkijem da mnogostrukost pleistocenskih glacijacija govori u prilog astronomskoj teoriji, bilo ih je koji su mislili da ono malo što se zna o klimatskoj istoriji južne polulopte govori protiv nje. Pitanje o kojem je reč jeste Krolovo predviđanje da se tokom perioda visokog ekscentriciteta ledena doba javljaju svakih 11.000 godina, čas na jednoj, a čas na drugoj polulopti. Ako bi se dokazalo da je do ledenih doba dolazilo istovremeno na obe polulopte, time bi se dokazala i netačnost Krolove teorije. I obratno, kada bi se moglo dokazati da su se glacijacije odista javljale naizmenično na jednoj i drugoj polulopti, teorija bi time dobila snažnu naučnu osnovu.

Na žalost, dokazivanje tačnosti ma kojeg od ova dva istorijska scenarija bilo je van domašaja nauke devetnaestog veka. Jedini pouzdani način korelacije sedimentnih naslaga na dva međusobno veoma udaljena mesta bio je da se pronađe makar jedna naslaga koja bi se mogla neprekidno slediti od jednog mesta do drugog. Iako su naslage iz ledenog doba pronađene i u Južnoj Americi i u Africi i u Australiji, okeani koji te naslage razdvajaju od onih na severnoj polulopti, onemogućavali su korelaciju praćenjem slojeva. Jedini interhemisferični metod kojim su Gejki i njegove kolege mogli da se koriste bio je nepouzdan metod zasnovan na proceni o tome kada je neki određeni „drift“ nanos bio izložen zubu vremena.

Da bi se Krolova teorija proverila, ispitivani su gornji slojevi ledničkih nanosa na obe polulopte i mnogi geolozi su zaključili da je između njih postojala samo neznatna razlika u starosti, što se protivilo Krolovoj teoriji. Međutim, drugi naučnici su isticali da do erozije ne dolazi samo pukim protokom vremena, već je ona određena još i količinom prisutne vode, poroznošću sedimenta, prosečnom temperaturom i drugim faktorima sredine, čiji je intenzitet dejstva teško utvrditi. Štaviše, govorili su, sve dok se ne dokaže da je procena intenziteta erozije tokom vremena tako precizna da odista može da uoči razliku između starosti dve morene od svega 11.000 godina, argumenti protiv Krolove teorije

ne mogu biti prihvaćeni bez rezerve. U vezi s ovim presudnim pitanjem, mišljenja su se oštro podelila. Sam Gejki je smatrao da su severna i južna polulopta bile zaledene u različito vreme. Ali bio je oprezan i priznao je da se njegovo mišljenje ne može i dokazati. Sa druge strane, Džejms Dejna, geolog sa Jejla, nalazio se u suprotnom taboru, zaključujući da „još nema dokaza da se glacijalni periodi na jednoj i drugoj polulopti nisu javili u osnovi istovremeno“.

Najubedljivija provera Krolove teorije bilo bi upoređivanje vremena kada je, prema njegovim proračunima, dolazilo do ledenih doba sa vremenima utvrđenim na osnovu geoloških svedočanstava. Krolova teorija bi stekla snažnu potporu kada bi se utvrdilo da se stvarni niz ledenih doba poklapa sa nizom koji proizlazi iz njegove teorije. Ali na koji bi se način utvrdila tačna starost glacijalnih nanosa? – Ponovo, tehničke mogućnosti devetnaestoga veka bile su nedovoljne, a pitanje utvrđivanja tačne hronologije ledenih doba postalo je centralni problem pri proveru astronomske teorije. Tek mnogo docnije taj problem je rešen sa dovoljnom preciznošću i moglo se pristupiti valjanom hronološkoj proveru Krolove teorije.

U međuvremenu geolozi devetnaestoga veka učinili su originalan pokušaj da dođu do makar jednog datuma u hronologiji ledenih doba, ispitujući predeo oko Nijagarinih vodopada. Još je 1829. godine Robert Bejkvel (Robert Bakewell, Jr.) istakao da Nijagara teče preko glacijalnih nanosa (koji su, naravno, bili pripisivani velikom potopu). Pretpostavio je da reka zauzima svoj sadašnji položaj tek od vremena kada su ti nanosi već bili deponovani. Otada voda erodira stenoviti sloj koji čini rub čuvenog vodopada, te se vodopad tako polako povlači uzvodno, formirajući spektakularnu klisuru. Koristeći se zapažanjima starosedelaca iz tih krajeva, Bejkvel je procenio da je brzina povlačenja vodopada otprilike jedan metar godišnje. Izmerivši dužinu klisure, procenio je da je prošlo oko 10.000 godina otkako je sediment stvoren. Prilikom svoje posete Nijagarinim vodopadima 1841. godine, Čarls Lajel je sediment identifikovao kao glacijalni nanos, a potom korigovao Bejkvelovu procenu o brzini povlačenja vodopada na oko 30 santimetara godišnje. Prema Lajelu, dakle, led je tamo počeo da se povlači pre kojih 30.000 godina.

Ova je stvar ostavljena po strani sve dok interesovanje za Krolovu teoriju nije skrenulo pažnju geologa na pitanje trajanja postglacijalnog perioda. Lajel je tada istakao da su i njegova i Blejkvelova procena daleko od 80.000-godišnjeg intervala do kakvog je došao Krol. Preduzeto je više istraživanja sa ciljem da se pouzdanije utvrdi vreme poslednjeg povlačenja leda, ali su rezultati bili obeshrabrujući za one koji su verovali u Krolovu astronomsku teoriju. Te nove procene kretale su se od 6.000 do 32.000 godina. Te nove su naučnike navele da se okrenu protiv Krolove teorije i pored upozorenja da su takve procene podložne krupnim greškama. Američka podrška Krolovoj teoriji još je više umanjena kada je Njuton Vinčel (Newton Winchell), državni geolog Minesote, proučio brzinu povlačenja Vodopada sv. Antonija na Misisipiju blizu Mineapolisa i zaključio da postglacijalni period traje samo 8.000 godina.

Do 1894. godine većina američkih naučnika bila je protiv Krolove teorije. Američko gledište, nesumnjivo formirano i na osnovu dokaza sa Nijagarinih vodopada i Vodopada sv. Antonija, sumirao je Džejms Dejna u svojoj značajnoj knjizi: „(Krolova teorija) izaziva primedbe američkih geologa na osnovu toga što se glacijalni period, prema američkim geološkim činjenicama, okončao pre više od 10.000, ili, u krajnjem slučaju, pre 15.000 godina, umesto pre 150.000 ili bar pre 80.000 godina, kako to iziskuje hipoteza o ekscentricitetu.“

Istovremeno, većina evropskih geologa, prateći Džejmsa Gejkija, svojski se zalagala za Krolovu teoriju. Gejki je na sledeći način izneo svoje razloge:

„Izgleda da astronomska teorija nudi najbolje objašnjenje zagonetke ledenih doba. Ona objašnjava sve najvažnije momente, naizmenično javljanje hladnih i toplih epoha i neobičnu prirodu glacijalnih i interglacijalnih klima. Ona ne pretpostavlja nikakvu drugačiju raspodelu kopna i mora od ove današnje, niti poziva u pomoć ikakve velike svetske prevrate.“

Snažna podrška ovakvim geološkim gledištima došla je i od irskog astronoma ser Roberta Bola (Robert Ball), koji je 1891. godine objavio knjigu u odbranu Krolove teorije.

Međutim, čak je i Gejki morao priznati da podaci o trajanju postglacijala do kojih se došlo na osnovu izučavanja američkih vodopada predstavljaju ozbiljan problem. Ako bi se pokazalo da su te procene tačne – ako su ledeni pokrivači odista nestali iz Severne Amerike tek pre 6.000 ili 10.000 godina – Krolova bi teorija bila ozbiljno potkošana. U tom slučaju, Gejki je bio spreman da astronomsku teoriju brani povlačeći se na poziciju da se ova odnosi samo na evropsku klimu. Bio je, naime, uveren da su se ledeni pokrivači povukli iz Evrope i Azije pre mnogo više vremena. „Nijedan evropski geolog“, pisao je, „neće se upustiti u rizik da prihvati pretpostavku kako je poslednji veliki baltički glečar još postojao u vreme osvita civilizacije u Egiptu.“ No bez obzira na to, Gejki je priznao da Krolova teorija ne objašnjava sve geološke činjenice i svoju knjigu je zaključio sledećim proročanskim rečima:

Prvobitni uzrok ovakvih izvanrednih promena nameće, dakle, krajnje složena pitanja i mora se priznati da se do sada još nije došlo do potpunog rešenja problema. Krolova je teorija bez sumnje bacila zrak svetlosti na naše teškoće i može biti da će neka modifikacija njegovih pogleda na kraju krajeva razjasniti tajnu. Ali, za sada, moramo se posvetiti radu i čekati.

Kako je vreme, međutim, teklo, sve je više geologa u Evropi i Americi bilo nezadovoljno Krolovom teorijom, nalazeći da se ona ne slaže sa novim dokazima da se ledeno doba okončalo ne pre 80.000, već pre 10.000 godina. Štaviše, razvijeni su i teorijski argumenti protiv Krolove teorije: meteorolozi su izračunali da su varijacije u količini Sunčeve toplote o kojima je Krol govorio isuviše male da bi imale ikakvog osetnog dejstva na klimu na Zemlji. Krajem devetnaestoga veka, naučno mišljenje se okrenulo protiv Krola, a njegova astronomska teorija je smatrana istorijskom zanimljivošću, privlačnom, ali ne više i osnovanom. Naposljetku je bila gotovo sasvim zaboravljena.

Gotovo sasvim, ali ne i do kraja, jer će je, godinama docnije, oživeti jugoslovenski astronom Milutin Milanković. Godine 1890, kada je Krol bio na samrti, Milankoviću je bilo svega jedanaest godina i nije ni sanjao da će upravo on pokupiti konce Krolovih razmišljanja, preplesti ih sa vlastitim i stvoriti novu i originalnu sliku.

8. KROZ VASIONU I VEKOVE *

Dvadeset i jednu godinu posle smrti Džejmisa Krola i dugo nakon što je njegova orbitalna teorija o ledenim dobima bila odbačena, dva mlada čoveka – jedan pesnik a drugi inženjer – sedela su za stolom jedne beogradske kafane. Proslavljali su izlazak iz štampe knjige rodoljubivih stihova koje je mladi pesnik spevao i između njih, na stolu, ležala je mala, plava knjižica. Pesnikov prijatelj bio je Milutin Milanković koji će se, godinama kasnije, prisetiti ovog događaja u jednom autobiografskom eseju.

Sve što su dva prijatelja mogla sebi da priušte, čak i u tako izuzetnoj prilici, bila je kafa, ali su ipak bili vedri duha. Nisu imali ništa protiv kada ih je jedan dobro odeveni gospodin upitao sme li da sedne za njihov sto, a kada je izrazio želju da prelista knjigu pesama, pesnik mu je to drage volje dopustio. Pokazalo se da je gospodin o kojem je reč bio ugledni direktor banke uz to i vatreni patriota i toliko je bio dirnut stihovima da je poručio deset primeraka knjige i za njih platio na licu mesta.

Sada su dva prijatelja zbilja imala šta da proslavljaju, a imala su i čime da to učine kako valja. Kada im se približio konobar s kafom koja se pušila, vratili su ga

*) U ovome poglavlju, prevod se razlikuje od originala, utoliko što su, zahvaljujući trudu profesora dr Dragoljuba Stefanovića, poznavao Milankovićevog dela, odlomci iz Milankovićevih memoarskih tekstova ovde navedeni u autentičnom obliku, dok se u engleskom tekstu javljaju u prilično slobodnoj obradi; ti su odlomci, takođe, nešto manje nego u engleskom tekstu (prevodilac).

da umesto toga donese bocu crnoga vina, i zakusku. Oživljavajući ovu scenu, mnogo docnije, Milanković je pisao:

Kada ispraznismo prvu flašu, obuze nas velika radost. Imasmo osećaj da nas nekud visoko ponesoše nevidljiva krila, a naši se vidici raširiše još i mnogo dalje. Sa visina do kojih dospesmo, pogledasmo dole na ono što smo već postigli i naša nam se ostvarenja učiniše mala i skromna. Kad ispraznismo i treću flašu, vino uzbudi našu južnjačku krv i ispuni nas velikim pouzdanjem. Ispunjeni samopouzdanjem dostojnim Aleksandra Makedonskog salgedasmo nove prostore koje nam valja osvajati.

Pesnik je odlučio da prestane sa pisanjem kratkih pesama; umesto toga, posvetiće se stvaranju epskoga romana. „U mom sledećem delu“, rekao je, „želim da celovito opišem naše društvo, našu domovinu i naše duše“. Da ne zaostane za njim, Milanković je odgovorio:

Mene čudnom snagom beskonačnost privlači i želim da učinim i više no što ti želiš. Želim da dograbim celu vasionu i da svetlost njenu rasprostrem, te da osvetli svaki kutak.

Zapečativši svoje odluke još jednom bocom vina, prijatelji se srećno rastadoše. Godine koje će doći oprobace snagu tih odluka.

Milanković je, 1904. godine, postao doktor nauka na Tehničkoj velikoj školi u Beču. Pošto je doktorirao, pet godina je bio zaposlen kao inženjer. Voleo je svoj posao i nalazio zadovoljstvo u projektovanju velikih i složenih betonskih konstrukcija, ali se nije mogao otresti osećanja da bi trebalo da se bavi nekim bitnijim problemima. Kada mu je Univerzitet u Beogradu ponudio mesto profesora primenjene matematike, prihvatio je ponudu. Radovao se povratku u Srbiju (koja će tek postati deo Jugoslavije) i pored toga što su njegovi prijatelji u Beču smatrali da je budalasto što napušta prefinjeni grad radi akademskog posla u provincijskom Beogradu. Ali Milanković je znao da su njegovoj zemlji potrebni iskusni inženjeri – a želeo je i priliku da se pozabavi opštijim pitanjima no što je projektovanje betonskog krova. Prid-

ružio se fakultetu Univerziteta 1909. godine i držao je kurseve racionalne mehanike, nebeske mehanike i teorijske fizike. Ali i dalje je bio „opsednut beskonačnošću i problemima svemira“ kada je, dve godine docnije, u beogradskoj kafani doneo svoju odluku.

Pišući, docnije, o toj odluci, Milanković se zapitao nije li možda vino bilo odgovorno za taj trenutak na dahnuća. Igralo vino neku ulogu ili ne, on je pronašao izavov za kakvim je žudeo: razviće matematičku teoriju kadru da objasni klimu na Zemlji, Marsu i Veneri – sada i u prošlosti. To je bio problem dovoljno krupan da zaokupi svu njegovu energiju i darovitost.

Kada je na univerzitetu Milanković razgovarao o svojim novim ambicijama, našao je da time zbunjuje svoje kolege.

Oni koji se bave Zemljinom klimom, meteorolozi, ne brinu se za klimu ostalih planeta; a što se tiče Zemljine klime, tu su svi oni čisti empiričari koji ne mare za komplikovane matematičke teorije, niti bi umeli njima rukovati. Ne žele, kao što se kaže, ulaziti u crkvu kroz toranj. Našto udariti putem koji vodi preko dalekog Sunca da bismo doznali šta se na Zemlji zbiva, kada na njoj imamo nekoliko hiljada meteoroloških stanica koje nas obavestavaju o svim temperaturnim pojavama u sloju Zemljine atmosfere u kojem živimo tačno, tačnije no što to može učiniti najsavršenija teorija. Tako misle i geografi. Najveći među našima, Jovan Cvijić, začudio se kada sam mu pričao o svojoj nameri da računom dokučim srednje temperature Zemljinih uporednika i zapitao me čemu bi to služilo.

Ali za teoretičara poput Milankovića prednosti rada su matematičkim predviđanjima, umesto sa termometrom, bile su očigledne. Jedino će mu teorijska izračunavanja dozvoliti da proučava temperature na mestima koja su van domašaja neposrednog posmatranja: u gornjim slojevima Zemljine atmosfere i na površini mnoštva planeta i meseca u Sunčevom sistemu.

Ista ona peć, Sunce, koja zagreva našu Zemlju zagreva i one planete koje su se ohladile i obavile tvrdom

korom. Zato bi rezultati te teorije važili i za te planete. Oni bi nam pružili prve pouzdane podatke o klimatskim prilikama tih dalekih svetova o kojima se dotada nije ništa pouzdano znalo.

I to nije bilo sve. Jer, ako je moguće izračunati klimu na planetama ovakvim kakve su danas, bilo bi moguće postići i ostatak cilja: opisati klime u prošlosti, kada su oblik Zemljine putanje i nagib njene ose rotacije bili drugačiji. Jednom rečju, nova teorija „omogućila bi nam da preskočimo granice naših direktnih osmatranja, kako u vremenu tako i u prostoru“. Ali Milanković je nastavio oprezno. Prvi korak bio je da se utvrdi šta su drugi istraživači već učinili.

Milanković je ubrzo našao da niko nije postigao ono što je on nameravao da učini. Sa jedne strane, klimatolozi poput njegovih skeptičnih kolega sa univerziteta, zadovoljavali su se merenjima temperature, padavina i brzine vetra. Sa druge strane, a to su se bili posvetili utvrđivanju sadašnjih oblika planetarnih putanja i nisu pokušavali da izračunaju raspodelu osunčavanja na površinama planeta, koje se na svojem putu ljuljaju i naginju. Iako su, istina, Ademar i Krol – pioniri astronomske teorije o ledenim dobima – opširno pisali o uticajima promena orbite na klimu, ni jedan ni drugi nije imao dovoljno matematičkog iskustva da tačno izračuna veličinu takvih uticaja.

Utvrdivši da se stazom koju je nameravao da sledi niko pre njega nije kretao, Milanković je pažljivo isplanirao svoje naučno putovanje „kroz vasionu i vekove“. Samo je veliki um mogao da zamisli takav poduhvat. Ali bilo je potrebno više od velikog uma da be se on i izveo: put na koji je Milanković naumio da krene trajace trideset godina.

Milanković je na svojoj teoriji radio svakoga dana. Čak bi i na odmor, na koji bi išao sa ženom i sinom, nosio po nekoliko kofera knjiga i zahtevao da se u njegovoj sobi nalazi radni sto. U Beogradu, najveći deo svojih proučavanja obavljao je kod kuće, u velikoj radnoj sobi čiji su zidovi bili prekriveni knjigama (ova soba je sačuvana u celosti, brigom Srpske akademije nauka).

Utorkom i sredom držao je predavanja na Univerzitetu. Potom bi sat-dva proveo u društvu prijatelja. Kod kuće bi se večeralo tačno u osam časova, a posle toga bi se razgovaralo o muzici ili svetskim pitanjima. Dva časa bi se provelo za stolom, a potom bi jedan čas bio posvećen čitanju. Na kraju, Milanković bi, ugasisvi svetlo, sedeo i razmišljao.

Milanković je svoj naučni plan izradio temeljno, po put generala koji priprema kakvu invaziju. Njegov je prvi cilj bio da opiše geometriju putanje svake planete i da pokaže kako se ta geometrija razvijala tokom proteklih vekova. Milanković je utvrdio, kao i Krol pre njega, da količina osunčavanja delova površine svake planete zavisi od tri parametra same orbite: ekscentriciteta Zemljine eliptične putanje, nagiba ose rotacije i odstojanja perihela od prolećne tačke.

Milanković je, mora biti, shvatio kao predskazanje da će uspeti u svojoj zamisli kada je otkrio da je, samo sedam godina ranije, 1904. godine, astronomske proračune koji su mu bili potrebni, već obavio nemački matematičar Ludvig Pilgrim (Ludwig Pilgrim). Dok je Krol imao na raspolaganju samo Leverijeove proračune o ekscentricitetu i precesiji u toku proteklih 100.000 godina, Milanković je mogao da upotrebi Pilgrimove proračune varijacija sva tri ključna svojstva (ekscentricitet, precesija i nagib rotacione ose) u toku proteklih milion godina. Na taj način, prvi značajni Milankovićev cilj lako je postignut.

Sada se činilo da je njegov drugi cilj – izračunati kolika količina Sunčeva zračenja pogađa površinu svake planete tokom svakog godišnjeg doba i na svakoj geografskoj širini – nadohvat ruke. Dva stoleća ranije, Isak Njutn je stvorio opštu teoriju zračenja. Njutn je pokazao da količina toplote koja stiže sa Sunca zavisi od dva geometrijska faktora: udaljenosti od Sunca i ugla pod kojim Sunčevi zraci padaju na određeni deo površine planete. Pošto su ovi geometrijski faktori mogli da se izvuku iz Pilgrimovih proračuna, Milanković je zaključio da bi, takođe, trebalo da bude moguće matematički izraziti raspodelu Sunčeva zračenja (osunčavanja) na površinu planeta.

Iako u osnovi jednostavan, ovaj zadatak se u praksi pokazao izuzetno teškim. Jer sve planete se okreću oko sebe, nalaze se na kružnim putanjama, klata se i naginju u ludom zvezdanom plesu, čiji svaki pokret ima nekog dejstva na zračenje koje primaju sa Sunca. Ali Milankoviću je bilo trideset dve godine i bio je uveren u svoje snage. Docije je pisao:

Znao sam da taj posao kiklopa nije lak i da će trajati godinama. No to me nije zaplašilo, bio sam mlad, bolje reći u najboljim godinama za takav poduhvat. Da sam bio mlađi, ne bih imao dovoljno znanja i iskustva za takav posao, a da sam bio stariji, ne bih imao onog samopouzdanja i odvažnosti što ih samo mladost daje.

Isprva su Milankovićeva istraživanja dobro napredovala. Ali, nastojeći da dublje proniknem u sam problem, naidoh na brojne teškoće i ne mogah dalje... Uskoro, 1912. godine otpočeo je srpsko-turski rat. Dunavska divizija srpske armije u čije sam štapsko osoblje bio raspoređen, pređe rano jutrom granicu dotadanjeg Turskog carstva i spremi se da zauzme planinski vrh Starac kod Kumanova.

Dok je mladi matematičar posmatrao srpske trupe kako se probijaju ka planinske vrhu, njegove misli su bile okrenute njegovom vlastitom naučnom jurišu i teorijskim preprekama koje nije mogao da savlada. A kada su srpske regimente osvojile vrh Starac, kroz glavu mu je sevnulo rešenje matematičkih problema i on je „osvojio planinski vrh“ na vlastitom unutrašnjem bojnopolju.

Dva dana posle toga Turci su bili poraženi. Nastao je prekid vatre i Milanković je mogao da se vrati svojoj privatnoj bici, u radnoj sobi u Beogradu. Iako je sada brzo napredovao, shvatio je da će proći nekoliko godina pre no što ostvari svoj drugi veliki cilj. Svestan nesigurne političke atmosfere na Balkanu, odlučio je da ne nastavlja svoje proračune dok rezultate do kojih je već došao ne stavi na hartiju. Oni su, tokom 1912. i 1913. godine, objavljeni u tri kratke rasprave. Početkom 1914. godine Milanković je objavio još jedan članak, *O pitanju*

astronomskih teorija ledenih doba. Štampan na našem jeziku, u jeku političkih previranja u Evropi, ovaj članak je godinama ostao nepoznat naučnoj javnosti. Ipak su Milankovčevi radovi već bacili novu svetlost na pitanje ledenih doba, pokazavši matematički da su varijacije u ekscentricitetu i precesiji dovoljno velike da izazovu širenje i skupljanje ledenih pokrivača. Štaviše, Milanković je pokazao da su klimatski efekti varijacija ugla nagiba ose rotacije još i značajniji no što je Krol bio nagovestio. Smatrajući da je ojačao zalede, Milanković se vratio poslu, uveren da mu više ništa ne stoji na putu. Sve što mu je bilo potrebno, bilo je vreme za računanje. A onda je, 1914. godine, izbio prvi svetski rat i Milankovića je, dok se nalazio u poseti svojem rodnom mestu Dalju, zarobila austrougarska armija. Kao ratni zarobljenik, odveden je najpre u logor u selo Turanj kod Karlovca, a zatim u zatvor u Nežideru u Mađarskoj.

Tamničar ode i zaključa dvostruko gvozdена vrata svoje ćelije. Velika brava škljocnu, a zatim i lokot kojim se zavravljivala debela gvozdена prečaga položena diagonalno preko vrata.

Sedoh na krevet, obazreh se po sobi i stadoh da se uživljudem u svoj novi društveni položaj... i tako reših da iskoristim i ovakvu priliku.

U momе ručnom koferu koji sam poneo sa sobom, nalazili su se moji već štampani ili tek započeti radovi o mom kosmičkom problemu; tu je bilo i čiste hartije. Počeh da prelistavam te spise, uzeh u ruke svoje vernaliv-pero, stadoh da pišem i računam.

Posao mi je išao izvanredno od ruke. Kada se smrklo, zapalih lampu. Miris, bolje reći smrad petroleuma, vrati me u srećno dačko doba. Osećao sam se vrlo zadovoljan. Uveliko je bila prošla ponoć kada se digoh sa posla. Kada se obazreh po sobici, zapitah se gde se nalazim. Izgledala mi je kao prenočište na rtome putovanju po vasioni.

Na Badnje večе 1914. godine, zatvorenik koji se putujući kroz vasionu sam oslobađao svojeg tamnovanja, primio je neočekivani ali dobrodošli poklon – slobodu. Njegovi su tamničari dobili depešu od austrougarskog Ministarstva

rata, kojom im se naređuje da Milankovića upute u Budimpeštu. Tamo je Milanković bio oslobođen, pod uslovom da se svake sedmice javlja policiji. Izvesni profesor Čuber, saznavši da se talentovani matematičar našao u zatvoru, zamolio je za njegovo oslobađanje u interesu nauke i molbi mu je udovoljeno.

Čim se smestio u Budimpešti, Milanković je svoju staru kožnu tašnu tutnuo pod mišku, uputio se u biblioteku Mađarske akademije nauka i zakucuo na vrata. Direktor biblioteke, takođe matematičar, Koloman fon Sili (Koloman von Szily), primio ga je raširenih ruku. Najveći deo sledeće četiri godine, Milanković je proveo u čitaonici biblioteke, radeći „bez žurbe i pažljivo planirajući svaki korak“. Dve godine su bile posvećene razvijanju matematičke teorije za predviđanje klime na Zemlji onakve kakva je danas. Tokom treće i četvrte godine boravka u Budimpešti, Milanković je završio opisivanje sadašnje klime na Marsu i Veneri.

U međuvremenu rat se bio završio. Milanković je rezultate četvorogodišnjeg rada stavio u tašnu, ukrcao se na beli dunavski parobrod i vrati se kući u Beograd. Uprkos ratu, postigao je svoj drugi cilj: matematički izraz sadašnje klime na Zemlji, Marsu i Veneri. Kada su ovi rezultati objavljeni 1920. godine pod naslovom *Matematička teorija toplotnih pojava prouzrokovanih Sunčevim zracima*, meteorolozi su ih ubrzo prepoznali kao značajni doprinos proučavanju savremene klime. Knjiga je takođe trebalo da bude zanimljiva i proučavaocima davnašnje klime, jer je sadržala matematičku demonstraciju da su astronomske varijacije bile dovoljno uticajne da izazovu ledena doba, menjajući geografsku i sezonsku raspodelu osunčavanja. Pored toga, Milanković je tvrdio da bi bilo moguće izračunati, za bilo koje vreme u prošlosti, količinu Sunčeve svetlosti koja je dopirala do Zemlje.

Iako većina geologa nije zapazila ovu knjigu, ona je smesta privukla pažnju Vladimira Kepena (Wladimir Köppen), dobro poznatog i veoma cenjenog nemačkog klimatologa. Kepen je bio sastavio karte sveta, koje su pokazivale distribuciju temperature i taloga i tim podacima se koristio da klimu na Zemlji podeli u zone koje će biti izraz geografske rasprostranjenosti biljaka.

Tako je prispeće poštanske karte od velikog Kepena izazvalo ne malo uzbuđenje u Milankovićevom domu. Kasnije će Milanković pisati:

Jednom će se ta jednostavna dopisna karta, koju ja čuvam kao relikviju, naći u mojoj zaostavštini. Kartu je iz Hamburga odaslao Vladimir Kepen, veliki nemački klimatolog, a u njoj je bilo reči o mojoj tek objavljenoj matematičkoj teoriji. Vremenom uslediše jedno za drugim 49 pisama i dopisnica, tako da našu uzajamnu korespondenciju čini stotinu međusobnih dopisa. U svom drugom pismu Kepen me obavesti da je sa svojim zetom Alfredom Vegenerom, započeo rad na knjizi o klimama geološke prošlosti.

Iako sedamdesetšestogodišnjak, ovaj naučnik je pre drugih uvideo koristi koje Milankovićeve teorije može imati za paleoklimatološka proučavanja i pozvao ga je na saradnju.

Razmislih šta da mu odgovorim. U problemu ledenih doba sučeljava se više naučnih oblasti. Nebeska mehanika i sferna astronomija u vezi sa teorijskom fizikom su kao što sam svojim delom pokazao, u stanju da ispitaju sekularni tok osunčavanja Zemlje. No već posledice tog osunčavanja ulaze u oblast klimatologije, a njihova svedočanstva su predmet geologije. Samo saradnjom tih nauka može se taj izvanredno značajni problem rešiti u potpunosti, jer je ostao do sada nerešen što je ležao na tromeđi tih nauka.

Lice mi se razvedri. Zapitah se kakav je srećan slučaj bio ovde posredi. Kepen je klimatolog svetskog glasa, Vegener genijalan geofizičar i poznavalac svega što je u vezi sa tom naukom. I uvideh: nije bio puki slučaj posredi, već uzročnost, kauzalnost zbivanja koje nas trojicu dovede na okup.

Milanković je, dakle, drage volje pristao i usledila je plodna razmena ideja između jugoslovenskog naučnika i dva Nemca – jedan je bio slavni klimatolog, a drugi vodeći među evropskim geolozima. Iako još mlad, Alfred Vegener (Alfred Wegener) je već bio glasovit po svojoj teoriji da kontinenti lagano menjaju svoj geografski položaj. Kao što je Kepen i naslutio, Milankovićeve teorije se pokazala kao neprocenjiva alatka pri istraživanju prastarih klima. Ali saradnja je bila korisna i za Milankovića, jer je teško mogao

da pronađe dva čoveka koji bi mogli pouzdanije da ga vode kroz složena geološka svedočanstva o klimi.

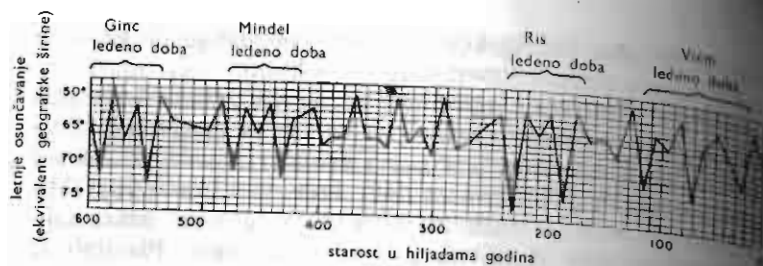
Kepen je ubrzo bio u prilici da za Milankovića reši jedan veliki problem. Razvivši matematičku mašineriju koja će mu omogućiti da proračunava osunčavanje na bilo kojoj datoj geografskoj širini i za bilo koje godišnje doba, Milanković je bio spreman za juriš na svoj treći veliki cilj: matematički opis klimâ na Zemlji u prošlosti. Planirao je da to postigne izvlačeći krivu koja će pokazati varijacije u osunčavanju, odgovorne za niz ledenih doba. Ali svaki uporednik i svako godišnje doba na svakoj geografskoj širini imali su jedinstvenu istoriju osunčavanja. Milanković je, prema tome, bio suočen sa problemom određivanja koja je geografska širina i koje godišnje doba kritično za rast jednog ledenog prekrivača. Ademar i Krol su verovali da su ovaj problem rešili pretpostavljajući da je kritičan faktor osunčavanje na visokim geografskim širinama, tokom zime. Ali Milanković nije bio uveren u tačnost ovog gledišta i pitao je Kepena za mišljenje.

Posle iscrpnog razmatranja svih mogućnosti, Kepen mi odgovori na pitanje mišljenjem da je smanjenje temperature u toku letnje polugodine odlučujući činilac za početak ledenog doba.

Kepen je smatrao da promene u zimskom osunčavanju teško mogu znatno uticati na godišnji snežni bilans, jer su temperature arktičkih oblasti dovoljno niske, čak i u sadašnje vreme, i omogućuju akumuliranje snega. Tokom leta, međutim, savremeni glečeri se tope. Prema tome, svako smanjenje u intenzitetu osunčavanja za vreme letnje polugodine zaustavilo bi topljenje, učinilo godišnji snežni bilans pozitivnim i dovelo do širenja leda.

Prihvatajući Kepenovu logiku, Milanković je odmah počeo da izračunava krive koje pokazuju variranje osunčavanja za vreme letnje polugodine za 55°, 60° i 65° severne geografske širine u toku proteklih 650.000 godina. Ni ovaj zadatak nije bio lak i Milanković je pisao:

Posle punih sto dana besprekidna rada dovrših svoje račune, nacrtah grafičku predodžbu njihovih rezultata,



Slika broj 24.

Milankovićeva kriva osunčavanja za 65. stepen severne geografske širine. Osnovna postavka Milankovićeve teorije o ledenim dobima vidi se na krivama koje prikazuju promene intenziteta letnjeg osunčavanja u toku proteklih 600.000 godina. U ovoj verziji, prvi put objavljenoj 1924. godine, Milanković je neke od minimuma na krivoj identifikovao sa četiri (prethodno postavljena) evropska ledena doba. Promene intenziteta letnjeg osunčavanja izražene su preko ekvivalentnih geografskih širina; na primer, osunčavanje na 65. stepenu severne geografske širine pre 590.000 godina, ekvivalentno je današnjem osunčavanju na 72° N. (Prema V. Kepenu i A. Vegeneru, 1924).

a moj se dijagram sastojao iz tri zupčaste linije sastavljene od pravih delova, od kojih je svaka predočavala kako se u toku minulih 650.000 godina menjalo letnje osunčavanje uporednika na 55, 60, i 65. stepenu severne geografske širine.

Svoj dijagram (slika 24) Milanković je uputio Kepenu i nestrpljivo očekivao klimatologov odgovor.

Nije morao dugo da čeka. Kepen mu je odmah odgovorio da oblik zupčastih linija na dijagramu može dosta dobro da se složi sa istorijom alpskih glečera kako su je, petnaest godina ranije, rekonstruisali nemački geografi Albrecht Penck (Albrecht Penck) i Eduard Brikner (Eduard Brückner). Kepen je, takode, izrazio želju da krive osunčavanja uključi u knjigu koju je nameravao da sa zetom objavi i pozvao je Milankovića da ga poseti u Insbruku, u Austriji te jeseni, kako bi o tome porazgovarali.

Ushićen što dokazi podržavaju njegovu teoriju, Milanković je prihvatio da se sretne sa svojim nemačkim prijateljima u septembru 1924. godine. Stigavši u Insbruk na

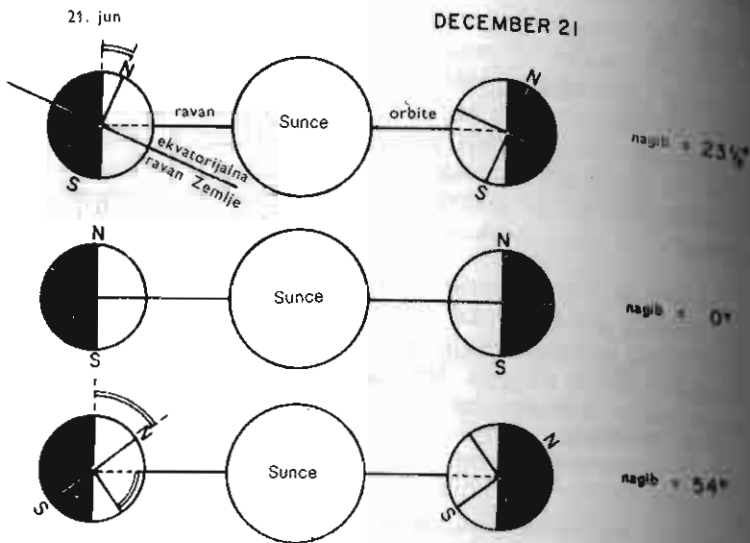
vreme da prisustvuje jednom naučnom skupu, Milanković se odmah uputio u prostoriju u kojoj je Alfred Vegener govorio o „klimama u geološkoj prošlosti“. Prvi deo predavanja bavio se Vegenerovom teorijom o pomeranju kontinenata i klimom davnih geoloških perioda. Kasnije će se Milanković sećati da je Vegener govorio „uz najveću skromnost i najprostijim rečima... potkrepljujući ih ogromnim brojem činjenica“.

I sve je tako govorio dok nije počeo da govori o klimatima pleistocenske epohe, a kada počeo da govori o mojim krivama, dakle o nekom drugom, podiže glas i govoraše sa elanom. Iznenadnih se što je uopšte govorio o mojim krivama, jer mi na našem prethodnom sastanku ne spomenu ni reči o tome. Još manje sam očekivao da će mojoj saradnji posvetiti veliki deo svoga predavanja i toliko priznanja. Zato sam se, kad god je izgovarao moje egzotično ime, šćućurio u svoje sedište da me Vegener ne opazi i svojim pogledom oda auditorijumu moje prisustvo.

„Te noći“, pisao je Milanković, „spavah na lovorikama i mekim jasticima“. Milankovićev boravak u Insbruku, međutim, nije bio do kraja posvećen radu, jer je, u društvu jednog starog kolege iz inženjerskih dana, uspeo da istraži i „sve gostionice u Insbruku“.

Objavljivanje Kepenove i Vegenerove knjige *Klime u geološkoj prošlosti*, 1924. godine, osiguralo je široku cirkulaciju krivih osunčavanja u naučnim krugovima, krivih koje je Milanković tako temeljno proračunao. Neki su se geolozi složili sa Kepenom i Vegenerom da se krive lepo slažu sa geološkim svedočanstvima; drugi su mislili drugačije.

Sâm Milanković nije imao nikakvih sumnji. Vrativši se iz svoje značajne posete Insbruku u Beograd, ponovo se bacio na rad. Do tada, izračunao je bio krive samo za tri geografske širine, za 55°, 60° i 65° severne širine – delove Zemljine kugle za koje se mislilo da su najosetljiviji na promene u toplotnom bilansu. Iako bi promene u osunčavanju bile slabijeg dejstva na nižim širinama, Milanković je smatrao da bi ipak do izvesne mere uticale na lokalnu klimu. Stoga je počeo da izračunava krive osunčavanja za svaku od osam širina između 5° i 75° severne širine.

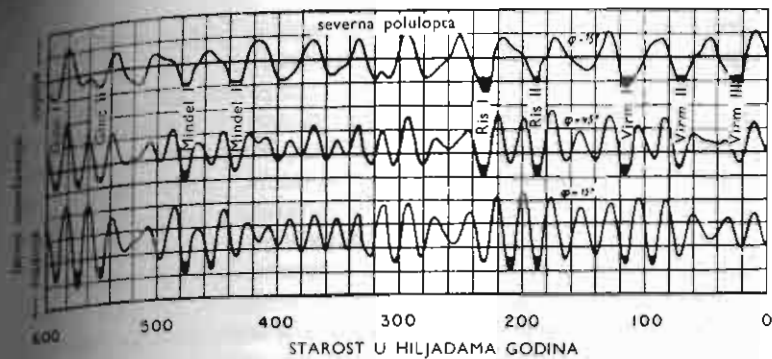


Slika broj 25.

Efekat nagiba rotacione ose Zemlje na raspodelu osunčavanja. Kada je nagib manji od sadašnje vrednosti ($23,5^\circ$), polarne oblasti primaju manju količinu toplote sa Sunca nego danas; kada je nagib veći, polarne oblasti primaju veću količinu toplote. Krajnje granice ovoga efekta bile bi (iako se to nikada ne događa) nagib od 0° , kada polarne oblasti uopšte ne bi primale toplotu sa Sunca, odnosno nagib od 54° , kada bi sve tačke na Zemlji primale godišnje istu količinu toplote sa Sunca.

Ovaj je posao Milanković dovršio 1930. godine (treći veliki cilj njegovog „ratnog plana“) i objavio ga je u vidu jednog toma Kepenovog *Klimatološkog priručnika*. Naslov knjige izražavao je Milankovićev životni cilj tako jasno, da ovoga puta nijedan geolog nije mogao da propusti njegovo značenje: *Matematička klimatologija i astronomska teorija klimatskih promena*.

Kada je tih osam krivih osunčavanja objavljeno geolozi su po prvi put shvatili kako dva astronomska ciklusa utiču na vidove primanja Sunčeva zračenja. Kao što je Krol bio prorekao, smanjenje nagiba ose rotacije izaziva smanjenje letnjeg osunčavanja (slika 25), a smanjenje rastojanja između Zemlje i Sunca u bilo koje godišnje doba, izaziva povećanje osunčavanja u tom godišnjem dobu.



Slika broj 26.

Milankovićeve krive osunčavanja za različite geografske širine. Godine 1938. Milanković je objavio ove krive, koje prikazuju promene letnjeg osunčavanja za 15° , 45° i 75° severne geografske širine. Efekat 22.000-godišnjeg ciklusa precesije jasno je uočljiv na krivama za niže geografske širine (donje dve krive). Minimumi na krivoj za $75^\circ N$ identifikovani su sa četiri (pretpostavljena) evropska ledena doba. (Prema M. Milankoviću, 1941).

Ali sada je bilo jasno da jačina ovih dejstava dosledno varira sa promenom geografske širine. Uticaj ciklusa nagiba ose rotacije – pravilne, 41.000-godišnje oscilacije inklinacije Zemljine ose – veliki je na polovima i smanjuje se idući prema polutaru (slika 26). Za razliku od toga, uticaj ciklusa precesije – 22.000-godišnja oscilacija rastojanja između Zemlje i Sunca – mali je na polovima, a raste idući ka polutaru. Zbog toga što količinu osunčavanja na svakoj geografskoj širini i za svako godišnje doba određuje ugao nagiba ose rotacije i rastojanje između Zemlje i Sunca, oblik krive osunčavanja dosledno se menja od pola do polutara. Na krivama izračunatim za visoke geografske širine dominantan je 41.000-godišnji ciklus nagiba, a na onima za niže širine – 22.000-godišnji ciklus precesije.

Milanković je sada počeo da radi na ostvarivanju svojeg četvrtog i poslednjeg cilja: izračunati u kolikoj će meri ledeni pokrivači reagovati na datu promenu osunčavanja. Ovde je glavnu teškoću predstavljalo procenjivanje važnosti odbijanja Sunčevih zraka od površine i njihovog povratnog dejstva. Da je ovaj mehanizam delovao tako što je uvećavao svaku

početnu promenu u osunčavanju, bilo je poznato još otkako ga je, po prvi put, zapazio Džejms Krol. Ali su do tada svi pokušaji njegove kvantitativne analize propali. Milanković je najzad rešio problem izučavajući nadmorsku visinu granične linije snega – visinu iznad koje ima makar malo snega tokom čitave godine. U blizini Ekvatora, snega je bilo na planinama, znatno iznad morskog nivoa. U blizini polova javljao se i na nivou mora. Milankoviću je pošlo za rukom da formuliše matematički odnos između letnjeg osunčavanja i nadmorske visine granične linije snega i da tako odredi koliko bi povećanje snežnog pokrivača usledilo kao posledica bilo koje date promene u letnjem osunčavanju.

Godine 1938. Milanković je svoje rezultate objavio u radu *Novi rezultati astronomske teorije klimatskih promena*. Iako se oblik krivih koje su ovde bile objavljene nije mnogo razlikovao od ranije objavljenih krivih osunčavanja, geolozi su sada imali grafikon sa kojeg su mogli da izvuku procenu granične nadmorske visine ledenih pokrivača za bilo koje vreme u toku proteklih 650.000 godina. Dalje, Milanković je obavio brojne dodatne proračune, tako da su testeraste linije njegovih ranijih grafikona poprimile oblik krivih linija čije promene nisu nagle.

Dostigavši sva četiri postavljena cilja, Milanković je smatrao da je njegov kosmički problem rešen. Deset godina ranije počeo je da piše niz popularnih članaka, u obliku pisama upućenih nepoznatoj mladoj ženi. U stvari, Milanković je mnogo ranije otpočeo ovaj posao, za vreme jednog putovanja u Austriju.

Pisma su sadržavala i mnoge autobiografske podatke, ali im je glavni cilj bio da posluže kao neobavezan uvod u astronomiju i istorijsku klimatologiju. Pisma su objavljivana u nastavcima u *Letopisu Matice srpske* iz Novog Sada, ali stekoše tako veliku popularnost, da 1928. godine budu i zbirno objavljena u knjizi *Kroz vasionu i vekove: pisma jednog astronoma*. Prvo izdanje štampano je na srpskohrvatskom jeziku, ali je 1936. godine prošireno i štampano na nemačkom jeziku.

Identitet mlade žene kojoj je autor pisma upućivao, ostao je tajna – a Milankovićeva supruga energično je tvrdila da takva žena nikada nije ni postojala.

Tokom poznih tridesetih godina ovoga veka Milanković je otpočeo rad na obuhvatnom pregledu svojeg životnog dela, koji je trebalo da nosi naslov *Kanon osunčavanja i problem ledenog doba*. Završne stranice ove knjige nalazile su se u štampi kada je, 6. aprila 1941. godine, Nemačka napala Jugoslaviju. U haosu koji je nastao, štamparija u Beogradu koja je štampala knjigu bila je uništena, a poslednje stranice knjige morale su biti ponovo štampane.

Sam rat Milankovića nije preterano brinuo, jer je bio uveren da će Nemci pretrpeti poraz. Bio je zadovoljan i ispunjen tihim ponosom što su rezultati njegovih dugih godina rada sada bili priznati u svetu kao krupno naučno ostvarenje. Istina, bilo je nekih naučnika koji nisu prihvatili njegovu teoriju, ali je Milanković odbijao da se brani pisanom rečju i kasnije je primetio da mu zbog toga nije žao,

... jer je i bez moje pomoći nekoliko nemačkih naučnika našlo prave odgovore na primedbe koje su bile upućene u svoje vreme... U svojoj privatnoj biblioteci posedujem pet nezavisnih naučnih knjiga i više od stotinu radova u kojima se moje krive osunčavanja koriste kao osnova njihovih istraživanja toka i hronologije ledenih doba.

Godine 1941, u šezdeset trećoj godini, Milanković je dovršio svoju matematičku teoriju osunčavanja i primenio je na pitanje ledenih doba. Mnogo godina kasnije, Vasko Milanković će se setiti kako mu je otac govorio:

Jednom kada veliku ribu uhvatiš, više te male ribe i ne interesuju. Punih 25 godina radio sam ja na svojoj teoriji osunčavanja, a sada kada je taj rad završen, ja više posla i nemam. Previše sam star da otpočnem rad na kakvoj novoj teoriji, a teorije takvog dometa kakvog je bila ona koju sam završio ne rastu na granama drveća.

Jedne večeri, rekao je supruzi i sinu:

Znam šta ću raditi za vreme nemačke okupacije. Pisaću istoriju svog života i rada. Posle moje smrti neko se može poduhvatiti takvog pisanja i moju će biografiju pogrešno napisati.

Milanković je memoare objavio 1952. godine, a 1957. završio je rad na kratkoj sintezi svojih naučnih istraživanja. Sledeće godine, u sedamdeset devetoj godini, Milanković je umro. Jugoslovenski matematičar, koga su izračunavanja bila povelja da luta kroz vasionu i vekove, pošao je na svoj poslednji put.



Slika broj 27.

Portret Milutina Milankovića. Rad Paje Jovanovića, 1943. (Ljubaznošću Vaska Milankovića).

9. RASPRAVE OKO MILANKOVIĆEVE TEORIJE

Kada je, 1924. godine, objavljena Milankovićeve teorija, pažnja celokupne naučne javnosti ponovo se okrenula pitanju o ledenim dobima. Došlo je do tako svestranog zanimanja za istoriju Zemlje kakvog nije bilo još od 1837. kada je Luj Agasiz prvi put najavio svoju teoriju o glacijaciji. Zestina s kojom se raspravljalo o tome pitanju nije bila nimalo manja od one koja je svojevremeno izmila u raspravama između Agasiza i Baklenda.

Rasprave su potpirivale geološke činjenice sakupljene tokom šezdeset godina nakon što je Džejms Gejki uspešno rešio pitanje ledničkih nanosa. Rad koji je Gejki obavio inspirisao je dve generacije geologa da uzduž i popreko pretražuju Zemljinu loptu ne bi li našli nove dokaze o prošlosti klime. Činjenica o ledenim dobima bilo je u izobilju. Ono što je geolozima nedostajalo bila je teorija koja bi objedinila sve te činjenice i pružila obuhvatno objašnjenje ledenih doba. Milanković im je ponudio upravo takvu teoriju.

Najvrednija odlika Milankovićeve teorije bila je u tome što je ona pružala mogućnost da se provere pretpostavke zasnovane na geološkim svedočanstvima o minulim klimama. Teorija je predviđala na koliku količinu glečerskih nanosa geolozi mogu naići i precizno je ukazivala na vreme kada su takvi nanosi stvarani tokom proteklih 650.000 godina.

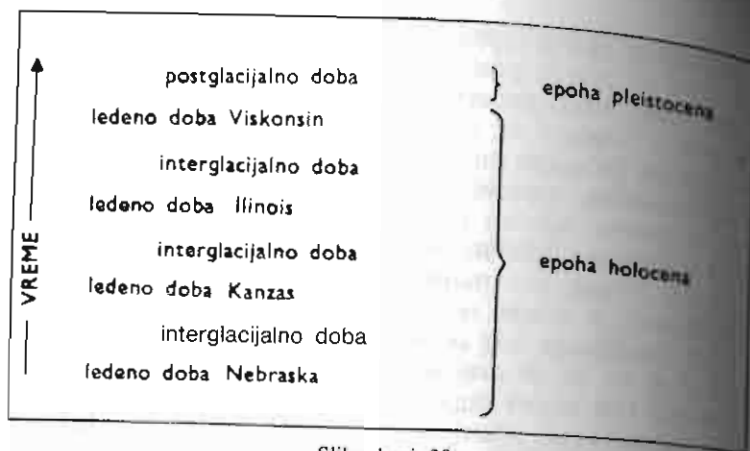
Ta predviđanja bila su sadržana u trima gotovo identičnim krivama koje su pokazivale ranije promene letnjih osunčavanja na 55, 60. i 65. stepenu severne geografske širine (slika 24). Prema teoriji, svaki minimum osunčavanja

izazivao je ledeno doba. Bilo je ukupno devet minimuma, a svaki od njih je predstavljen kao uska projekcija koja prodiže znatno ispod prosečne vrednosti na krivama osunčavanja. Kepen i Vegener su istakli činjenicu da se minimumi ne nalaze na jednakim međusobnim intervalima, već formiraju karakterističan, nepravilan niz. Poslednja tri minimuma bila su grupisana zajedno i formirala su triplet: trebalo bi da oni odgovaraju ledenim dobima pre 25.000, 72.000 i 115.000 godina. Drugih šest minimuma javilo se u parovima. Sam Milanković je ukazao na neobično dug interval visokih vrednosti osunčavanja koji se nalazi oko sredine grafikona. Predvideo je da će se ovaj interval u geološkim istraživanjima pokazati kao veoma dugotrajno interglacijalno doba.

Odmah posle objavljivanja astronomske teorije o ledenim dobima geolozi, kojima su bili poznati podaci o glečerskim nanosima, pokušali su da teoriju provere brojanjem proslojaka zemlje u morenskim nanosima i određivanjem vremena kada su ti proslojci nastali. Pokazalo se, međutim, da je vrlo teško postići bilo jedno bilo drugo, jer napredovanje svake glacijacije teži da razori nanos stvoren u toku prethodnih glacijacija, pa su sukcesije nanosa i zemlje na većini mesta nepotpune. Najviše što se moglo učiniti bilo je da se na osnovu debljine i rasprostranjenja slojeva zemlje i nanosa izvede gruba procena trajanja svakog ledenog doba, odnosno interglacijalnog perioda.

Uprkos spomenutim teškoćama, uporni američki geolozi pod vodstvom Tomasa Čemberlena sa Univerziteta u Cikagu i Frenka Levereta (Frank Leverett) iz Geološke službe SAD, došli su do zaključka da je u Sjedinjenim Državama bilo četiri glavna ledena doba. Nanosi glečerskog materijala, koji su odgovarali tim dobima, nazvani su imenima saveznih država u kojima su bili najbolje proučeni. Idući od najstarijeg ka najmlađem, nanosi su nađeni u Nebraski (najstariji), Kansasu, Ilinoisu i Viskonsinu (najmlađi). Druga geografska imena upotrebljena su da se njima označe interglacijalni periodi (slika 28).

Naoružani impresivnom zbirkom činjenica i imena, geolozi su se svrstali u pristalice i protivnike Milankovićeve teorije. Prvi su ukazivali na to da četiri severnoamerička glacijalna nanosa odgovaraju grupama (jednom tripletu i trima parovima) minimuma na krivama osunčavanja, kao



Slika broj 28.

Teorijsko smenjivanje ledenih doba u Severnoj Americi. Do kraja devetnaestoga veka, uočeni su glečerski nanosi koji odgovaraju četirima ledenim dobima pleistocena i data su im odgovarajuća imena. Kasnija istraživanja pokazala su da je ledenih doba bilo mnogo više.

što je to teorija i predviđala. Protivnici astronomske teorije suprotstavljali su se stavom da je starost severnoameričkih glečerskih nanosa određena u veoma širokim granicama, pa da zapravo nema načina da se utvrdi da se ijedan minimum na krivama osunčavanja poklapa sa nekim ledenim dobom. Tako je pokušaj da se na ovaj način proveri astronomska teorija ostao neubedljiv.

Sasvim drugačiji pristup pitanju utvrđivanja sukcesije ledenih doba razradio je, osamdesetih godina prošloga veka, Albreht Penk, nemački geograf koji se bavio izučavanjem rečnih dolina na severnim padinama Alpa. Penk je utvrdio da je donji deo svake od ovih dolina bio ravna površ (stratum), koju je reka svojom erozijom pretvarala u šljunak. U gornjim tokovima reka, na višim nadmorskim visinama, na obe strane dolina, Penk je našao tri terase: – tri zatavljena odseka međusobno razdvojena strmim obalama. Terasa su bile izgrađene od slojeva šljunka sličnog onome kakav je pronađen na dnu dolina. Penk je smatrao da je svaki sloj šljunka nastao za vreme hladne klime kada su dejstvo leda i nedostatak vegetacije doprinosili snazi erozije. U toku intervala toplije klime, reke su, činilo se, prestajale da deponuju šljunak, krivudale su sa jedne na drugu stranu

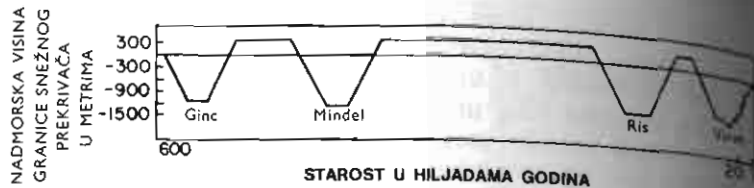
doline i zasecale ravan stratum. Penk je izveo zaključak da su ravni delovi terasa ostaci nekadašnjih stratuma koji su bili oformljeni u toku ranijih interglacijalnih perioda: ukoliko je terasa viša, utoliko je i starost odgovarajućeg interglacijalnog perioda veća. Tako je svaki sloj šljunka protumačen kao ostatak nekog većeg sloja, nastalog za vreme nekog ledenog doba.

Prema Penkovoju shemi, sekvence alpskih slojeva šljunka nudile su naučnicima potpunu predstavu o sukcesijama glacijacija, što nije bio slučaj sa ledničkim nanosima. Kako je bilo četiri sloja šljunka, morala su u pleistocenu postojati i četiri ledena doba. A mnogi geolozi su pretpostavili, bez dokaza, da su četiri američka ledena doba prekoatlantski ekvivalent ovoj evropskoj sukcesiji.

U Evropi je svako ledeno doba nazvano imenom rečne doline. Da bi geolozima, koji su već bili prezasićeni istorijskim terminima, bilo lakše, novi su nazivi poredani alfabetskim redom: Ginc (Günz), Mindel (Mindel), Ris (Riss) i Virm (Würm). Najstarije ledeno doba, Ginc, bilo je predstavljeno šljunkom koji je sačinjavao najvišu terasu; najmlađe, Virm bilo je predstavljeno šljunkom koji se nalazi na dnu sadašnjih reka. Nazivi Ginc, Mindel, Ris i Virm, koja su skovali Penk i njegov kolega Eduard Brikner, utisnuće se u sećanje mnogih generacija naučnika i studenata i godinama će odzvanjati u slušaonicama.

Pored toga što su nadenuili imena ledenim dobima, Penku i Brikneru pošlo je za rukom i da procene vreme koje je proteklo otkako se poslednji ledeni pokrivač povukao iz Švajcarske. To su postigli proučavajući debljinu postglacijalnih sedimenata u švajcarskim jezerima i procenjujući brzinu stvaranja tih sedimenata. Na taj način izračunali su da postglacijalni period traje već oko 20.000 godina.

Uzevši procenu o 20.000-godišnjem trajanju postglacijalnog perioda kao osnovu, Penk i Brikner su nastavili sa procenjivanjem trajanja prethodnih interglacijalnih perioda, poredeći dubinu postglacijalne erozije sa dubinom erozije do koje je dolazilo u toku svakog prethodnog toplog, interglacijalnog perioda. Na taj način izračunali su da je interglacijalno doba koje je neposredno prethodilo poslednjem ledenom dobu (Virm), trajalo oko 60.000 godina, a da je pre njega, između ledenih doba Ris i Mindel, interglacijalno



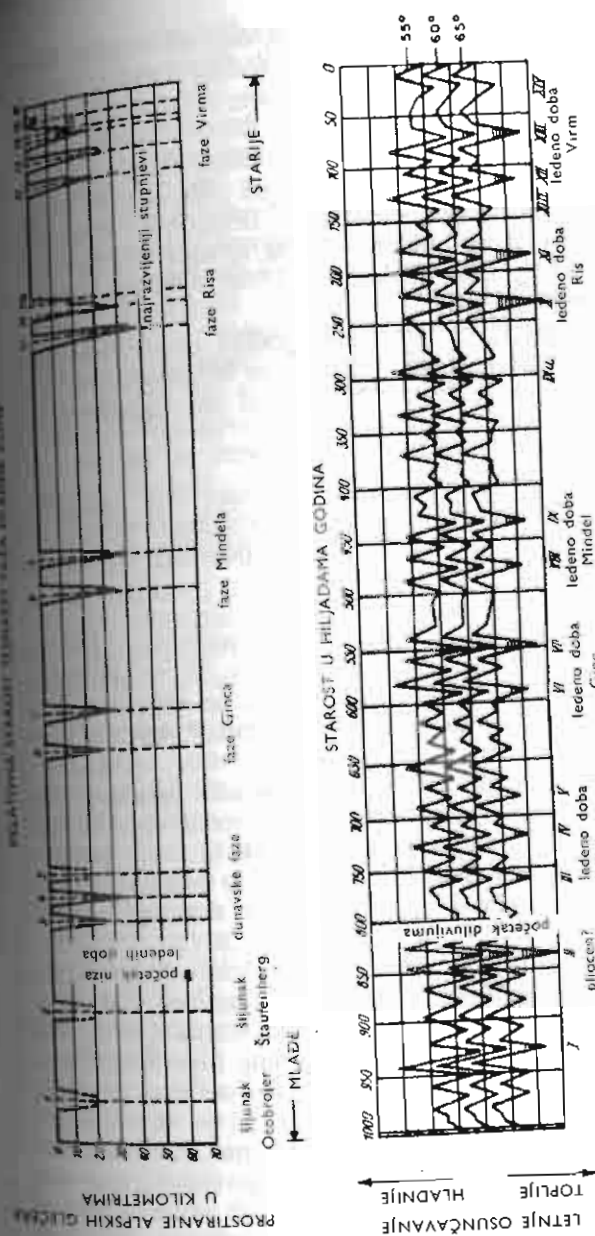
Slika broj 29.

Teorijsko smenjivanje ledenih doba u Evropi, prema klimatskoj istoriji Evrope kakvu su predložili Penk i Brikner 1909. godine. Tokom ledeni pretpostavljena ledena doba (Ginc, Mindel, Ris i Virm), granica večnog snega je, prema Penku i Brikneru, bila više od hiljadu metara ispod svake današnje granice na Alpima. (Prema M. Milankoviću, 1941).

doba, koje su nazvali velikom interglacijom, trajalo 240.000 godina. Sve u svemu, izračunali su da je epoha pleistocena trajala 650.000 godina.

Penk i Brikner su, 1909. godine, objavili svoj dijagram koji je prikazivao istoriju pleistocena (slika 29). Kada je, petnaest godina kasnije, Kepen poštom primio Milankovićeve krive osunčavanja, odmah je shvatio da astronomsku teoriju može proveriti upoređujući krive osunčavanja sa Penkovom i Briknerovom shemom. Kao što je pomenuto u Poglavlju 8, Kepen i Vegener su takvo upoređivanje izvršili 1924. godine i zaključili da se teorija i činjenice izvanredno dobro slažu. I na Milankovićevom dijagramu osunčavanja i na Penk/Briknerovoj shemi, ledena doba se javljaju poput kratkih otkućaja pulsa, međusobno razdvojenih dugim toplim intervalima. Iako se vreme nastupanja ledenih doba ne poklapa potpuno sa minimumima na krivoj osunčavanja, opšti izgled i jedne i druge krive prilično je sličan. Kepen i Vegener bili su posebno impresionirani činjenicom da je vremenski interval između ledenih doba Mindel i Ris (*velika interglacijacija*, kako su taj interval nazvali), analogan dugom toplom intervalu kakav je i Milanković predviđao. Konačno, Penkov i Briknerov zaključak da je poslednje ledeno doba okončano pre 20.000 godina dosta se dobro slagao sa krivom osunčavanja, na kojoj se poslednji minimum javlja pre 25.000 godina.

Zadovoljan što je Milankovićeva teorija potvrđena jednim nezavisnim istraživanjem, Kepen je tu dobru vest saopštio



Slika broj 30.

Eberlova provera Milankovićeve teorije. Eberlova istorija klime Evrope (gornji dijagram), upoređena sa Milankovićevim krivama za 55°, 60°, i 65° N (donji dijagram). Iako je vremenska skala za Eberlovu krivu klime bila dosta nesigurna, Milanković je stepen sličnosti između dva dijagrama smatrao dokazom svoje teorije o ledenim dobima. (Prema M. Milankoviću, 1941).

Milankoviću i potom je, 1924. godine, objavio njegove krive osunčavanja. Tokom narednih petnaest godina nemački geolozi Bartel Eberl (Barthel Eberl) i Wolfgang Zergel (Wolfgang Soergel) nanovo su proučili švajcarske terase i utvrdili da su neke od njih, koje su svojevremeno ispitivali Penk i Brikner, zapravo složeni kompleksi, izgrađeni od više slojeva šljunka. Ali revidirana verzija Penkove i Briknerove klimatske krive pleistocena još se bolje slagala sa krivom osunčavanja; deo tog geološkog rada (slika 30) Milanković je uneo u svoje delo štampano 1941. godine.

Tokom tridesetih i četrdesetih godina ovoga veka najveći broj evropskih geologa prihvatio je Milankovićevu teoriju. U stvari, kako je i sam Milanković sa očiglednim zadovoljstvom zabeležio:

Neprekidno se povećava broj naučnika koji sedimente klasifikuju prema novoj teoriji, vrše korelaciju na osnovu krivih osunčavanja i njihovu starost određuju na osnovu svojih krivih.

Lagano ali pouzdano, naglasak se pomerao: dok se ranije geološkim saznanjima koristilo da bi se proverila teorija, sada se teorija primenjivala da bi se objasnile geološke pojave. „Ledena doba postadoše kalendar“, kako to kaže Milanković.

Među one koji su taj kalendar razradili spada i Frederick Cojner (Frederick E. Zeuner), profesor geohronologije na Univerzitetu u Londonu. Godine 1946, a zatim ponovo 1959, objavio je knjige u kojima se poslužio Milankovićevim kalendarom da bi odredio starost glavnih događaja pleistocenske epohe.

Američki geolozi, kojima su se daleke alpske terase činile donekle zagonetnim, bili su više skeptični. Čak ni u Evropi teorija nije bila jednodušno prihvaćena. Čovek koji je govorio protiv nje bio je nemački geolog Ingo Šefer (Ingo Schaefer). Pošto je posvetio mnogo pažnje rečnim terasama u Alpima, Šefer je došao do uverenja da je osnovna hipoteza na kojoj je Penk/Briknerova shema počivala, bila pogrešna: pronašao je da se u nekim slojevima šljunka nalaze fosili školjki kakve se danas mogu naći samo u toplim klimama. Kako je moguće da se u toku ledenog doba for-

miraju sedimenti koji sadrže takve fosile? Bilo je to tugaljivo pitanje, koje je pretilo da potkopa same temelje Milankovićeve teorije. Najveći broj evropskih geologa jednostavno je ignorsao takvo pitanje, odbacujući Šeferove fosile kao beznačajni uzetak od opšteg pravila.

Ubrzo su se, međutim, čuli i drugi glasovi protiv Milankovićeve teorije. Neki meteorolozi su ukazali na to da se Milankovićeva teorija bavi samo balansom toplote koja sa Sunca dospeva na Zemlju, a zanemaruje ulogu atmosfere i okeana u prenosu te toplote. Drugi su naišli na izvesne nedoslednosti u nekim proračunima koje je Milanković objavio. Prema teoriji, temperature za vreme ledenih doba morale bi biti za $6,7^{\circ}\text{C}$ niže nego što su danas. Činilo se da su Milankovićeva računanja u tom pogledu sasvim razložna, ali je izračunato da su zimske temperature u proseku bile za $0,7^{\circ}\text{C}$ više od današnjih, u šta su mnogi naučnici teško mogli poverovati. Milankovića takve kritike nisu uznemiravale:

Ne smatram da je moja obaveza da osnovnim znanjem poučavam neznalice, kao što nisam nikad pokušavao da druge silim da moju teoriju prihvate, mada za nju još niko nije mogao dokazati da je pogrešna.

Uprkos teorijskim zamerka koje su meteorolozi isticali i Šeferovim terenskim nalazima koji nisu išli u prilog Milankovićevoj teoriji, ipak je i dalje većina naučnika, sve do 1950. godine, ostala naklonjena astronomskoj teoriji. Početkom pedesetih godina nastupio je dramatični preokret, a 1955. godine većina geologa odbacila je astronomsku teoriju. Teorija je počela da gubi ugled usled razvoja revolucionarno novog pristupa problemu određivanja starosti pleistocenskih fosila.

Nova tehnika o kojoj je reč bila je metoda određivanja starosti na osnovu sadržaja radioaktivnog ugljenika (C_{14}), koju je, između 1946. i 1949. godine, razradio na Univerzitetu u Čikagu Vilard Libi (Willard F. Libby). Libi je otkrio da se radioaktivni izotop ugljenika stvara u atmosferi u malim količinama pod dejstvom kosmičkog zračenja. Atomi radioaktivnog ugljenika iz atmosfere bivaju apsorbirani u tela svih živih biljaka i životinja. Ali organizmi apsorbuju radioaktivni ugljenik samo za života.

Posle smrti atomi radioaktivnog ugljenika se raspadaju, pretvarajući se u stabilne atome azota, brzinom koja se može meriti. Ovom brzinom, smatrao je Libi, trebalo bi da bude moguće koristiti se pri izračunavanju vremena smrti odgovarajućeg organizma za svaki fosil: sve što je potrebno učiniti jeste da se izmeri proporcija još radioaktivnih ugljenikovih atoma u fosilu. Libi je intenzivno proveravao svoju metodu i našao da njena primena daje izuzetno dobre rezultate. Jedini nedostatak metode bio je u tome što se starost fosila mogla odrediti tačno samo za fosile koji nisu stariji od 40.000 godina.

Kada je, 1951. godine, metoda određivanja starosti na osnovu sadržaja radioaktivnog ugljenika postala pristupačna geolozima, oni su odmah, svuda u svetu, uložili napore da utvrde tačnu hronologiju poslednjeg ledenog doba, odnosno onog njegovog dela koji je bio u granicama dometa te metode. Laboratorije za ovakav rad sa radioaktivnim ugljenikom osnovane su u mnogim institucijama, uključujući univerzitete Jejl i Kolumbija, kao i Univerzitet u Groningenu, u Holandiji. Geohemičari-pioniri, kao Hans Sies (Hans Suess), Mejer Rubin (Mayer Rubin) i Hesel de Vri (Hessel de Vries), bili su spremni da analiziraju lavinu materijala koja se očekivala. Nisu morali dugo da čekaju. Uzorci drveta, treseta, školjki i kostiju počeli su se sakupljati iz slojeva nanosâ, šljunkovitih terasa i sa dna jezera širom sveta. Tih dana važila je parola: „Ako je organskog porekla, sakupi ga i odredi mu starost“. Prikupljeno je toliko podataka da je pokrenuta periodična publikacija *Radio-karbon*, kako bi se rezultati učinili što pristupačnijim.

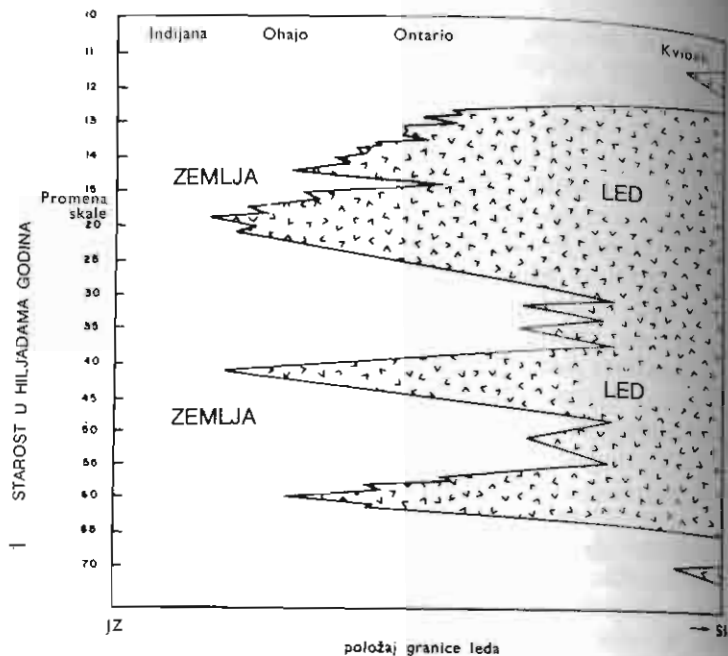
Među prvim američkim geolozima koji su zastupali sistematsku primenu metode radioaktivnog ugljenika pri proučavanju pleistocenskih nanosa bio je Ričard Flint (Richard F. Flint) sa Univerziteta Jejl. Pošto je prikupio veliku kolekciju materijala odredljive starosti iz viskonsinskih nanosa sa istoka i iz centralnog dela SAD, Flint je taj materijal poslao Mejeru Rubinu na radioaktivnu analizu. Flintovi rezultati su pokazali da su u nanosima zabeležene najmanje dve, a možda i više glacijacije. Ranije se pretpostavljalo da je nanos u Viskonsinu stvoren u toku jedne glacijacije, ali su rezultati rada sa radioaktivnim ugljenikom nedvosmisleno pokazali da je takva hipoteza neodrživa. Stariji proslojci

u nanosu bili su, većim delom, van domašaja metode radioaktivnog ugljenika, ali mladi su se nalazili u granicama odredljive starosti, tako da su Flint i Rubin bili u stanju da pokažu kako je veliki ledeni pokrivač dostigao svoj maksimum pre 18.000 godina, a da se potom led – pre oko 10.000 godina – brzo povukao.

Jedno vreme se činilo da su rezultati određivanja starosti primenom revolucionarne metode merenja radioaktivnosti u saglasnosti sa Milankovićevom teorijom. Iako je utvrđeno da je do poslednje glacijacije došlo pre 18.000 godina i da je ona, dakle, oko 7.000 godina mlađa u odnosu na 25.000 godina stari minimum osunčavanja koji je Milanković izračunao, takvo se odstupanje moglo lako objasniti kao vreme potrebno da „tromi“ ledeni pokrivač reaguje na promenu u bilansu osunčavanja Zemlje. U stvari, Milanković je i sam predvideo jedno takvo zakašnjenje i procenio je njegovo trajanje na oko 5.000 godina.

Međutim, otkriće sloja treseta starog 25.000 godina, u Farmdejlju u državi Illinois, konačno je poljuljalo verovanje u Milankovićevu teoriju. Takav sloj mogao se formirati samo u toku relativno tople klime. Koliko tople, nije bilo moguće pouzdano utvrditi, ali vreme tog toplog intervala tačno se poklapalo s vremenom minimalnog osunčavanja Zemlje. Kada su slojevi iste starosti i vrste pronađeni i na drugim mestima na Srednjem Zapadu SAD, u istočnoj Kanadi i Evropi, činilo se da su geološki dokazi protiv Milankovićeve teorije prevladali.

Metoda određivanja starosti na osnovu radioaktivnosti omogućavala je sve većem i većem broju geologa da rezultate svojih terenskih zapažanja smeste na pouzdanu vremensku skalu. To je dovelo do razvoja nove metode za konstruisanje dijagrama klime, koji se moglo neposredno upoređivati sa krivom osunčavanja. Geolozima je to pošlo za rukom uz pomoć određivanja starosti velikog broja uzoraka zemlje i lesa duž nekog pogodnog meridijana. Ova granica zemlja/les mogla se onda grafički predstaviti kao funkcija vremena. Dohijena izlomljena linija je pokazivala kako je južna granica ledenog pokrivača na datoj geografskoj dužini napredovala prema jugu ili se povlačila prema severu, tokom hiljada godina.



Slika broj 31.

Kolebanja granice ledenog pokrivača između Indijane i Kvibeka. U geografskom položaju granice severnoameričkog ledenog pokrivača svedoči kolebljiva granica između slojeva zemlje i glečerskih nanosa. Pretpostavljena hronologija ovih kolebanja, do koje se došlo korišćenjem metode radioaktivnog ugljenika, počinje još pre 70.000 godina, što je u neskladu sa Milankovićevom teorijom. (Prema R. P. Goldvajt i saradnicima, 1965).

Teško je bilo odupreti se izazovu da se metoda određivanja starosti na osnovu radioaktivnosti primeni i van njenih krajnjih dometa, od 40.000 godina. Sredinom šezdesetih godina, nekoliko grupa istraživača nacrtalo je dijagrame koji su pokazivali kolebanja južne granice ledenog pokrivača tokom proteklih 70.000 ili čak 80.000 godina. Jedan od najdetaljnijih takvih dijagrama, onaj koji su izradili Ričard Goldvajt (Richard P. Goldthwait) i Aleksis Drejmanis (Aleksis Dreimanis) sa svojim kolegama, bio je zasnovan na posmatranju zemlje i lesa duž linije između Indijane u SAD i Kvibeka u Kanadi (vidi sliku 31). Ovi rezul-

ti davalu su grafički oblik koji je gotovo u svakoj tački odstupao od astronomske teorije. Na primer, pre oko 72.000 godina, granica ledenog pokrivača nalazila se u južnom Kvibeku, daleko na sever u odnosu na njen položaj u vreme maksimalnog zahlađenja. Međutim, upravo za taj vremenski interval na krivoj osunčavanja uočava se značajan minimum. Najzad dijagram (slika 31) ukazuje na to da su se najveća napredovanja glacijacija dogodila pre 60.000, 40.000 i 18.000 godina a Milanković je predvideo pojavu samo najmlađe od spomenutih glacijacija.

Kad god su metodu određivanja starosti na osnovu sadržaja radioaktivnog ugljenika primenjivali na starije nanose, geolozi su dobijali slične rezultate. Za vreme proteklih 80.000 godina, ili u toku intervala za koji su verovali da je trajao 80.000 godina, dogodilo se više glacijacija no što je Milankovićeva teorija mogla da objasni. Do 1965. godine, astronomska teorija ledenih doba izgubila je najveći broj svojih pristalica.

Da se Milankovićeva teorija našla pred sudom, opravdano bi bilo proglasiti takav postupak ništavnim, jer bi se optužnica zasnivala isključivo na dokazima sakupljenim na površini Zemlje. Kako su svedočanstva o prošlosti klime, sačuvana u kopnenim sedimentima samo fragmentarna, o svedocima u zamišljenom „slučaju Milanković“ moglo bi da se kaže ne samo da su opterećeni predrasudama već da su i loše obavešteni.

Džejms Krol je bio među prvima koji su uočili da su geološki podaci o klimi po svojoj prirodi nepotpuni i naslućivao je dane kada će geolozi moći da sakupe potpunije podatke o sekvencama ledenih doba, kopajući po morskome dnu.

U dubokim okeanskim skrovištima, prekrivenim desetina metara debelim naslagama peska, mulja i šljunka, leži mnoštvo biljaka i životinja koje su reke bile odnele u more. A zajedno sa njima, mora biti leže i skeleti, ljušture i drugi ostaci bića koja su se razmnožavala u morima tokom tih vremena.

Krolov opis, međutim, bio je čisto spekulativan, jer tokom najvećeg dela njegovog života naučnici su saznavali više o površini Meseca negoli o morskim dubinama.

Ali mora neće još dugo skrivati svoje tajne. Godine 1872, britanska vlada je opremila parnu korvetu „Izazivač“ (H. M. S. Challenger) od 2306 tona za istraživački put oko sveta, koji će trajati tri i po godine. Pod rukovodstvom

Vajvila Tomsona (C. Wyville Thomson), šest naučnika sa „Izazivača“ razradilo je tehniku merenja dubine mora, uzimanja uzoraka vode, hvatanja biljaka i životinja, pa i uzimanja uzoraka sa dna mora, na svim dubinama. Kada se, 1875. godine, ekspedicija vratila u Englesku, mnoge tajne mora bile su razotkrivene.

Opažanja posade sa „Izazivača“, potvrdila su mnoga Krolova predviđanja. Izuzev nekoliko golih bazaltnih grebena, morsko dno bilo je prekriveno slojem sedimenata. Naslage koje su do okeana donele reke, morske su struje preraspodelile duž kontinentalnih pragova. Tamo je morsko dno bilo prekriveno slojevima peska i mulja koji su sadržali delove biljaka i drugi materijal sa kopna. Ali daleko od kontinentalnih pragova, veliki deo dubokog okeanskog dna bio je prekriven finim muljem. Ispitujući pod mikroskopom uzorke takvog mulja, geolozi sa „Izazivača“ utvrdili su da se mnogi, gotovo u celosti, sastoje od fosilizovanih ostataka sićušnih životinja i biljaka. Uskoro je utvrđen i živi izvor tih sićušnih fosila. Biolozi, članovi ekspedicije, povlačili su mrežama po površini mora i tako je sakupljeno bezbroj plutajućih organizama (poznatih pod zajedničkim nazivom plankton) čiji su mineralizovani ostaci bili identični sa fosilima nadenim na morskome dnu. Očigledno, organski mulj je nastajao tokom dugog perioda, laganim taloženjem kiše skeleta na morskome dnu.

Naučnici sa „Izazivača“ utvrdili su da jedna posebna vrsta mulja, sastavljena od krečnjačkih ostataka planktonskih životinja zvanih *foraminifere*, prekriva široka prostranstva morskoga dna. Ova vrsta sedimenata naročito je preovladivala u umerenim i tropskim morima, gde dubina nije bila veća od 4.000 metara. Druga vrsta mulja organskog porekla bila je rasprostranjena u hladnijim vodama arktičkih i antarktičkih mora. Ova vrsta bila je uglavnom sastavljena od opala, staklastog minerala koji planktonske životinje zvane *radiolarije* i planktonske biljke *dijatomeje* izdvajaju iz morske vode. Kada je ekspedicija završila rad i kada su svi prikupljeni podaci prikazani na kartama, naučnici su zaključili da pomenute dve vrste mulja organskog porekla prekrivaju polovinu morskoga dna – površinu jednaku površini svih kontinenata zajedno. Međutim, u najdubljim delovima okeana, na mestima gde dubina prelazi 4.000 metara, dno nije bilo prekriveno muljem organskog porekla, već slojem smeđe

gline, koja uopšte nije sadržavala fosile. Dato je objašnjenje da su na tim ogromnim dubinama svojstva vode takva, da se krečnjački ili opalski skeleti rastvaraju istom brzinom kojom se i talože, pa sve što tu može da preostane jesu fine čestice gline, koje su nanele morske struje ili dopremili vetrovi.

Po povratku ekspedicije sa „Izazivača“, britanski naučnik Džon Marej (John Murray) organizovao je međunarodnu ekipu istraživača sa zadatkom da analizira obiman materijal. Proučavanja su trajala do 1895. godine, a objavljeni izveštaji obuhvatao je pedeset tomova. Za proučavaoce klime proteklih razdoblja, od posebnog značaja je bilo saznanje da neke vrste foraminifera (i drugih planktonskih organizama) žive samo u hladnim, dok druge žive samo u toplim vodama. Na taj način Krolov san da će se jednoga dana moći upoznati celokupna istorija klime na osnovu izučavanja sedimentata sa okeanskoga dna, počeo je da se ostvaruje. Jer, pri promeni klime, dolazilo je i do odgovarajućih promena u geografskoj rasprostranjenosti vrsta osjetljivih na temperaturu vode u kojoj žive. Redosled sedimentnih slojeva na bilo kojoj datoj lokaciji trebalo bi da sadrži i trajan zapis o smenjivanju ledenih doba.

Ostao je samo još jedan problem: pre nego što naučnicima pode za rukom da rekonstruišu istoriju klime na osnovu smenjivanja fosila u naslagama mulja na morskome dnu, oni moraju pronaći metodu kojom će sa morskoga dna dobiti očuvani i neporemećeni presek naslaga. Učinjeno je mnogo pokušaja da se to ostvari; svi oni bili su zasnovani na istome principu: šuplja čelična cev, utisnuta u morsko dno, trebalo je da prilikom vađenja izvuče i sedimentno „jezgro“. Prvi takvi uređaji nazivani su „gravitacionim“ aparatima za vađenje jezgara, jer cev se utiskivala u mulj jednostavno pod dejstvom sile teže. Aparat bi se spustio gotovo do samoga dna, a onda bi se pustio da slobodno pada. Ubrzanje stečeno tokom pada prisiljavalo je cev da se zarije u mulj. Takvim uređajima, na žalost, moglo se dobiti jezgro dužine samo do jednoga metra, a ta dužina nije bila dovoljna da se do kraja prouči smenjivanje ledenih doba. Da bi se dubina prodiranja povećala, aparati su opterećivani olovnim tegovima, ali je to donelo samo neznatno poboljšanje zato pošto su sile trenja, koje su se opirale prodiranju cevi, bile odveć velike. Pokušalo se i

sa drugačijim uređajima, uključujući i onaj neobični, koji je konstruisao Šarl Pigo (Charles S. Piggot), koristeći se dinamitom da bi cev utisnuo u mulj. Ta se tehnika, međutim, pokazala nezadovoljavajućom jer je njena primena izazivala krupne poremećaje u rasporedu fosila.

Uprkos nedostacima „gravitacionog“ vađenja jezgara, nemački paleontolog Wolfgang Šot (Wolfgang Schott) prihvatio se zadatka da ispita seriju jezgara koju je sa morskoga dna u ekvatorijalnom delu Atlantskog okeana između 1925. i 1927. godine, izvukla nemačka ekspedicija sa broda „Meteor“. Rezultati Šotovih proučavanja, objavljeni 1935. godine, postavili su osnovu za buduća istraživanja pleistocenskih planktona. Šot je svoja istraživanja počeo kartiranjem rasprostranjenosti dvadeset i jedne različite vrste planktonskih foraminifera (životinjica koje plutaju na površini mora) na sadašnjem morskome dnu. Zatim je iz jednodimetarskih jezgara vadio uzorke (na jednakim rastojanjima duž jezgra) i popisao rasprostranjenost svake vrste prema dubini na kojoj se javlja. Šot je došao do zaključka da se mogu razlikovati tri sloja. U najvećem broju jezgara, gornjih 30 do 40 santimetara sadržavalo je zbirku foraminifera koja se veoma razlikovala od one kakva se nalazila u podinskom sloju. Zbirka foraminifera u gornjem sloju bila je identična sa zbirkom koja se i danas stvara na morskome dnu. Podinski sloj sadržao je mnoge iste vrste, ali su njihove međusobne proporcije bile različite. Naime, dok je prvi sloj sadržao „tople“ vrste foraminifera, podinski drugi sloj je sadržao „hladne“ vrste u većoj proporciji. U stvari, jedna posebna vrsta foraminifera nalazila se samo u prvom i trećem sloju, ali je u drugome uopšte nije bilo. Naziv te vrste foraminifera, *globorotalija menardii*, ostaće na usnama geologa tokom niza godina, zbog toga što je Šot došao do zaključka da su sedimenti koji sadrže vrstu *menardii* nastali u toku poslednjeg ledenog doba, kada je voda na površini ekvatorijalnog Atlantika bila isuviše hladna da bi ta vrsta u njoj mogla opstati. Prema njegovom mišljenju, prvi sloj sa vrstom *menardii* nastao je posle povlačenja glečera, dok treći sloj, koji takođe sadrži vrstu *menardii*, ukazuje na interglacijalno doba koje je prethodilo poslednjem ledenom dobu.

Šotovi rezultati zainteresovali su paleontologe za mnogo duža jezgra od onih koja su se mogla dobiti pomoću „gravitacionih“ aparata za vađenje jezgara. Na kraju, ako je

Šot na osnovu jezgara dugih tek jedan metar, uspeo da nađe dokaze o klimi koji se odnose na vreme sve do poslednje interglacijacije, koliko bi se moglo saznati kada bi se raspolagalo jezgrom dugim, recimo, deset metara?

Problem izvlačenja jezgara konačno je rešen 1947. godine, kada je švedski okeanograf Bjor Kulenberg (Björre Kullenberg) konstruisao klip koji usisava jezgro sedimenta u aparat za vadenje jezgra, dok se cev utiskuje u sediment. Primenom takvog aparata moglo se izvaditi jezgro dužine deset do petnaest metara. To je samo po sebi otvorilo novu eru u ispitivanju istorije klime.

Godine 1947/8; Švedska ekspedicija za istraživanje dubokog mora prva je primenila Kulenbergov aparat. Pod rukovodstvom Hansa Petersona (Hans Pettersson), naučna ekspedicija je brodom „Albatros“ prokrstarila ceo svet i sakupila jezgra sa dna svih okeana. Jezgra uzeta sa dna Pacifika poslata su u Skripsov okeanografski institut u Kaliforniji, da bi ih proučio Gustav Arenijus (Gustaf Arrhenius). Hemijskim analizama dobijenih uzoraka, Arenijus je utvrdio da se koncentracija kalcijum-karbonata (kreča) ciklično menja: naizmenično su se smenjivali slojevi sa velikom i slojevi sa malom koncentracijom „krečnjačkih“ fosila. Ovu promenljivost Arenijus je pokušao da objasni pretpostavkom da se intenzitet kruženja vode u Pacifiku za vreme ledenih doba razlikovao od kruženja za vreme interglacijalnih perioda, te da su se te promene u intenzitetu kruženja odražavale i na koncentraciju kalcijum-karbonata u fosilima.

Arenijusova istraživanja su pokazala da se i hemijski i paleontološki dokazi mogu koristiti pri proučavanju klime pleistocena, barem što se tiče Pacifika. Uskoro zatim istraživači sa Univerziteta Kolumbija pristupili su merenju sadržaja kalcijum-karbonata u jezgrima uzetim sa dna Atlantskog okeana. Utvrdili su, takođe, da se i u tim jezgrima javljaju ciklične promene koncentracije kalcijum-karbonata, ali su te ciklične promene bile suprotne onima u jezgrima sa Pacifika: delovi sedimenta koji su odgovarali ledenim dobima sadržali su kalcijum-karbonat u maloj koncentraciji, dok su slojevi koji odgovaraju interglacijalnim periodima sadržali kalcijum-karbonat u visokoj koncentraciji. Očigledno je bilo da su dva okeana na različite načine reagovala na promenu klime.

Arenijusova istraživanja su takođe pokazala da naslage u Pacifiku veoma sporo rastu: približno samo jedan milimetar

u toku stotine godina. Sa jedne strane, bila je to prava blagodet za paleontologe, jer je ukazivalo na to da čak i veoma kratka jezgra mogu sadržati svedočanstva o celokupnoj pleistocenskoj sekvenci. Sa druge strane, veoma sporo povećavanje debljine naslaga bilo je nepovoljno utoliko što je onemogućavalo detaljna ispitivanja istorije klime na osnovu pacifičkih jezgara.

U Atlantskom okeanu, međutim, debljina sedimenta je rasla mnog brže. Uopšte uzevši, ona se povećavala za oko dva do tri milimetara u toku stotine godina, tako da se moglo očekivati da atlantska jezgra sadrže mnogo podrobnija svedočanstva o klimi. Stoga su geolozi sa interesovanjem očekivali rezultate ispitivanja trideset devet dugih Kulenbergovih jezgara koja je sa dna Atlantika izvadio Hans Peterson. U Skripsovom okeanografskom institutu, tri naučnika – Fred Flegler (Fred B. Phleger), Frensis Parker (Frances L. Parker) i Džin Pirson (Jean F. Pearson) – izučavala su jezgra. U svojoj monografiji, objavljenoj 1953. godine, oni su pokazali da dugačka jezgra sa dna Atlantika sadrže informacije o barem devet ledenih doba u toku pleistocena. Oni su takođe pokazali da proces interpretacije istorije klime na osnovu proučavanja dubokomorskih sedimenta nije lišen svojevrsnih problema: neka od jezgara koja su proučavali sadržala su i slojeve sa plitkovodnim foraminiferama, koje su očigledno na neki način morale dospeti u velike dubine iz oblasti bliskih obali. Na koji su se tačno način ove faune, kojima tu nije bilo mesto – a i slojevi peska sa kojima su bile združene – pomešale sa česticama što su se taložile u vidu planktonske kiše, to je bila tajna.

Pre no što je postao profesor okeanografije u Skripsovom institutu Flegler je proveo nekoliko godina u Okeanografskom institutu Vuds Hol u Kejp Kodu. Dok je tamo radio, angažovao je Dejvida Eriksona (David B. Ericson) da mu pomaže u laboratoriji i na brodu. Erikson se uverio u potrebu izučavanja morskih sedimenta još dok je bio geolog-asistent u Geološkoj službi Floride. U Vuds Holu nalazio se i geofizičar Moris Eving, koji je u to vreme tek bio zakoračio stazom koja će ga na kraju dovesti do značajnih otkrića o prirodi Zemljine kore ispod okeanskoga dna. Godine 1949. Eving je upravo pripremao ekspediciju koja će proučavati Srednjoatlantski greben i bio mu je potreban

saradnik sa iskustvom u proučavanju okeanskih fosila. Erikson je upravo bio čovek za to.

Kada je 1950. godine Eving prihvatio položaj profesora na Univerzitetu Kolumbija, preselio se u Njujork, a sa sobom je poneo i svoja jezgra. Erikson je, docnije, govorio da „Eving nije mogao bez svojih jezgara“.

Ubrzo se na Univerzitetu Kolumbija okupila grupa starijih naučnika, tehničara i studenata, privučenih Evingovim proučavanjima porekla okeanskih basena. Za kratko vreme grupa se toliko povećala da su joj prostorije u Šermerhorn Holu, na Univerzitetu, postale pretesne. Na sreću, kratko vreme pre toga Univerzitet Kolumbija je stekao poljsko dobro u Palisadu, u državi Njujork; imanje je Univerzitetu poklonio Tomas Lamont (Thomas Lamont). Evingova grupa preselila se na Lamontovo imanje i, za nekoliko godina, razvila je Lamont geološku opservatoriju u svetski poznati centar za okeanografska i geofizička istraživanja.

Shvatajući potencijalni značaj proučavanja jezgara, Eving je zahtevao da brodovi Lamont geološke opservatorije, bez obzira na to kakvom se drugom naučnom aktivnošću bave uzimaju svakodnevno jezgra pomoću Kulenbergovog klipa. Stotine jezgara godišnje prikupljano je sa dna mora, i ona su čuvana za buduća ispitivanja. Uskoro je kolekcija jezgara u Lamont geološkoj opservatoriji postala najbogatija na svetu i Erikson se našao u idealnoj prilici da izučava istoriju klime. Kako je već bio upoznat sa Šotovim radom i radom grupe u Skripsovom institutu, želeo je da proširi njihova saznanja i da istoriju klime detaljnije prouči. Radeći na tome, suočio se sa ozbiljnim problemima kada je utvrdio da jezgra sa nekih okeanskih lokacija sadrže slojeve koji nisu na svom mestu. Ta jezgra su bila slična onima koja su svojevremeno zbunila i Flegera. Takvi slojevi peska i ljuštura, koji su na nekakav tajanstveni način dospeli iz priobalnih, plitkih voda, zamagljivali su sliku o klimi kakvu su odražavali slojevi mulja iz dubokomorskih okeanskih oblasti, nastali laganom kišom čestica planktona.

Još dok je, 1952. godine, Flegerova monografija bila u štampi, zagonetku o slojevima koji nisu na svom mestu rešila su dvojica Eriksonovih kolega iz Lamont geološke opservatorije. Proučavajući podatke o jednom zemljotresu do kojeg je, 1929. godine, došlo u Grend Benksu u Njufaundlendu, Brus Hizen (Bruce C. Heezen) i Moris

Eving su uspeli da utvrde proces formiranja naslaga koje se ne nalaze na svom prirodnom mestu. Zemljotres 1929. godine izazvao je klizanje sedimenata na okeanske dnu, Sedimentne čestice, zadržane u mutnoj vodi pri dnu, otekale su naniže duž podmorskih padina. Krećući se brzinom ekspresnog voza, podmorske struje su kidale telefonske kablove i razvejavale slojeve peska i mulja preko prostranih oblasti, remeteći time normalni proces taloženja u dubokome moru.

Shvativši šta uzrokuje dislokacija slojeva, Erikson je razradio metodu za prepoznavanje takvih slojeva i razlikovanje informacija o statičkom stanju od informacija o klimi. Erikson je sa svojim asistentom Gestom Volinom (Goesta Wollin) počeo da proučava svako jezgro koje se nalazilo u kolekciji Lamont geološke opservatorije. To nije bio nimalo lak zadatak, pošto je u to vreme u Opservatoriju pristizalo i po dve stotine jezgara godišnje. Da bi ubrzao proces, Erikson je primenio pojednostavljenu verziju laboratorijskog postupka koji je Šot originalno razradio. Umesto da određuju broj pojedinačnih predstavnika svake vrste foraminifera prisutnih u svakom primerku, Erikson i Volin su pažnju usmerili samo na nekoliko vrsta za koje su smatrali da su naročito osetljive na promenu klime (slika 32). U početku su slobodno procenjivali količinu ovih indikativnih vrsta. Kasnije, kada se ukazala potreba za mnogo preciznijim rezultatima, morali su odista da se bave prebrojavanjem. Na nižim geografskim širinama, glavni kandidat za ovu monitorsku ulogu bila je vrsta *globorotalia menardii*, vrsta koju je svojevremeno Šot našao isključivo u dva „topla“ sloja. Eriksonova proučavanja atlantskih jezgara sa nižim geografskih širina potvrdila su Šotove ideje, jer je u svim tim jezgrima fluktuacija koncentracije vrste *menardii* jasno ukazivala na promenu klime. Međutim, u jezgrima uzetim na višim geografskim širinama, iz hladnijih predela, vrsta *menardii* nije se uopšte javljala. Pri proučavanju jezgara sa takvih geografskih širina, kao indikatori promena klime u prošlosti morale su biti izabrane druge vrste.

Erikson je 1956. godine bio uveren da je njegova pojednostavljena metoda valjana, a mogao se pozvati i na rezultate dva druga nezavisna ispitivanja, koja su potvrđivala njegove zaključke. Istraživanja koja su mu išla u prilog izvodile su njegove kolege iz Lamont geološke opservatorije,

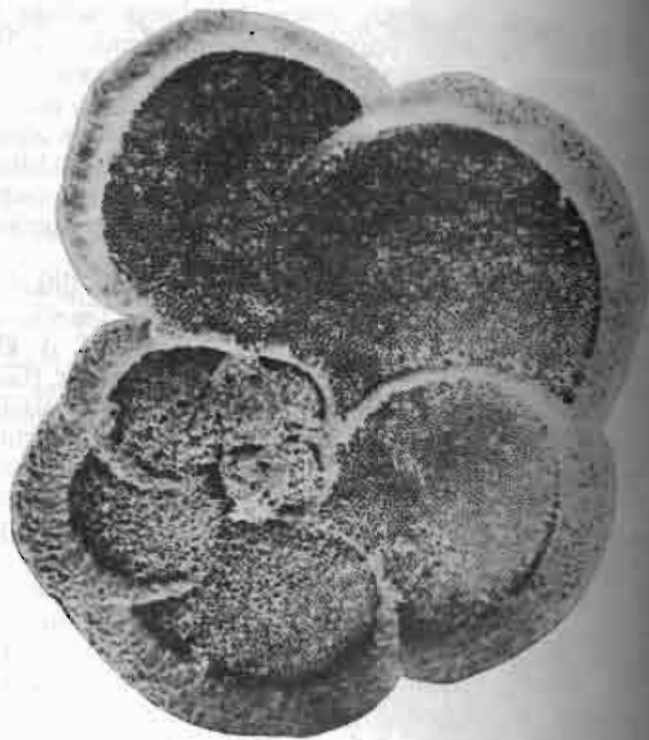
ugljenika. U članku koji su 1956. godine zajedno objavili, Erikson, Breker, Kalp i Volin pišu:

Proučavanje jezgara ubedljivo ukazuje na period neposredno pre i posle (granice od) 11.000 godina, kao na vrlo kritičan period u istoriji glacijacija. Dalja korelacija zbivanja i u okeanima i na kopnu u toku tog perioda može dovesti do razumevanja nekih od činilaca koji izazivaju ledena doba.

Saradnja koja je uslovlila pisanje pomenutog članka ukazala je i na model budućih interdisciplinarnih proučavanja, koja će konačno postati i stil rada u Lamont geološkoj opservatoriji.

Drugo istraživanje, za koje je u početku izgledalo da pruža nezavisnu potvrdu Eriksonovih rezultata proučavanja klime, odnosilo se na razradu jedne drugačije metode procenjivanja temperature vode pleistocenskih okeana. Metodu je, na Univerzitetu u Čikagu 1955. godine, razradio Čezare Emilijani (Cesare Emiliani), a ona se zasnivala na izotopskom sastavu atoma kiseonika u fosilnim foraminiferama. Primenjene na ista jezgra, dve metode dale su veoma bliske rezultate kada je bila reč o mlađim slojevima jezgara. U pogledu starijih slojeva rezultati se, međutim, nisu slagali. Ta činjenica će postati predmet velikih rasprava u toku narednih godina.

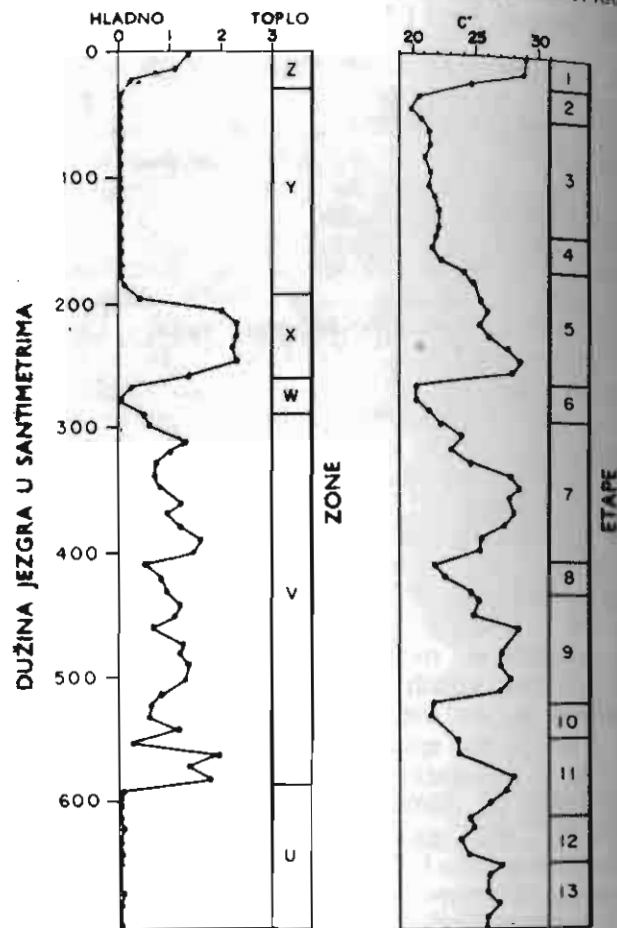
Erikson je, do 1961. godine, proučio više od stotinu jezgara i već je bio spreman da uopšti svoju shemu istorije klime. Da bi omogućio diskusiju, skovao je niz izraza kojima je želeo da odstrani potrebu za konfuznim frazama kao, recimo, „treća zona odozgo u kojoj se ne nalazi globorotalia menardii“. Urednik koji se mučio sa rukopisom Eriksonovog, Evingovog, Volinovog i Hizenovog članka iz 1961. godine predložio je pojednostavljeni sistem, koji se za označavanje slojeva jezgara služio slovima abecede. Tako je topla zona na vrhu jezgra postala poznata kao Eriksonova zona Z koja predstavlja postglacijalno razdoblje. Zona Y predstavljala je poslednji veliki prodor ledenog doba, dok je zona X predstavljala prethodni interglacijalni period u toku kojeg su temperature bile slične današnjim. (slika 33.) Nova shema brzo je bila prihvaćena jer je na taj način bilo lakše ukazati na značajne karakteristike na Eriksonovom dijagramu klime – zona V, kojoj je svojstvena visoka koncentracija



Slika broj 32.

Jedan fosil sa dubokomorskog dna. Nakon smrti, mineralni ostaci mrtvih životinja koje žive na površini mora, kao i biljaka, padaju na morsko dno i stvaraju debele sedimentne slojeve. Ljuštura koja je ovde prikazana pripada vrsti *globorotalia menardii*, planktonske foraminifere čije je fosilne ostatke koristio D. B. Erikson pri izučavanju pleistocenske klime. U prirodnoj veličini, uzorak je širok oko 1 mm. (Ljubaznošću. A. Bea)

Valas Breker (Wallace S. Broecker) i Lorens Kalp (J. Lawrence Kulp). U toku nastojanja da odrede starost granice između Eriksonova dva najviša sedimentna sloja (pri čemu su se u gornjem nalazili primerci vrste *menardii* dok ih u donjem uopšte nije bilo), oni su utvrdili da je prelaz nastupio naglo, pre oko 11.000 godina. Starost koju su utvrdili bila je veoma bliska vremenu nagle promene temperature na Zemlji, određenom merenjem koncentracije radioaktivnog



Slika broj 33.

Smenjivanje ledenih doba u Karipskom moru prema Eriksonu i Emilijaniju. Kolebanja u količini primeraka fosila vrste *globorotalia menardii* iz jezgra A179-4. iz Karipskog mora, Erikson je protumačio kao svedočanstvo o klimi. Hladne intervale označio je kao zone U, W i Y, a tople kao zone V, X i Z. Rezultati meranja odnosa atoma izotopa kiseonika u istome jezgru koja je obavio Emilijani, takođe su protumačeni kao svedočanstvo o klimi. Emilijani je tople intervale označio kao etape 13, 11, 9, 7, 5 i 3, a hladne kao etape 12, 10, 8, 6, 4 i 2. (Prema Emilijaniju, 1955. i Eriksonu i saradnicima, 1961).

foraminifera *menardii*, neuobičajeno je duga, dok je zona Y, koja se nalazi odmah ispod nje i ne sadrži vrstu *menardii*, neuobičajeno kratka. Erikson je ukazivao na to da se njegova dugačka zona V može dobro uporediti sa „velikom interglacijom“ koju su uočili Penk i Brikner proučavajući prošlost evropske klime. Mada sam Erikson nije podržavao Milankovičevu teoriju, oni naučnici koji su to činili našli su potvrdu svojem mišljenju u dijagramima koncentracije foraminifera vrste *menardii*.

U međuvremenu je, međutim, Erikson postao svestan konflikta između rezultata koji su dobijeni određivanjem temperature na osnovu izotopskog sastava primenom Emilijanijeve metode i njegove vlastite sheme klime, sastavljene na osnovu fosila. Da bi razrešili taj konflikt, Erikson i Emilijani su pristupili analizi primeraka iz tri karipska jezgra, pri čemu je svaki primenio vlastitu metodu (slika 33). Emilijanijeva metoda omogućavala je procenjivanje temperature vode u Celzijusovim stepenima, dok je Eriksonova metoda „skaniranja“ odražavala samo opštu promenu temperature. Priznajući se sistema koji je razradio Arenijus, Emilijani je numerisao izračunate promene temperature idući odozgo naniže. Dve metode su dale uglavnom slične rezultate za interval W - Z na Eriksonovoj shemi, koji odgovara etapama 6. do 1. na Emilijanijevom dijagramu, o čemu će biti više reči u narednom poglavlju. Kada se pristupilo detaljnijem izučavanju izgleda shema, počele su da se uočavaju uznemiravajuće razlike: Eriksonova zona X bila je kraća od Emilijanijeve etape 5, dok su mnoga Emilijanijeva jezgra, tokom etape 3, pokazivala kratkotrajne, ali oštre tople intervale koji nisu imali svoje ekvivalente u Eriksonovoj zoni Y. Uza sve to Eriksonova neobično duga zona V javljala se na Emilijanijevoj shemi kao nekoliko izdvojene fluktuacije, dok je Eriksonova hladna zona U dramatično odstupala od Emilijanijevih toplih etapa 11. i 13. Tokom bezmalo cele decenije nije se pronašlo zadovoljavajuće objašnjenje ovih odstupanja između dveju shema.

Godine 1963. Erikson, Eving i Volin učinili su krupan korak ka svojem cilju da na karti prikažu istoriju klime pleistocenske epohe.

Posle ispitivanja više od tri hiljade jezgara, sakupljenih sa dna svih okeana i susednih mora, u toku četrdeset i tri

okeanografske ekspedicije, organizovane počev od 1947. godine . . . pronašli smo osam jezgara koja su sadržala granicu koja je jasno definisala promene u ostacima planktonskih organizama.

Zaključili su da ta granica označava početak prvog ledenog doba pleistocena. Granica na koju su mislili označavala je nestanak grupe fosila zvezdastog oblika nazvanih *diskoaster* i izračunali su da je do toga došlo pre oko 1,5 milion godina.

Međutim, geolozi uglavnom nisu bili ubedeni u ispravnost zaključaka do kojih je Erikson sa svojim kolegama došao. Njegova hronologija je osporavana zbog toga što se zasnivala na pretpostavkama koje je bilo teško dokazati. Osporavana je i interpretacija klime koju je Erikson dao za sekvenču zona *menardii*. Svoju metodu rada Erikson i Volin detaljno su objasnili u knjizi *Dubine i davnine (The Deep and The Past)*, 1964. godine, ali su sumnje i dalje ostale. Na kraju, zar Emilijani nije došao do sasvim različitih rezultata, proučavajući primerke istih sedimenata, iz istog okeana, a delom i iz istih jezgara.

11. TEMPERATURE PLEISTOCENA

Godine 1949, kada su Erikson i Eving izvlačili svoja prva jezgra duž Srednjoatlantskog grebena, Čezare Emilijani je bio na putu ka Univerzitetu u Čikagu, gde će početi poslediplomske studije paleontologije. Poneo je sa sobom nekoliko uzoraka stena iz severnih Apenina u Italiji, gde je radio na istraživanju nafte otkako je, 1945. godine, diplomirao na Univerzitetu u Bolonji. Emilijani je planirao da na Univerzitetu u Čikagu provede oko godinu dana, da proširi intelektualne vidike i prouči neka zanimljiva svojstva svojih uzoraka sa Apenina.

Na Univerzitetu u Čikagu Emilijani se sreo sa izvesnim brojem mladih naučnika, koji su radili sa dobitnikom Nobelove nagrade, Haroldom Urijem (Harold C. Urey), na traženju geohemijskih odgovora na mnoga osnovna pitanja o istoriji Zemlje. Jedan od tih mladih naučnika, Semjuel Epstejn (Samuel Epstein), docnije se sećao:

Kada sam prispeo u Čikago, sve je bilo u previranju. Nove ideje rađale su se svakoga dana. Ne samo da smo, kao nadahnuće, imali Harolda Urija, već su tu bile i druge intelektualne veličine, poput Vilarada Libija i Enrika Fermija.

(Libi je, nešto docnije, dobio Nobelovu nagradu za hemiju, a Fermi je već bio nosilac Nagrade za fiziku).

Epstejn je pomogao na razradi jedne ideje koju je Uri začeo 1947. godine. Trebalo bi, smatrao je Uri, da na os-

novu atoma kiseonika bude moguće otkriti kakve su bile temperature okeana u prošlosti. Tehnika se zasnivala na činjenici što morska voda sadrži dva različita izotopa kiseonika. Jedan od tih izotopa (kiseonika - 18), teži je od drugog (kiseonik - 16). Oba izotopa kiseonika nalaze se u kalcijum-karbonatnom skeletu morskih organizama. Uri je teorijski pokazao da količina težeg izotopa, koji morski organizmi izvlače iz morske vode što ih okružuje, zavisi od temperature vode. U hladnoj vodi skeleti imaju veću koncentraciju težeg izotopa. Prema tome, razmišljao je Uri, trebalo bi da bude moguće izračunati temperaturu vode u vreme kada je organizam bio živ merenjem odnosa izotopa O_{18} i O_{16} u fosilnom skeletu.

Epstejn i Emilijani pripadali su onim istraživačima u Čikagu koji su bili uvereni da bi se Urijevom metodom omogućio značajan uvid u istoriju Zemlje. Pre no što su mogli da načine sledeći korak, međutim, morali su da premoste dve prepreke. Prva je bila teorijske prirode: odnos izotopa kiseonika u skeletima nije zavisio samo od temperature vode već i od izotopskog sastava vode. Ako se taj sastav menjao, istraživači ne bi bili kadri da tačno utvrde temperaturu vode. Ali Uri i njegovi saradnici bili su uvereni - čak i previše uvereni, kako će to događaji pokazati - da će se u daljem toku razvoja njihovih istraživanja naći rešenje ovoga problema. Druga je prepreka bila tehničke vrste: trebalo je razviti instrumente i laboratorijske postupke koji će omogućiti istraživačima da pribave krajnje precizne podatke o izotopima. Tome problemu su se već bili posvetili Epstejn i njegovi saradnici Ralf Buhsbaum (Ralph Buchsbaum) i Hajnc Lovenstem (Heinz Lowenstam), kada se na sceni pojavio Emilijani. Posle nekoliko godina rada Epstejnova grupa je uspela da razradi laboratorijske postupke za veoma precizna merenja odnosa izotopa. Time je bio otvoren put ka ispitivanju mogućnosti Urijeve metode određivanja temperature vode.

Uri je brzo uočio da će Emilijanijevo poznavanje fosila biti od koristi u primeni nove tehnike geohemijskih proučavanja, pa je, 1950. godine, pitao Emilijanija da li je zainteresovan za istraživanje izotopskog sastava foraminifera. Emilijani je predlog prihvatio bez dvoumljenja - to je bila životna prilika da se otvore novi vidici prema geološkoj

prošlosti. Drugi članovi čikaškog tima već su primenjivali "izotopski termometar" ispitujući fosile starijih geoloških perioda, ali je Emilijani planirao da metodu primeni na foraminifere iz pleistocenskih naslaga. Prva merenja izveo je na foraminiferama koje žive na morskom dnu, a čiji su fosili sakupljeni, 1951. godine, iz ležišta u Kaliforniji. Ali kada mu je Hans Peterson ponudio osam jezgara izvučenih pomoću Kulenbergovog klipa, koje je prikupila ekspedicija sa broda *Albatros*, Emilijani je procenio da su mogućnosti proučavanja planktonskih foraminifera još veće. Ubrzo posle toga Eving mu je stavio na raspolaganje nekoliko jezgara iz Lamont geološke opservatorije, a Erikson, željan da proveri svoju metodu istraživanja klime, poslao je u Čikago primerke iz četiri jezgra koja je sâm već bio analizirao.

Do avgusta 1955. godine Emilijani je proučio osam dubokomorskih jezgara. Njegovi zaključci su bili objavljeni u časopisu *Geološki žurnal*, 1955. godine, u članku pod naslovom *Temperature pleistocena*. Pokazalo se da je taj članak postao putokaz za dalja istraživanja ledenih doba. Prema Emilijaniju, varijacije u izotopskom sastavu jezgara sakupljenih u Karipskom moru i u ekvatorijalnom delu Atlantika ukazuju na to da je u toku proteklih 300.000 godina bilo sedam potpunih ciklusa glacijalnih i interglacijalnih perioda. Izgledalo je da podaci takođe ukazuju i na to da bi za vreme tipičnog ledenog doba temperatura na površini u Karipskom moru opadala približno za 6°C (slika 33). Na kraju, Emilijani je uočio da promene temperatura, procenjene na osnovu izotopskog sastava, pokazuju dosta dobro slaganje sa Milankovićevim krivama osunčavanja i izveo je zaključak da njegova zapažanja idu u prilog astronomskoj teoriji o ledenim dobima.

Objavlivanjem svog članka Emilijani se istovremeno upleo u tri rasprave. Prva je bila sa Eriksonom. Da li varijacije na dijagramu odnosa izotopa zaista odražavaju varijacije temperature, ili varijacije na Eriksonovom dijagramu sadržaja foraminifere *menardii* tačnije odražavaju istoriju klime? Drugo, Breker i Erikson su doveli u pitanje tačnost Emilijanijeve vremenske skale. Treći i poslednji spor poticao je od mnogobrojnih geologa koji su bili odbacili Milankovićevu teoriju. Oni su smatrali da je uočena korelacija između Emilijanijevog dijagrama odnosa izotopa i Milankovićeve krive osunčavanja puka slučajnost.

Prva od ovih nesuglasica, po mnogo čemu, bila je od vitalnog značaja. Ako je Erikson bio u pravu i ako su promene na dijagramu odnosa izotopa uslovljene nečim drugim, a ne promenama temperature, onda su i dve druge rasprave gubile najveći deo svojeg smisla. Do 1964. godine naučna javnost je uvidela važnost potrebe za rešavanjem suprotnosti između Eriksonovih i Emilijanijevih rezultata. Valas Breker sa Univerziteta Kolumbija pridružio se Ričardu Flintu i Karlu Turekijanu (Karl Turekian) sa Univerziteta Jejl, u ubeđivanju američke Nacionalne fondacije za nauku da se prihvati pokroviteljstva konferencije o tome problemu. Cilj konferencije je bio da, u nastojanju da se reši problem, Erikson i Emilijani pred malom grupom specijalista izlože svoje ideje i podatke kojima ih potvrđuju. Dvodnevna konferencija je održana januara 1965. godine u hotelu Amerika u Njujorku i u kolumbijskoj Lamont geološkoj opservatoriji.

Među učesnicima konferencije bio je i Džon Imbri (John Imbrie), tada profesor geologije na Univerzitetu Kolumbija. Više od jedne decenije, Imbri je proučavao fosile organizama koji žive na morskome dnu i koristio se njima pri tumačenju klima starih geoloških perioda. On je prilagodio jednu statističku metodu zvanu „analiza faktora“, za koju se pokazalo da je od koristi pri ispitivanju kako morske životinje reaguju kada se istovremeno izlože dejstvu različitih stimulansa u sredini u kojoj borave.

Dugo očekivana Erikson/Emilijanijeva debata iz 1965. godine završila se bez zaključaka. Sa jedne strane, Erikson je pokazao da je njegova shema zona primenljiva na stotine jezgara iz Atlantika, a pružio je i dokaze da je njegova glavna predstavnička vrsta (*menardii*) zaista osetljiva na promenu temperature okeana. On je, pored toga, kritikovao Emilijanijevu pretpostavku da su promene izotopskog sastava vode okeana u toku pleistocena bile tako male da ne utiču na njegova procenjivanja temperatura pleistocena. U stvari istakao je Erikson, mnogi hemičari koji se bave izučavanjem izotopskog sastava došli su upravo do suprotnog zaključka: ledeni pokrivač sadrži tako visoku koncentraciju lakih izotopa kiseonika da je moralo doći do značajnih promena u izotopskom sastavu vode okeana u toku ciklusa ledenih doba. Prema tome, bilo bi sasvim moguće da varijacije u izotopskom

sastavu, koje je Emilijani izmerio, nisu uopšte u vezi sa temperaturom vode okeana, nego odražavaju samo promenu zapremine ledenih pokrivača.

Sa svoje strane, Emilijani je kritikovao Eriksona što se oslanja uglavnom samo na jednu vrstu, i izložio je podatke koje je sakupio Luj Lids (Louis Lidz), a koji su išli u prilog rezultatima izučavanja odnosa izotopa kiseonika. Lids je proučavao mnoge različite vrste foraminifera iz dva Emilijanijeva jezgra i utvrdio je da promene njihove količine dobro koreliraju sa fluktuacijom na izotopskoj krivoj. Emilijani je takođe smatrao da ledene kalote pleistocena verovatno nisu bile tako bogate kiseonikom O_{16} , kako su to neki geohemičari mislili, ponavljajući uverenje o tačnosti svojih procena temperature.

Mada je bio više posmatrač negoli aktivni učesnik u raspravi, Imbri je ukazao na to da i Erikson i Emilijani zanemaruju mogućnost da su pored temperature i drugi faktori, mogli uticati na varijacije u koncentraciji foraminifera. Na primer, promena saliniteta ili promena u količini raspoložive hrane svakako bi uticale na populaciju foraminifera. Dalje je sugerisao da bi se primenom statističkih metoda na celokupnu kolekciju svih vrsta foraminifera moglo postići razlikovanje dejstva temperature od drugih dejstava sredine. Pre nego što se konferencija završila Imbri je odlučio da sam to pokuša.

Erikson je bio spreman da pomogne i da posavetuje i predložio je da Imbri detaljno ispita jedno određeno jezgro; to jezgro, koje su već analizirali Erikson i Volin u pogledu vrste *menardii*, bilo je poznato kao V 12-122, zbog toga što ga je sa dna okeana uzela ekipa Lamont geološke opservatorije sa istraživačkog broda „Vema“, u toku 12. krstarenja, na 122. stanici. Imbri je našao sposobnog saradnika u Nilvi Kip (Nilva Kipp), studentu sa Škole opštih nauka Univerziteta Kolumbija i autoru zapaženog seminarskog rada o Erikson/Emilijanijevom sporu. Radeći zajedno sledeće tri godine, najpre na Univerzitetu Kolumbije a potom na Univerzitetu Braun, Imbri i Nilva Kip su razradili metodu „više faktora“ za analizu klime, koja je uzimala u obzir mnoge varijacije kod svih dvadeset i pet vrsta planktonskih foraminifera. Njihov pristup, po mnogo čemu, bio je kompjuterizovana varijanta tehnike koju je, 1935. godine primenjivao Wolfgang Šot.

Šotov prvi korak je bio da na nizu karata prikaže sadašnje rasprostranjenje svake od ispitivanih vrsta foraminifera. Imbri i Nilva Kip sledili su taj postupak, a potom su nastojali da dođu do jednačina kojima bi se izrazila veza između količine date vrste foraminifera na morskome dnu i različitih svojstava vode na površini okeana. Ova svojstva su uključivala i temperaturu vode u toku leta i zime, kao i salinitet (koncentraciju soli). Radeći na jezgru odozgo naniže, koristili su se jednačinama (koje su se odnosile na sadašnje morsko dno) pri procenjivanju letnjih i zimskih temperatura i saliniteta u proteklim epohama.

Do leta 1969. godine Imbri i Nilva Kip su se uverili da njihova metoda „više faktora“ daje pouzdane rezultate. U međuvremenu Breker i Jan van Donk (Jan van Donk) izvršili su izotopsku analizu istoga jezgra (V 12-122), što je omogućilo upoređivanje rezultata dobijenih Eriksonovom metodom, metodom Emilijanija i onom koju su primenili Imbri i Nilva Kip. To upoređivanje je uverilo Imbrija i Nilvu Kip da Erikson nije bio u pravu, a da je Emilijani bio delimično u pravu. Jer, gde god su Eriksonove zone ukazivale na niske temperature, metoda „više faktora“ i metoda izotopa ukazivale su na tople intervale. Izgledalo je da neki drugi faktor sredine, a ne temperatura vode na površini – iako često povezan s njome – uslovljava da se *globorotalia menardii* ciklično pojavljuje i gubi u dubokim vodama Atlantskog okeana.

U jednoj od osnovnih tačaka, međutim, rezultati tehnike „više faktora“ nisu se slagali sa Emilijanijevim rezultatima. Istraživanja Imbrija i Nilve Kip pokazivala su da je temperatura vode na površini Karipskog mora padala samo za 2°C kada bi Zemlja ulazila u ledeno doba, a ne za 6°C, kako je to proizilazilo po Emilijaniju. Metoda „više faktora“ pokazala je da su promene saliniteta površinske vode u Karipskom moru uticale na populaciju foraminifera zajedno sa promenama temperature. Pripisujući sve Lidsove varijacije u fauni samo promenama temperature, a zanemarujući sve druge uticaje, Emilijani je preцениo opseg promena temperature. Ako su Imbri i Nilva Kip bili u pravu, procenjujući da se za vreme ledenih doba temperatura na površini Karipskog mora spuštala samo za 2°C, onda se mogao izvući važan zaključak: znatan deo izotopskih varijacija morao je biti posledica promene zapremine ledenih pokrivača, a ne promena temperature.

Željan da obelodani ove rezultate, Imbri je bio počastvovan kada ga je Emilijani pozvao da održi predavanje na jednom međunarodnom naučnom skupu, koji je planiran da se održi u Parizu, septembra 1969. godine. Ali Imbri je u Pariz stigao kasno, pa je termin njegovog predavanja morao biti pomeran za petak u 16 časova. U Parizu toplo septembarsko popodne nudi rasonode dovoljno primamljive da čak i najodanije naučnike mogu da odvuku daleko od slušaonica. Kada je konačno počeo svoje predavanje, Imbri je govorio auditorijumu od dva slušaoca. Polovina publike nije razumela engleski jezik, a drugu polovinu činio je Nikolai Šeklton (Nicholas Shackleton), mladi britanski geofizičar koji je – a da to Imbri nije znao – već bio objavio podatke koji su ukazivali da veliki deo izotopskih varijacija odražava promene u ukupnoj zapremini leda na Zemlji.

Susrevši se posle predavanja, Imbri i Šeklton su sa zadovoljstvom ustanovili da su njihovi nezavisni pristupi proučavanju istorije klime doveli do istog mogućeg zaključka. Mada su znali da će biti potrebno ispitati još mnogo jezgara pre no što budu sigurni, raspoloživi podaci su, čini se, ukazivali na to da fluktuacije na Emilijanijevoj krivoj izotopa odražavaju uglavnom promene ukupne mase ledenih pokrivača.

Za neke naučnike, a možda čak i za samog Emilijanija, takav rezultat mogao je značiti razočaranje. Velike nade su polagane u to da će Urijeva geohemijska metoda dovesti do metode za procenjivanje temperatura pleistocenskih okeana. Ali dvojici ljudi u Parizu izgledalo je da će značaj krive izotopa biti umnogome uvećan upravo ako ona postane sredstvo za pouzdano merenje ukupne zapremine leda na Zemlji. Uostalom, šta bi i moglo biti korisnije pri analizi istorije klime pleistocena od saznavanja kako se veličina ledenih pokrivača menjala tokom vremena. Ako bi se tehnikom izotopa ustanovljavala ukupna zapremina leda, a metodom „više faktora“ temperatura okeana, onda bi se tek mogli pronaći putevi za proveravanje nekih konkretnih teorija o ledenim dobima pleistocena.

12. OŽIVLJAVANJE MILANKOVIĆEVE TEORIJE

Do godine 1969, dokazi koji su protiv Milankovićeve teorije sakupljeni metodom radioaktivnog ugljenika za većinu naučnika bili su dovoljni da ovu teoriju odbace kao ozbiljnog takmaca u trci za rešenjem tajni ledenih doba. Samo je manjina nastavila da traži za metodama kojima bi se mogla proveriti valjanost te teorije. Takvim naučnicima pripadao je i Rouds Ferbridž (Rhodes W. Fairbridge), geolog koji se bavio temeljnim izučavanjem nekadašnjih nivoa mora. Na Ferbridža je naročito jak utisak ostavila činjenica koju je utvrdio istražujući južne obale Australije: pronašao je devetnaest paralelnih peščanih sprudova koji su obeležavali nekadašnju morsku obalu, a i vreme kada je nivo mora bio viši no što je danas. Mada nije bilo načina da se sazna kolika je starost tih „napuštenih“ morskih obala, činjenica što su one bile na jednakim međusobnim rastojanjima snažno je ukazivala na to da je do podizanja i spuštanja morskog nivoa dolazilo u pravilnom ritmu. Znajući da oscilacije nivoa mora bivaju izazvane topljenjem i porastom ledenih pokrivača, Ferbridž je zaključio da su i ledena doba nastupala u pravilnim intervalima. Za Ferbridža su te činjenice i zaključci predstavljali snažnu podršku astronomskoj teoriji.

Mehanizam koji je predložio Milanković čini mi se razložnim, a astronomski ciklusi koji su se našli u osnovi njegove teorije, približno su takvog trajanja da bi se njima mogli objasniti peščani sprudovi duž australijske obale.

Iako je Ferbridžov stav bio prihvatljiv, njegovi kritičari su brzo istakli da je on čisto kvalitativne prirode i da nema načina da se sazna koliko je bilo trajanje jednog ciklusa promene nivoa mora. Da li on odgovara 41.000-godišnjem ciklusu promene nagiba Zemljine ose rotacije, 22.000-godišnjem ciklusu precesije, ili nekoj sasvim drugačijoj periodičnosti? Ako bi se mogao pronaći način za određivanje starosti visokih morskih nivoa, tada bi se takve informacije mogle iskoristiti za proveru Milankovićeve teorije. Na žalost, sve odlike morske obale koje je Ferbridž ispitivao bile su starije od 40.000 godina, pa, dakle, i van domašaja primene metode radioaktivnog ugljenika.

Ali već je bila na putu druga revolucija u tehnikama određivanja starosti. Geohemičari u nekoliko laboratorija razvijali su metode koje se nisu oslanjale na radioaktivni ugljenik, već na radioaktivne izotope urana, torijuma i kalijuma. Na kraju se došlo do deset različitih tehnika, čija je tačnost zavisila od starosti i vrste materijala koji se izučava. Na primer, metoda kalijum-argon obezbeđivala je tačne rezultate pri ispitivanju vulkanskih stena gotovo bilo koje starosti; druga, pak, metoda, zasnovana na radioaktivnoj supstanci protaktinijumu, davala je samo približne rezultate i mogla se primeniti samo pri ispitivanju dubokomorskog mulja mlađeg do 150.000 godina.

Godine 1956. Džon Barns (John Barnes) je sa svojim kolegama u Naučnoj laboratoriji Los Alamos, razradio metodu određivanja starosti na osnovu torijuma, koja bi se mogla upotrebiti za dobijanje tačnih rezultata u određivanju starosti koralnih sprudova, uz uslov da sprudovi nisu stariji od oko 150.000 godina. To je, zapravo, bila metoda koja je pružala najveće mogućnosti za određivanje hronologije promena nivoa davnašnjih mora, a pokazalo se da je upravo to i metoda koja će ubrzo omogućiti i prvu kritičku proveru Milankovićeve teorije.

Među vodama nove revolucije u određivanju starosti bio je i Valas Breker. Već od 1952. godine, kada je, kao diplomirani student došao na Univerzitet Kolumbija, Breker se posvetio unapređivanju geološkog kalendara. Kao školovan geohemičar, najpre je počeo da se bavi primenom metode radioaktivnog ugljenika radi određivanja starosti mlađih događaja tokom pleistocena. Njegova su istraživanja doprinela uve-

ravanju geologa da je pre oko 11.000 godina došlo do kratko-trajne i nagle promene klime. Ta promena je izazvala pad nivoa jezera u sušnim oblastima na jugozapadu, uzmicanje ledenog pokrivača i porast nivoa mora. Početkom šezdesetih godina Breker je sa svojim studentima radio na unapređivanju metode torijuma kojom se koristio za datiranje nivoa mora dovoljno starih da bi bili van domašaja metode radioaktivnog ugljenika.

Avgusta 1965. godine, u predavanju na međunarodnom naučnom kongresu održanom u Bolderu u Koloradu, Breker je dao pregled postojećih znanja o istoriji nivoa mora. Sada bi trebalo da bude moguće, rekao je, da se ustanove neke čvrsto određene tačke na, do sada, prilično elastičnoj geološkoj vremenskoj skali. Već su se mogli saopštiti i važni rezultati, jer su Breker i njegov student Dejvid Tarber (David Thurber) odredili starost davnašnjih fosilnih sprudova na atolu Enivetok, ostrvcima bliskim Floridi (Florida Keys) i na Bahamskim ostrvima. Rezultati su ukazivali na to da je pre oko 120.000 godina nivo mora bio oko šest metara viši nego danas. Jedan uzorak: izgleda da je ukazivao na to da je do drugog porasta nivoa mora došlo pre 80.000 godina, ali nije bilo tačno poznato koliko je tada nivo mora bio viši od današnjeg. Breker je nacrtao dijagram na kojem je pokazao da tri porasta nivoa mora čija je starost utvrđena – današnji, onaj od pre oko 80.000 godina i od pre oko 120.000 godina – dosta dobro odgovaraju trima od četiri maksimuma na Milankovićevoj krivoj osunčavanja za 65. stepen severne geografske širine. Premda je priznavao da je reč samo o preliminarnoj analizi, Breker je izrazio uverenje da će se konačne informacije moći pribaviti u toku sledećih nekoliko godina.

U proleće iste godine kada je Breker održao svoje predavanje, profesor Robli Metjus (Robley K. Matthews) sa Univerziteta Braun, ukrcao se na avion koji je leteo ka karipskom ostrvcetu Grenada. Njegovi saputnici su se radovali što će odmor provesti na toplom suncu, a za Metjusa je to putovanje imalo isključivo radni karakter. Kao specijalista za krečnjake, bio je posebno zainteresovan da prouči procese zahvlajujući kojima-krečnjačke stene postaju dovoljno porozne da služe kao rezervoari za naftu. Kako je bio obavešten da na Grenadi ima krečnjačkih izdanaka koji se mogu dobro proučavati, odlučio je da ih ispita.

Prvu noć na svojem putu Metjus je proveo na ostrvu Barbados i veoma se obradovao kada je utvrdio da su tamo krečnjaci, u najmanju ruku, široko ogoljeni. Ali već i prvi pogled na Grenadu pokazao mu je da je bio pogrešno obavešten. Ostrvo je bilo, u stvari, gomila vulkanskih stena, gotovo bez imalo krečnjaka. Odmah po sletanju Metjus je rezervisao kartu za povratak.

Vrativši se na Barbados, Metjus je ustanovio da je veliki deo ostrva terasastog oblika tako da ono, gledano iz vazduha, liči na velike stepenice. Mada su krečnjački izdanci bili slabo ogoljeni na „gazištima“ ovih stepenica, na njihovim strmim „usponima“ bili su izrazito ogoljeni. Sa svojega puta Metjus se vratio nastavničkim obavezama na Univerzitetu Braun, zadovoljan što je našao pogodnu lokaciju za terenska istraživanja.

Ubrzo potom, saznao je da postoje oprečna mišljenja o tome kako su nastale terase na ostrvu Barbados. Prema jednoj teoriji, ostrvo se periodično izdizalo iz mora; kad god bi se ostrvo izdiglo, izumro bi po jedan koralni sprud, a drugi bi se oformio duž novonastale obale, na nižem delu ostrva. Prema ovoj teoriji, svaka terasa je predstavljala novu epizodu u razvoju koralnog spruda, na određenom nivou mora. Prema drugoj teoriji, terase su dejstvom morskih talasa isklesane iz jednog jedinstvenog velikog koralnog spruda. Kako bi se ostrvo izdiglo iz mora, tako bi se putem erozije klesala nova terasa.

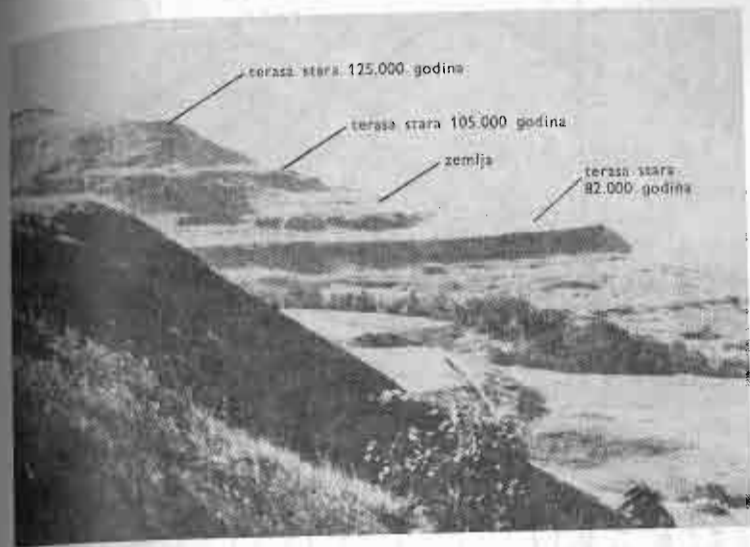
Metjus je odlučio da reši tajnu jesu li terase na Barbadosu nastale prirastom koralna ili pak dejstvom erozije. U leto iste godine vratio se na ostrvo zajedno sa diplomcem Kenetom Mesolelom (Kenneth Mesolella). Duž svake terase nailazili su na izdanke koji su otkrivali presek po jednog davnašnjeg koralnog spruda. Na nekim mestima našli su stablaste kolonije koralna *acropora palmata*, koje su još stajale u položaju kakav su zauzimale za života. Samo nekoliko metara od obale, žive jedinice iste vrste gradile su plitkovodne sprudove slične onim fosilnim. Do kraja leta Mesolela je ispitao svaki krečnjački izdanak na ostrvu, pa su se on i Metjus uverili da su terase na Barbadosu nastale prirastom koralna i da svaka terasa predstavlja sprud nastao na neka-današnjem nivou mora. Da bi pojednostavili diskusiju, oni su terase numerisali prema njihovoj nadmorskoj visini, počivajući sa terasom I.

Drugi profesor sa Univerziteta Braun, Tomas Muč (Thomas A. Mutch) ukazao je na to da bi se sekvence koralnih sprudova mogle iskoristiti za proučavanje istorije nivoa mora. Mada je sumnjao da se taj zadatak može ostvariti proučavanjem na ostrvu čija je istorija protekla u vertikalnom kretanju, Metjus je ipak uspeo da ubedi Brekera da odredi starost nekih uzoraka sa terasa o kojima je reč.

Kojim sprudovima je trebalo najpre odrediti starost? Metjus je odlučio da pošalje uzorke sa prvog i trećeg spruda, sa terase I i III. Breker, Džon Godar (John Goddard) i diplomci Dejvid Tarber i Telung Ku (Teh-Lung Ku), prihvatili su se posla. Već u toku leta bila su završena prva laboratorijska merenja. Sprudovi su bili stari 80.000, odnosno 125.000 godina. Breker je bio zadovoljan tim rezultatima, zato što su se oni slagali sa već određenom starošću sprudova sa Bahamskih ostrva i Floride i što su se, takođe, dosta dobro slagali sa jedina dva momenta maksimalnih osunčavanja koja je Milanković dao za taj deo vremenske skale.

Brekerovo samozadovoljstvo bilo je poljuljano kada ga je grupa sa Univerziteta Braun obavestila da između dve terase čiju je starost odredio postoji još jedna. Poslati su uzorci i sa te „terase u sredini“, a ispitivanja su pokazala da njihova starost iznosi 105.000 godina.

Pošto na krivoj osunčavanja za 65. stepen severne geografske širine nije bilo maksimuma do kojeg bi došlo pre 105.000 godina, Breker je počeo da ispituje i druge Milankovićeve krive osunčavanja. Uskoro je došao do značajnog otkrića da krive osunčavanja za niže geografske širine (posebno za 45. stepen severne širine) sadrži uočljive ekstreme vremenski bliske starosti terasa sa Barbadosa: 82.000, 105.000 i 125.000 godina. Ranije su pristalice Milankovićeve teorije usmeravale pažnju na krivu za 65°N, krivu, koja je uslovljena varijacijama nagiba Zemljine rotacije ose tako snažno da su ekstremi međusobno udaljeni po 40.000 godina. Na krivama za niže geografske širine, međutim, 22.000-godišnji ciklus precesije ima dovoljno uticaja da značajno modulira efekat varijacije nagiba. S obzirom na to izgledalo je da uočeni sled starosti terasa sa Barbadosa kazuje istraživačima da je uticaj ciklusa precesije značajniji nego što je i sam Milanković verovao.

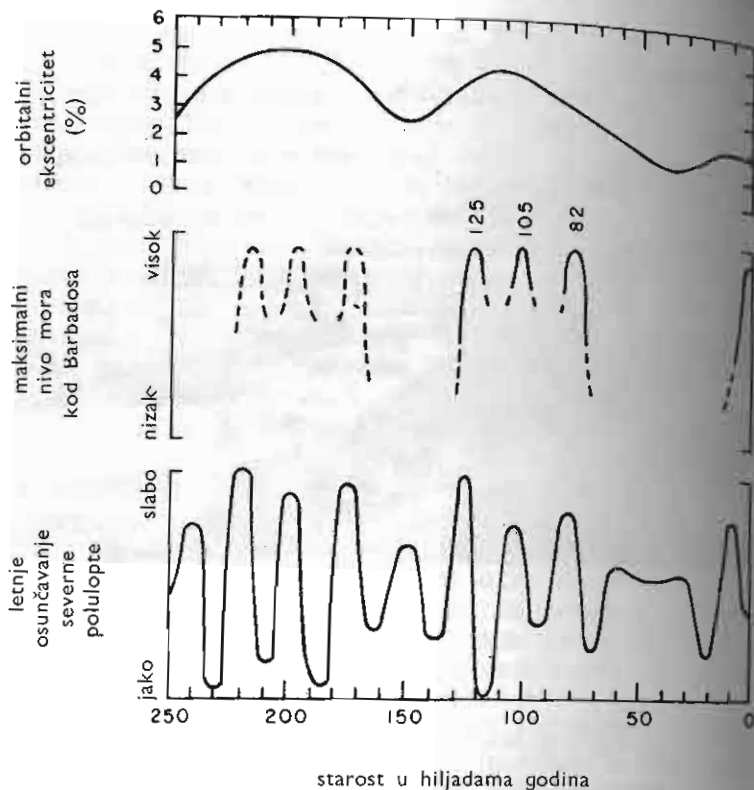


Slika broj 34.

Terasasti sprudovi na Novoj Gvineji. Pogled na severnu obalu poluostrva Huon, gde su pleistocenski koralni sprudovi formirali terase. Starost terasa sličnih ovima prvi put je određena na karipskom ostrvu Barbados. (Ljubaznošću A. Bluma).

Ova otkrića, objavljena 1968. godine, a potvrđena tokom nekoliko sledećih godina samostalnim istraživanjima na Novoj Gvineji i Havajima (slika 34), dovela su do opšteg oživljavanja interesovanja za Milankovićeve teorije. Breker, Matjus i Mesolela pokazali su da astronomska teorija, ako se modifikuje tako da se veći značaj pripíše uticaju precesije, može da objasni epizode visokih nivoa mora koje su se dogodile pre 82.000, 105.000 i 125.000 godina (slika 35).

Oživljavanje interesovanja nije automatski vodilo čvrstom verovanju; kao što su Breker i Matjus požurili da istaknu, slaganje starosti triju terasa s vremenom tri maksimuma na krivoj osunčavanja, moglo je biti i slučajno. Međusobna veza možda i ne postoji. Da bi svoj stav učvrstili, bio im



Slika broj 35.

Astronomska teorija o morskome nivou kod Barbadosa. Epizode visokog morskog nivoa čija je starost tačno utvrđena, na dijagramu u sredini prikazane su punom linijom. Epizode čija starost nije pouzdano utvrđena, prikazane su isprekidanom linijom. Poznato vreme visokih morskog nivoa odgovara intervalima intenzivnog letnjeg osunčavanja i velikom ekscentricitetu orbite. (Prema Mesoleli i saradnicima, 1969).

je potreban niz podudarnosti, dovoljno dug da bi se slučajnost isključila. Da bi se na taj način proverila astronomska teorija, geolozima je bio potreban geološki kalendar događaja u toku pleistocena, mnogo duži no što se mogao obezbediti određivanjem starosti nekadašnjih koralnih sprudova metodom torijuma.

Ključ kojim će se na kraju otključati ulazna vrata u hronologiju pleistocena našao je, 1906. godine, u jednoj francuskoj ciglani, Bernar Brines (Bernard Brunhes), geofizičar, koji se bavio proučavanjem Zemljinog magnetnog polja. Brines je utvrdio da se prilikom hlađenja novopečenih cigala čestice minerala bogatih gvoždem svrstavaju paralelno sa pravcem Zemljinog magnetnog polja, tako da cigla postaje donekle namagnetisana. Ono što je Brinesovo zapažanje učinilo značajnim za geofiziku i geologiju je njegovo otkriće da se i vulkanska lava, u toku hlađenja, ponaša kao cigla, magnetišući se paralelno Zemljinom magnetnom polju. Brines je zaključio da stari izlivi vulkanske lave moraju sadržati informacije o istoriji Zemljinog magnetizma.

Zainteresovan ovom idejom, Brines je merio pravac magnetizacije nekoliko starih izliva lave i bio je iznenađen otkrivši da su neki od tih izliva namagnetisani duž istoga pravca, ali u suprotnom smeru u odnosu na sadašnje geomagnetno polje. Zaključio je da je nekada u prošlosti Zemljino magnetno polje moralo biti reversno. U tom slučaju istraživač koji bi se obreo u prošlosti, u epohi obrnute polarnosti, video bi kako severni kraj magnetske igle na njegovom kompasu pokazuje na jug. Ova ideja je izgledala toliko neverovatnom da ju je prihvatio samo mali broj Brinesovih savremenika.

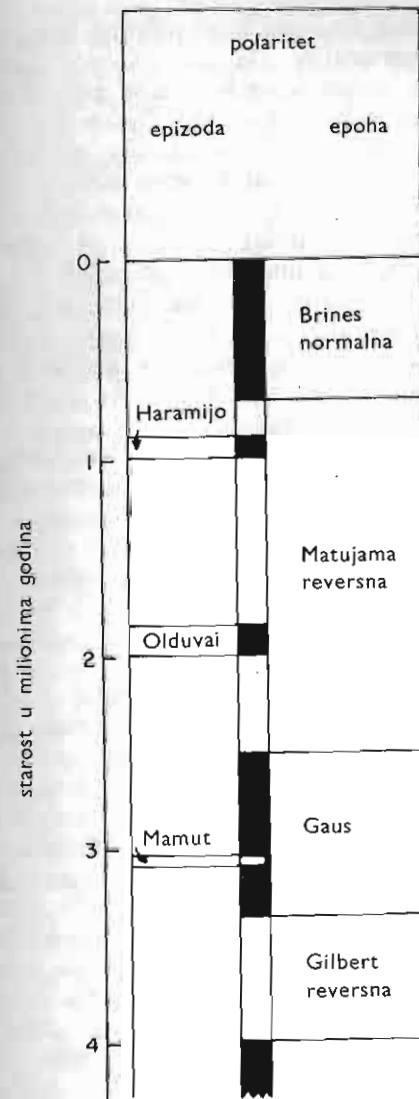
Više od dvadeset godina kasnije, međutim, jedan japanski geofizičar našao je dokaz da je Brines bio u pravu. Nakon proučavanja jedne serije vulkanskih izliva u Japanu i Koreji, Motonori Matujama (Motonori Matuyama) je

zaključio da je u toku pleistocena Zemljino magnetno polje barem jedared promenilo smer. Štaviše, njegova dalja istraživanja uverila su ga da je do reverzije Zemljinog magnetnog polja došlo mnogo puta, u geološkim epohama kudikamo starijim od pleistocena. Ako bi se pokazao tačnim, Matujamin koncept višekratne reverzije geomagnetnog polja bio bi od značaja za istorijsku geologiju. Takvi slučajevi, naime, zabeleženi istovremeno u izlivima lave na svim kontinentima, pružili bi ono što je geolozima već dugo potrebno: metodu precizne korelacije veoma udaljenih ležišta.

Ali, ako je jedna reverzija izgledala malo verovatnom, višekratnost reverzija činila se upravo bizarnom, pa se na Matujamin rad gledalo sa mnogo skepticizma. Ubrzo su geolozi pronašli manje dramatičan put za objašnjenje činjenica. Proučavanja su pokazala da izvesni minerali, kada se hlade u posebnim laboratorijskim uslovima, stiču reverznu polarnost. Ako taj mehanizam autoreverzije deluje pod laboratorijskim uslovima, mogao je isto tako delovati i na pradaвне vulkanske izlive lave. Tako su – uprkos činjenici što se minerali sposobni za autoreverziju retko sreću u vulkanskoj lavi – gotovo svi naučnici koji su se bavili pitanjem magnetske reverzije lakše prihvatili autoreverziju negoli revolucionarnu ideju da je u toku istorije Zemlje njeno magnetno polje menjalo svoju polarnost.

Krajem pedesetih i početkom šezdesetih godina geofizičari iz Sovjetskog Saveza, sa Islanda i Havaja, A. N. Hramov, Martin Ruten i Jan Mekdugal i Donald Tarling (Martin G. Rutten, Ian McDougall, Donald H. Tarling), našli su dokaze da su Brines i Matujama bili u pravu – i da im je priroda obezbedila mogućnost korelacije pojava na celom globusu. Konačnu potvrdu hipoteze o reverzijama geomagnetnog polja pribavili su, 1963. godine, Alan Koks (Allan Cox) i Ričard Doel (Richard Doell) iz Geološke službe SAD i Brent Dalrimpl (G. Brent Dalrymple) sa Kalifornijskog univerziteta u Berkliju. U čast svojih kolega-pionira, oni su se saglasili da epohu „normalne“ polarnosti mlađeg pleistocena nazovu „Brinesovom epohom“, a da rariju epohu „reverzne“ polarnosti nazovu „Matujaminom epohom“.

Koks i njegove kolege dokazali su da je teorija o reverzijama polja ispravna, pokazivši da je svaka reverzija bila globalno istovremeni događaj. Isticali su da ne bi bilo



Slika broj 36.

Magnetska istorija Zemlje. Epoha i epizode normalne polarnosti prikazane su crnim stubićima, a epoha i epizode reverzne polarnosti belim stubićima.

razložno pretpostaviti da je pri svim izlivima lave istovremeno dolazilo do autoreverzije. Da bi pokazali istovremenost pojava, odredili su starost izliva koji su se nalazili neposredno iznad i ispod velikog broja reverzija. Posao oko određivanja starosti, koji je izvela grupa istraživača sa Kalifornijskog univerziteta pod rukovodstvom Granisa Kertisa (Graniss H. Curtis) i Džeka Everndena (Jack F. Evernden), zasnivao se na primeni metode kalijum-argon koja daje naročito dobre rezultate u radu sa izlivima lave. Rezultati su ne samo dokazali sinhronu prirodu reverzija Zemljinog magnetnog polja, već su skrenuli pažnju i na samo vreme pojava reverzija. Proizišlo je da su upravo ta vremena one dugo očekivane utvrđene tačke oko kojih se može izgrađivati pouzdana hronologija pleistocena.

Geolozi su ubrzo zaključili da je neophodno usvojiti grafičku shemu za prikazivanje istorije geomagnetnog polja (slika 36). Intervali polarnosti kakva je današnja, odnosno kakva je bila tokom Brinesove epohe, nazvani su „normalnim“ i označeni crnim stubićima. Intervali reverzne polarnosti, kao za vreme Matujamine epohe, označeni su belim stubićima.

Posle kratkoga vremena otkriveno je da su se u toku trajanja reverzne Matujamine epohe, zbile i dve kratke „normalne epizode“. Starija od te dve epizode nazvana je *Olduvai normalnom epizodom*, prema imenu doline u Africi, gde su prvi put pronađena svedočanstva koja su na nju ukazala. Mlada je nazvana *Haramijo normalnom epizodom*, prema imenu jedne rečice u Novom Meksiku, u SAD. Na grafičkoj shemi naizmenično smenjivanje polarnosti Zemljinog magnetnog polja javljalo se kao niz crnih i belih stubića – slično kakvoj poruci ispisanoj Morzeovom azbukom. Dve tačke na tom „signalu“ bile su od presudne važnosti za geologe koji su nastojali da reše tajnu pleistocenskih ledenih doba. Jedna je bila granica između Brinesove i Matujamine epohe, pre 700.000 godina, a druga je bila *Olduvai normalna epizoda*, do koje je došlo pre 1,8 miliona godina.

Da li je ova poruka zapisana i u dubokomorskim jezgrima? Moris Eving i Manik Talvani (Manik Talwani) pokušali su da to utvrde još 1956. godine. Talvani je dva jezgra iz kolekcije Lamont geološke opservatorije odneo u

Karnegijev institut u Vašingtonu, gde je Džon Grejem (John Graham) ispitao njihova magnetska svojstva. „Utvrdili smo nekoliko reverzija“, rekao je kasnije Talvani, „ali rezultati su bili nejasni.“ Jedan je problem bio u tome što su jezgra bila još meka i bilo je teško njima rukovati. Pošto je učinio još nekoliko pokušaja, Talvani je digao ruke od toga posla.

Deset godina kasnije, dva geologa iz Skripsovog instituta, Kristofer Harison (Christopher G. A. Harrison) i Brajan Fanel (Brian M. Funnell), našli su svedočanstva o granici Brines-Matujama ispitujući dva pacifička jezgra. Premda istraživači iz Lamont geološke opservatorije nisu bili ubeđeni tim rezultatima, oni su uložili nove napore da dešifruju paleomagnetnsku „poruku“. Imali su sve razloge da se nadaju da su Harison i Fanel bili u pravu, jer je kolekcija u Lamont geološkoj opservatoriji sadržala tri hiljade dugih jezgara, sakupljenih iz svih okeana i mora sveta, a u svakome od njih bila je skrivena čitava riznica podataka o klimi koji su samo čekali da budu smešteni u okvire hronologije postavljene kalendarom magnetskih reverzija.

Srećom, u Opservatoriji se sada nalazio i specijalista za magnetizam stena, Nil Opdajk (Neil D. Opdyke). Kako je Opdajk ranije uglavnom radio sa stenama, pozvao je diplomca Džona Fostera (John Foster) da mu pomogne pri konstruisanju uređaja za proučavanje mekih sedimentata. Kasnije je još jedan student, Bili Glas (Billy Glass), postao član ekipe, dodajući Opdajkovom i Fosterovom znanju specijalističko znanje o okeanskim sedimentima. Trojka je odlučila da počne ispitivanje jezgara sa viših geografskih širina, gde je inklinacija magnetnoga polja veća i gde je lakše otkriti reverzije. Shvatajući da je erozija na okeanskome dnu mogla delimično uništiti svedočanstva skrivena u sedimentima, odlučili su da analiziraju samo ona jezgra koja su paleontolozi već proučili.

Grupa je zamolila Džejmsa Hejsa (James D. Hays) iz Lamont geološke opservatorije da im, kao specijalista za antarktičke radiolarije (sićušne životinje koje plutaju po površini mora), odvoji za paleomagnetnska proučavanja ona jezgra, koja su dovoljno duga da probiju granicu Brines-Matujama. Još od studentskih dana na Državnom univerzitetu u Ohaju, Hejs je bio fasciniran Antarktikom. Zapravo, njega

je Lamont opservatorija i privukla svojom bogatom zbirkom jezgara, koja je mogla da mu omogući izučavanje istorije Antarktičkog okeana. Njegov prvi korak u tome pravcu bio je da utvrdi detaljni sled zona radiolarija. Sa osnovom i znanjem koje je posedovao, Hejsu je bilo lako da izabere jezgra za paleomagnetska istraživanja. Njegove zone radiolarija omogućile bi detaljnu proveru paleomagnetskih korelacija.

Kada su uzorci podvrgnuti analizi, četiri istraživača su sa zadovoljstvom utvrdila da je geomagnetska poruka jasno utisnuta u sva jezgra. Štaviše, korelacije do kojih se došlo na osnovu granica reverzija, potvrdile su one granice, do kojih je Hejs bio došao na osnovu zona radiolarija. Odlučnom potvrdom Harisonovih i Fanelovih otkrića, otpočela je „paleomagnetska revolucija“. Prvi put je stvorena mogućnost da se odredi starost klimatskih pojava u bilo kojem jezgru koje sadrži paleomagnetsku „poruku“. Sada je vrednost kolekcije jezgara u Lamont geološkoj opservatoriji postala očigledna. Ne čekajući da se prikupe nova jezgra, Opdajk, Hejs, Erikson i njihove kolege će između 1966. i 1969. godine pretvoriti ono što je do tada bilo uopšteno geološko pripovedanje u dobro dokumentovanu istoriju klime.

Prvi problem kojim se trebalo pozabaviti bila je dužina trajanja pleistocenske epohe. Idući putem Penka i Briknera, Milanković je pretpostavio da je epoha pleistocena trajala 650.000 godina, pa je svoja rana izračunavanja ograničio na taj interval. Tek nakon Milankovićeve smrti, Erikson je sa svojim kolegama iz Lamont opservatrije procenio da je pleistocen trajao približno 1,5 milion godina. Bilo je jasno da se pre no što bi se mogla izvesti zadovoljavajuća provera Milankovićeve teorije, mora tačno odrediti početak pleistocenske epohe.

Problem je, zapravo, bio dvojak: prvo, koji događaj određuje početak pleistocena i drugo, kada se taj događaj zbio. U toku prošloga stoleća, na prvo pitanje ponudeno je nekoliko odgovora, počev od Lajelovog predloga iz 1839. godine, da se kao pleistocensko označi svako nalazište koje sadrži fosile vrsta od kojih 90 do 95 odsto i danas živi. U tom predlogu ne spominju se ni ledena doba, ni hladne klime. Kasnije je Edvard Forbs ovu definciju zamenio klimatolškom: pleistocensko nalazište je ono

koje sadrži svedočanstvo o hladnoj klimi. Ali, koliko hladnoj? Godine 1948. jedan međunarodni naučni komitet opredelio se za nespornu, premda donekle arbitrarnu, definiciju pleistocena: početak epohe, rečeno je, označen je najranijom pojavom hladnovodnih vrsta u dobro razvijenim sedimentnim serijama u južnoj Italiji. Ali su praktične teškoće u primeni ovakve definicije bile velike. Kako će, na primer, naučnik koji proučava jezgro iz Pacifika moći da utvrdi koji nivo toga jezgra odgovara pomenutom, određujućem, događaju u Italiji?

Problem korelacije i utvrđivanja početka pleistocena rešen je primenom paleomagnetske metode. Vilijem Bargren (William A. Bergren) iz Vuds Hola i Džejms Hejs pokazali su da se najranije pojava hladnovodnih vrsta u južnoj Italiji podudara sa *Olduvai normalnom epizodom*. Na kraju stogodišnjih napora geolozi su konačno mogli reći da je epoha pleistocena počela pre 1,8 miliona godina. Sada su se mogli poslužiti geomagnetskim reverzijama u toku pleistocena, a posebno granicom koja označava početak Brinesove epohe, pre 700.000 godina, pri utvrđivanju kalendara koji pokriva onaj deo istorije pleistocena za koji je Milanković dao svoju teoriju.

Dok su Breker i Metjus proučavali istoriju nivoa mora, a Hejs i Opdajk razradivali paleomagnetsku vremensku skalu, u Čehoslovačkoj je geolog Georg Kukla (George Kukla) vredno kopao po jami jednog majdana u blizini Brna. Majdan se nalazio na Crvenom brdu, odakle su se naslage zemlje koje je naneo vetar (les) u velikim količinama upotrebljavale za proizvodnju cigala. Ispitujući zidove te jame, Kukla je mogao da proučava istorijski sled naslaga lesa, kao i proslojaka zemlje između njih.

Kuklino interesovanje za les proizišlo je iz njegove očaranosti čehoslovačkim špiljama. U mnogim takvim špiljama pronađeno je da tanki slojevi lesa nanesenog vetrom u toku pleistocena sadrže kosti neandertalskog čoveka i drugih ljudi kamenog doba. Praćenjem slojeva lesa izvan pećina i njihovom korelacijom sa debelim pokrivačima na padinama susednih brda, arheolozi su mogli da dela ljudskih ruku smeste u odgovarajući istorijski radosled.

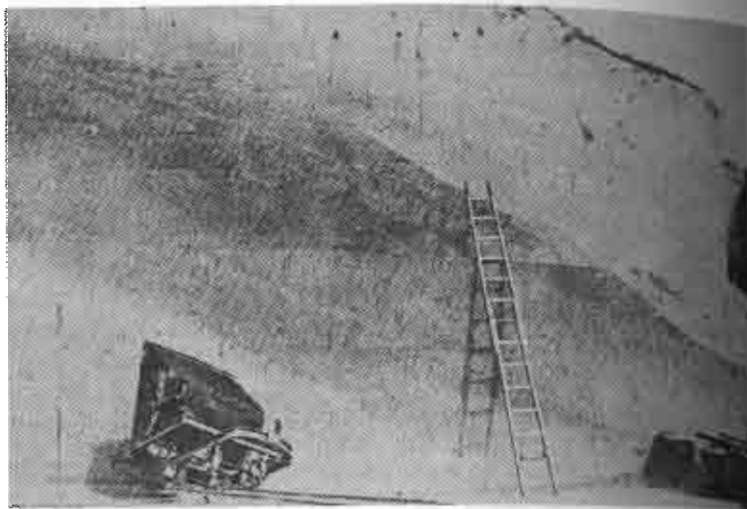
Pleistocenski ledeni pokrivači koji su se širili iz centara u Skandinaviji i Alpima nikada nisu dospevali do oblasti Crvenog brda, ali je tamo klima trpela drastične promene. Još 1961. godine Georg Kukla i njegov kolega Vojen Ložek su objasnili zašto su neglacijske oblasti Čehoslovačke i Austrije bile u idealnom položaju da sačuvaju svedočanstva o fluktuacijama pleistocenske klime. Kada su ledeni pokrivači bili veliki, centralna Evropa je bila ledena pustinja – suva, bez drveća i šibana oštrim vetrovima koji su nanosili slojeve lesa. Međutim, kada su

glečeri bili mali, u Čehoslovačkoj je vladala klima još toplija i vlažnija nego danas: u šumama je raslo drveće širokog lista, stvarala se plodna zemlja, a lovci kamenog doba živeli su pod umerenim temperaturnim uslovima. Kako su se skandinavski i alpski ledeni pokrivači naizmenično širili i povlačili, tako se i granica između prerije i šume pomerala napred-nazad, preko neglacijskog koridora srednje Evrope.

Davno pre no što su saznali za paleomagnetsku vremensku skalu čehoslovački geolozi su pokazali da je samo u oblasti oko Brna bilo barem deset ciklusa smenjivanja zemlje i lesa, ali nije bilo moguće odrediti koliko je dugo svaki od tih ciklusa trajao. Godine 1968. Kukla se sa svojim kolegama iz Čehoslovačke akademije nauka vratio na ciglanu kod Brna, ispitao svaki sloj zemlje i lesa i utvrdio pet geomagnetskih reverzija. Kako je u to vreme vremenska skala već bila tačno utvrđena, bilo je moguće izračunati prosečnu dužinu trajanja svakog ciklusa: glavni puls klime mlađeg pleistocena postojano je otkucavao jednim otkucajem u 100.000 godina.

Istraživanja izvedena u toku prethodnih deset godina dokazala su da sedimentacioni ciklus nije bio samo prost proces ponavljanja: zemlja (1. sloj) i les (2. sloj), po nekakvoj simetriji 1-2, 1-2, i tako redom. Bio je to, zapravo, četvorokratni ciklus sastavljen od tri vrste zemlje (1. 2. i 3.) i lesa (4.). Slojevi u ciklusu su se smenjivali formirajući testerasti, nesimetrični sled (1, 2, 3, pa 4; 1, 2, 3, pa 4). Prvi sloj zemlje u tom sledu nastajao je u toploj i vlažnoj klimi. Drugi sloj je crna zemlja, ista kao i zemlja koja se danas formira u vlažnim delovima azijskih stepa i u kojoj se nalaze fosili koji ukazuju na nešto hladniju i suvlju klimu nego što je ona u prethodnoj fazi, kada su postojale šume. Iznad sloja crne zemlje nalazi se sloj zemlje smeđe boje, koja je tipična za umerenije delove današnjih arktičkih oblasti. Ta zemlja, treći sloj u sledu, sadrži fosile koji ukazuju na klimu koja je hladnija i suvlja negoli u stepi, ali ne tako hladna i suva kao klima što deluje u vreme stvaranja sloja lesa, koji predstavlja četvrtu i završnu fazu ciklusa.

Na osnovu ovih zapažanja, Kukla je došao do značajnog zaključka: faza zahlađivanja u ciklusu klime trajala

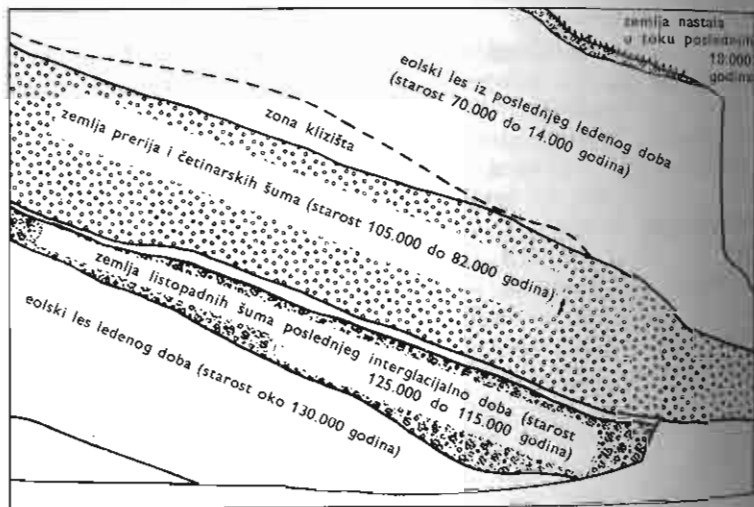


je mnogo duže od faze otopljanja; štaviše, prelazi od faze peskovitih polarnih pustinja u faze listopadnih šuma bili su tako nagli da su se na zidovima majdana javljali kao jasno uočljive linije. Ove linije, koje je Kukla nazvao „graničnim linijama“ (reperima), bile su korisne pri razlikovanju jednog sedimentacionog ciklusa od drugog, kao i pri koreliranju ciklusa u međusobno veoma udaljenim oblastima (slika 37).

Pošto je utvrdio puls klime centralne Evrope i našao da je taj puls pravilan, Kukla je usmerio pažnju na sledove alpskih terasa koje su Penka i Briknera dovele do zaključka da je ritam klime u pleistocenu bio nepravilan i označen fazama koje su nazvali Ginc, Mindel, Ris i Virm. Kukla nije sumnjao u autentičnost alpskih terasa; postavljalo se pitanje Penkovog tumačenja klime na osnovu njih.

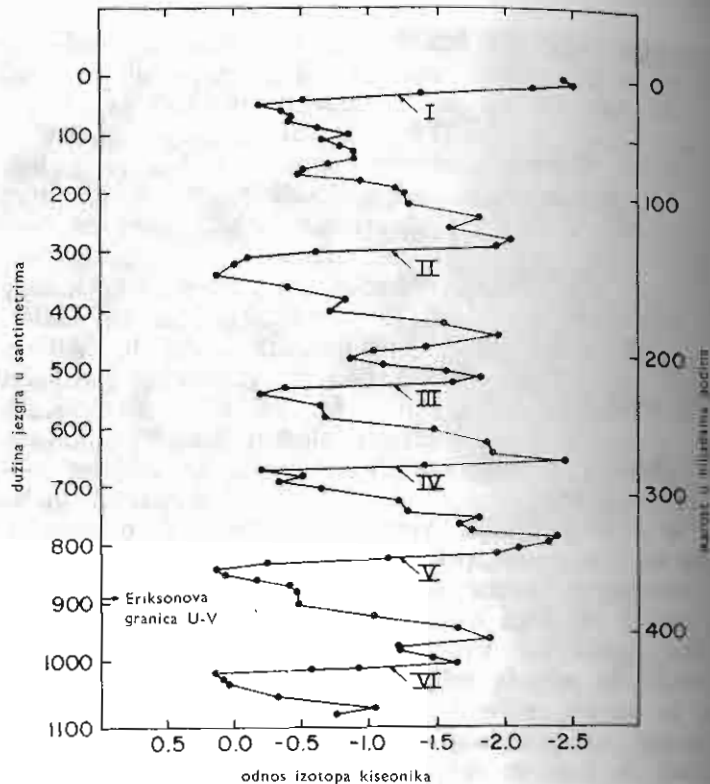
Penk je pretpostavljao da se slojevi šljunka formiraju samo u toku glacijacija. Međutim, Kulka je brzo pronašao nešto što je smatrao „spektakularnom ilustracijom interglacijalne akumulacije šljunka“, a što je potvrdilo sumnje koje je mnogo godina pre toga izrazio nemački geolog Ingo Sefer. Na primer, u donjoj terasi kod Ulma šljunak za koji se smatralo da pripada ledenom dobu Virm sadržao je debla čija je starost, merena metodom radioaktivnog ugljenika, ukazivala na postglacijalno doba. A u blizini Beča, za šljunak za koji se držalo da takođe pripada dobu Virm utvrđeno je da sadrži opeke iz rimskoga doba. Ipak, pisao je Kukla,

Penkov autoritet je bio tako veliki, da su interglacijalne naslage u terasama tumačene kao lokalne anomalije, a ne kao dokaz delimično interglacijalnog porekla alpskih terasa u celini... Na primer, šljunak donje terase u blizini Ostrave godinama je kartiran kao šljunak koji pripada ledenom dobu Virm, što je zaista tačno. Ali kada je čuveni češki stratigraf kvartara Tiraček iz neporemećenog sloja tog šljunka iskopao zardali upravljač bicikla, taj nivo je prekartiran kao aluvijum holocena... Logičan zaključak je, i pored toga, izmakao: šljunak donje terase je, po definiciji ostao šljunak ledenog doba Virm, sadržao on bicikle i rimske opeke ili ne.



Slika broj 37.

Svedočanstva o istoriji klime u jednoj čehoslovačkoj ciglani. Dogadjaji tokom proteklih 130.000 godina zabeleženi su kao naizmenično smenjivanje slojeva zemlje i lesa. (Ljubaznošću G. Kukle).



Slika broj 38.

100.000-godišnji puls klime. Ovde prikazane klimatske varijacije zabeležene su kao promene u odnosu izotopa kiseonika u dubokomorskom karipskom jezgru V12-122. Posle utvrđivanja približne vremenske skale, Breker i van Donk su zaključili da je glavni puls klime – ciklus od 100.000 godina. Šest intervala brze deglacijacije označeno je rimskim brojevima i nazvano „okončanjima“. (Prema Brekeru i van Donku, 1970).

Očigledno, mnoge naslage šljunka pripisane ledenom dobu Virm nastale su u postglacijalno vreme.

Do 1969. godine, postalo je neprijatno jasno da je celokupna shema klime koju su na osnovu alpskih terasa razradili Penk i Brikner, a dalje je proširio Eberl i prihvatila čitava generacija geologa, bila samo kuća izgrađena ne na pesku, već na pokretnom šljunku. A kada se

kuća konačno srušila, srušili su se sa njom i „argumenti“ kojima su se Kepen i Vegener služili da bi potvrdili Milankovićeve teorije.

Dok je, u Evropi, Kukla potkopavao Penk /Briknerovu shemu, Jan van Donk je u Lamont geološkoj opservatoriji upravo završavao merenja izotopskog sastava foraminifera iz jezgra V 12-122. (slika 38) iz Karipskog mora. Zajedno sa Brekerom van Donk je nastojao da unapredi geološku vremensku skalu. Kako jezgro nije dosegalo do početka Brinesove epohe, paleomagnetska skala se nije mogla neposredno primeniti. Jezgro je ipak sadržalo granicu između faza U i V, za koju je Erikson – preko drugih jezgara, dovoljno dugih da obuhvate poslednju geomagnetsku reverziju – utvrdio da je stara 400.000 godina. Ta procena, koja je padala u sredinu prilično dugog intervala određenog metodom urana i torijuma, postala je kamen temeljac Brekerove i van Donkove hronologije i dovela ih je do zaključka da glavni ciklus, na krivoj odnosa izotopa kiseonika, traje 100.000 godina. Štaviše, uočili su da ovaj glavni klimatski ciklus ima asimetričan, testerast oblik: „Periode širenja leda, koji su u proseku trajali oko 100.000 godina, naglo je prekidala brza deglacijacija.“ Takve epizode brzog zagrevanja nazvali su „okončanjima.“

Tek kada su se, septembra 1969. godine sreli na jednom međunarodnom naučnom kongresu u Parizu, Breker i Kukla su shvatili da su ih njihove zasebne linije istraživanja dovele do mnogih istovetnih zaključaka: glavna ledena doba u toku pleistocena bila su raspoređena u intervalima od oko 100.000 godina, sporo su se razvijala, a naglo okončavala. „Granične (reperne) linije“ u čehoslovačkim ciglanama odgovarale su „okončanjima“ u karipskim jezgrima.

Dok su Breker i Kukla diskutovali o karakteru ciklusa klime tokom pleistocena – a Imbri i Šeklton razmenjivali mišljenja o temperaturama pleistocena – Vilijem Radimen (William Ruddiman) i Endriju Mekintajer (Andrew McIntyre) su vredno radili u Lamont opservatoriji, razrađujući novu metodu za izučavanje istorije okeana. Odabirajući jezgra duž jednog meridijana i beležeći promene rasprostranjenosti vrsta osetljivih na temperaturu duž te linije, uspeali su da odrede promenljivi tok Golske struje. Tokom interglacijalnih perioda, Golska struja je preko Atlantika tekla na severo-

istok od rta Hateras ka Velikoj Britaniji. Ali za vreme ledenih doba ona je skretala ka istoku, prema Španiji. Kako su se ledeni pokrivači širili i povlačili, a šume i prerije se pomerale napred-nazad preko Evrope i Azije, Golska struja se njihala čas na jednu čas na drugu stranu, kao vrata čije su šarke bile kod rta Hateras. Izbrojavši ta „njihanja“ struje i uskladivši ih sa paleomagnetskom vremenskom skalom, Radimen i Mekintajer su našli da je u okviru Brinesove epohe bilo osam klimatskih ciklusa. Kao arktički ledeni pokrivači i evroazijske šume, i okeanska struja je „marširala“ po 100.000-godišnjem taktu.

Početak sedamdesetih godina realnost i važnost 100.000-godišnjeg klimatskog ciklusa postali su očigledni. Međutim, šta je uslovljavalo takav ritam to još nije bilo jasno. Sama Milankovićeve teorija nije predviđala takav takt. Umesto toga, dominantna periodičnost na krivoj osunčavanja za letnju sezonu, na 65°N, bila je ciklus promene nagiba Zemljine ose rotacije – od 41.000 godina.

Bez obzira na to, Kenet Mesolela sa Univerziteta Braun i Georg Kukla u Čehoslovačkoj našli su način da modifikuju Milankovićevu teoriju tako da obuhvati i ciklus od 100.000 godina. Kukla i Mesolela su verovali da promena ekscentriciteta orbite indirektno uslovljava 100.000-godišnji ciklus i istakli su da se dominantan ciklus na krivama promene ekscentriciteta (oko 100.000 godina) dobro slaže sa glavnim pulsom klime. Obrazlažući svoj stav na način dosta sličan onome što je, stotinu godina ranije, učinio Džejs Krol, Kukla i Mesolela su ukazivali na to da je intenzitet osunčavanja u toku bilo kojeg godišnjeg doba najvećim delom uslovljen ciklusom precesije, čija je amplituda direktno proporcionalna ekscentricitetu (slika 35). Kada je orbita veoma izdužena, kontrast između godišnjih doba je na odgovarajući način oštar – zime su hladnije od prosečnih, a leta toplija. Prema tome, ako je temperatura tokom jednog određenog godišnjeg doba kritična za širenje ili povlačenje ledenih pokrivača, onda sledi da se 100.000-godišnji ciklus mora odražavati na klimu.

Ali, kod ove tačke dva teoretičara su se razila. Mesolela je, poput Milankovića, verovao da je leto kritično godišnje doba. Sa druge strane, Kukla je verovao da promena u količini zimskog osunčavanja na visokim geografskim širinama

prouzrokuje otpočinjanje ledenih doba. U jednom ubedljivom saopštenju objavljenom 1967. godine, Kukla je predskazao:

Kada se ovo pitanje razjasni i prihvati značaj zimskih godišnjih doba, proizvoljno vezivanje za leto verovatno će se smatrati najozbiljnijom greškom u novijem proučavanju kvartara.

Sa svoje strane, Breker i van Donk nisu želeli da se opredele u pogledu uzroka 100.000-godišnjeg ciklusa. Mada su se četiri najmlađa „okončanja“ ledenih doba poklapala sa prevojima na krivoj ekscentriciteta, to, ipak, nije važilo i za dva najstarija „okončanja“.

Do godine 1969. paleomagnetska vremenska skala dokazala je svoju vrednost kao osnova za proučavanje istorije ledenih doba i omogućila je da se kao dominantni puls klime odredi ciklus od 100.000 godina. Ali usvajanje ove vremenske skale do toga trenutka je malo doprinelo astronomskoj teoriji. Naprotiv, donekle je zbunjivalo to što teorija uopšte nije predviđala pojavu ciklusa sa periodom od 100.000 godina – sve dog Kukla i Mesolela nisu predložili modifikaciju Milankovićeve teorije kojom bi se i taj ciklus obuhvatio.

Najveći broj naučnika, dakle, mogao bi se uveriti u ispravnost astronomske teorije tek ako bi se moglo dokazati da su ciklusi koje je Milanković predvideo u stvari one male oscilacije koje se superponiraju na 100.000-godišnji ciklus. Ako bi izišlo da ti kraći ciklusi odgovaraju ciklusima promene nagiba Zemljine ose, rotacije, od 41.000 godina i precesije, od 22.000 godina, astronomska teorija ledenih doba bila bi potvrđena. Da bi se to dokazalo, međutim, moralo se ukazati na paralelizam između astronomske krive i dijagrama klime i to na dovoljno dugom zapisu da se mogu uočiti i ciklusi od 22.000 i 41.000 godina. Još jednom je pitanje provere astronomske teorije zavisilo od povećanja tačnosti geološke vremenske skale.

15. PEJSMEJKER LEDENIH DOBA

U proleće 1970. godine, Džejs Hejs je odlučio da je vreme za novi napad na problem ledenih doba. Uz vremensku skalu pleistocena, koja je na nekoliko tačaka tačno utvrđena zahvaljujući magnetskim reversijama, i uz paleontološke metode koje su se mogle primeniti radi praćenja tokova okeanskih struja i procenjivanja temperature morske vode, dubokomorska jezgra pretvorila su se u instrument za praćenje globalne klime. Prvi put geolozi su mogli da odrede kada i kolike su se promene događale u različitim delovima okeana tokom ledenih doba. Ako bi se u okviru Brinesove epohe mogla razraditi preciznija vremenska skala, onda bi bilo moguće izvršiti i konačnu proveru Milankovićeve teorije.

Ali petogodišnje iskustvo sa atlantskim i pacifičkim jezgrima uverilo je Hejsa da je rekonstrukcija istorije okeana prevelik zadatak za bilo kog pojedinačnog istraživača i za bilo koju pojedinačnu instituciju. Morala bi se oformiti ekipa paleontologa, mineraloga, geohemičara i geofizičara. Razgovarajući jednom prilikom o ovoj zamisli sa Džonom Imbrijem, za ručkom u blizini Univerziteta Kolumbija, Hejs je isticao da istraživači, u desetak laboratorija, primenjuju odgovarajuće tehnike; bilo je potrebno jedino stvoriti organizaciju koja bi povezivala te samostalne napore.

Željao da svoju tehniku „više faktora“ primeni pored foraminifera, i na neke druge vrste, Imbri je prihvatio da saraduje na ovome projektu. Ukazao je na to da Endrju Mekintajer i drugi već proučavaju foraminifere i kakolite

(sićušne biljke koje žive na površini vode) radi kartiranja delova Atlantika tokom ledenog doba. Ako je tehnika „više faktora“ uspešno mogla da se primenjuje pri proučavanju radiolarija i dijatomeja, bilo bi moguće proširiti rezultate do kojih je Mekintajer došao i na više geografske širine i tako iskartirati ceo okean. Imbri je izrazio sumnju da se takvi međuinstitutski naponi mogu uspešno izvesti. „Ne brini“, odgovorio je Hejs, „sve što nam je potrebno jeste novac za avionske karte i telefonske račune.“

Hejsov optimizam bio je opravdan. Prvoga maja 1971. godine, počeo je da se ostvaruje interdisciplinarni i međuinstitutski projekt koji je on zamislio. Projekt je nazvan CLIMAP, a prvi mu je cilj bio da se rekonstruiše istorija severnog Atlantika i severnog Pacifika tokom Brinesove epohe. Finansijska pomoć je dobijena od Nacionalne fondacije za nauku, u okviru programa IDOE (Internacionalna dekada okeanskih istraživanja). Program je proširen 1973. godine i postavljena su dva krupna cilja: da se iskartira površina cele Zemlje tokom poslednjeg ledenog doba i da se izmere oscilacije klime u toku pleistocena.

U početku, u programu IDOE bila su predstavljena tri instituta – Lamont-Doerti geološka opservatorija Univerziteta Kolumbija, Univerzitet Braun i Državni univerzitet Oregona. Izvršni komitet su sačinjavali Džejs Hejs, Džon Imbri, Endrju Mekintajer, Ted Mur (Ted C. Moor) i Nil Opdajk. Kasnije su se projektu pridružili Univerzitet države Mejn i Univerzitet Princeton, pa je i izvršni komitet proširen i uključio je Džordža Dentona (George Denton), Rosa Hita (Ross Heath), Vorena Prela (Warren Prell) i Vilijema Hadsona (William Hudson). Georg Kukla – sada član ekipe Lamont opservatorije – prihvatio se odgovornosti da obavi korelaciju pomorskih i kopnenih podataka o klimi. Nikolas Šekilton i Jan van Donk vršili su merenja odnosa izotopa kiseonika, a Robli Metjus se bavio analizom istorije nivoa mora. Centralna administrativna kancelarija postavljena je u Lamont opservatoriji, a zadatak da koordinira široko razgrnate aktivnosti poveren je Rozmari Klin (Rose-Marie Cline). Dcnije će gotovo stotinu istraživača biti uključeno u projekt, računajući i naučnike čiji je rad finansiran drugim sredstvima, a koji su živeli i radili u Danskoj, Francuskoj, Saveznoj Republici Nemačkoj, Velikoj Britaniji, Norveškoj, Švaj-

carskoj i Holandiji. Godine 1976. grupa je objavila globalnu kartu temperatura okeana i kartu rasporeda glečera na vrhuncu poslednjeg ledenog doba, pre 18.000 godina. Krajem 1977. godine, ukupni troškovi projekta iznosili su 6.630.500 dolara.

Ali u proleće 1971. godine najhitniji zadatak projekta CLIMAP bio je da se 700.000 godina duga Brinesova epoha podeli u stratigrafske katove, to jest slojeve koji se mogu razlikovati, a pri tom i korelisati, od jednog do drugog jezgra. Takva je stratigrafska shema bila neophodna da bi se mogle uočiti praznine i nepravilnosti u stanju klime, koje su se javljale zbog erozije, turbulentnih strujanja i drugih lokalnih poremećaja svedočanstava o klimi. Kada se takvi poremećaji uoče, moguće ih je izbeći ili uneti odgovarajuće ispravke. Erikson je 1968. godine gotovo rešio pomenuti stratigrafski problem izdelivši Brinesovu epohu na deset *menardii* zona, od Q do Z. Ali, kako je ta podela na zone bila zasnovana na prisustvu, odnosno odsustvu vrste koja se javlja na nižim geografskim širinama, Eriksonova shema se nije mogla pouzdano koristiti van ekvatorijalnog Atlantika ili Karipskog mora. CLIMAP-u je bila potrebna stratigrafska shema koja se mogla primeniti na svaki okean.

Razrada takve sheme bila je poverena grupi za preliminarno proučavanje jezgara, koju su činili Cunemasa Saito (Tsunemasa Saito), Lojd Berkl (Lloyd Burckle) i Alan Be (Allan Bé). Grupa se ponadala da će joj Emilijanijeva kriva odnosa izotopa kiseonika poslužiti za shemu koja joj je bila potrebna. Na žalost, kako najduže jezgro iz Karipskog mora, koje je Emilijani svojevremeno ispitao (P 6304-9), nije bilo dovoljno dugo da pređe granicu Brines-Metujama, svih njegovih sedamnaest etapa nalazilo se u hronološkim granicama Brinesove epohe.

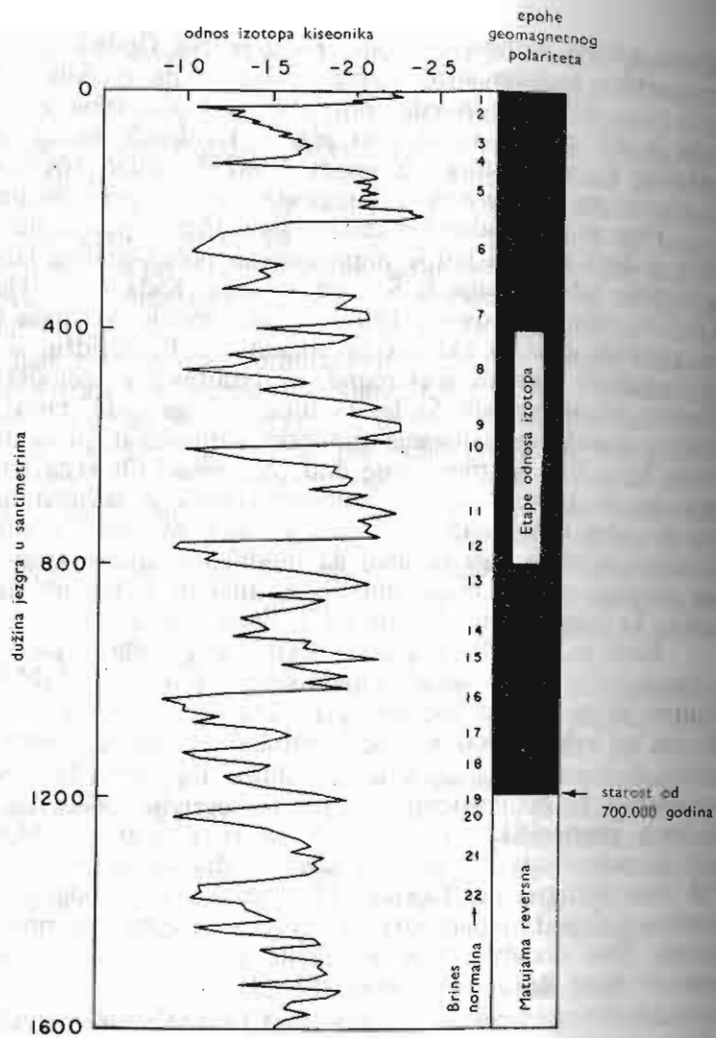
Saitu i njegovim kolegama bilo je potrebno jezgro veoma bogato foraminiferama i dovoljno dugo da uključi poslednju magnetsku reverziju. Decembra 1971. godine Saito je došao do jezgra (V28-238) koje je ranije te godine iz plitkih voda zapadnog ekvatorijalnog Pacifika izvukao Džon Led (John Ladd), jedan od naučnika iz Lamont opservatorije. Sastav grupe foraminifera koja se nalazila na dnu jezgra uverio je Saita da je jezgro odista dovoljno dugo i da će možda baš ono biti onaj dugo traženi „kamen mudrosti“ koji će omogućiti saradnicima na projektu CLIMAP da dešifruju istoriju

klime tokom Brinesove epohe. Kada je Nil Opdajk ispitao magnetska svojstva ovog jezgra, našao je da je Saito bio u pravu. Granica između Brinesove i Matujamine epohe bila je 12 metara ispod vrha jezgra. Uviđajući značaj tog otkrića, Hejs je uzorke iz jezgra V28-238 poslao Nikolasu Šekltonu na Univerzitet u Kembridž, na izotopsku analizu.

Hejs se sa mladim britanskim geofizičarem susreo nekoliko godina ranije i bio je impresioniran poboljšanjima laboratorijske tehnike koja je Šeklton ostvario. Kada je ser Hari Godvin (Harry Godwin), 1961. godine, pozvao Šekltona da se pridruži osoblju Odseka za botaniku u Kembridžu, ovaj je instalirao maseni spektroskop za proučavanje izotopskog sastava pleistocenskih fosila. U toku svojega rada, rano se uverio u važnost ispitivanja izotopske varijacije u ljušturama vrsta koje žive na morskome dnu. Ali, ostaci tih vrsta nalazili su se u tako niskim koncentracijama u sedimentima da je bilo teško naći dovoljno uzoraka za tačne analize. Šeklton je zbog toga odlučio da modifikuje uređaj, tako da se precizni podaci mogu dobiti i sa malom količinom uzoraka. Ta modifikacija koštala ga je deset godina.

Kada je, juna 1972. godine Šeklton doputovao u Lamont opservatoriju na sastanak saradnika na projektu CLIMAP, doneo je sa sobom dve izotopske krive za jezgro V28-238. Jedna od krivih odražavala je izotopske varijacije u planktonskim ljušturama nastalim u vodi blizu površine. Ta kriva, spuštajući se do najskorije magnetske reverzije, obećavala je rešenja stratigrafskog problema u okviru projekta CLIMAP, jer je pokazivala da se Brinesova epoha može podeliti u 19 izotopskih etapa. Gornjih 17 etapa tačno je odgovaralo onima koje je Emilijani utvrdio u dugome jezgru iz Karipskog mora. Dve dodatne etape produžile su tako celu sekvencu sve do baze Brinesove epohe (slika 39).

Međutim, nagovešteno rešenje CLIMAP-ovog stratigrafskog problema moglo bi se ostvariti tek ako bi se moglo pokazati da su izotopske fluktuacije bile istovremene na svim mestima. Šekltonove kolege bile su stoga oduševljene otkrićem da je njegova druga kriva, koja je odražavala promene izotopskog sastava u foraminiferama koje žive na morskome dnu, potpuno identična krivoj dobijenoj proučavanjem planktona. Kako je Šeklton istakao, voda na okeanskome dnu, koja je uvek blizu tačke mržnjenja, nije ni mogla biti mnogo



Slika broj 39.

„Kamen mudrosti“ klime mladog pleistocena. Dijagram načinjen na osnovu izotopskih i magnetskih merenja koja su, dubokomorskim pacifičkim jezgrom V28-238, izveli Šeklton i Opdajk, 1972. godine. Ovim istraživanjima je dokazano da se izotopska faza 19. javlja u isto vreme kada i granica između Brinesove i Matujamine epohe, obezbeđena je prva pouzdana hronologija klime mladog pleistocena (Prema Šekltonu i Opdajku, 1973).

hladnija tokom nekog ledenog doba. Prema tome, kao što su on i Imbri sumnjali još od svojeg susreta u Parizu, tri godine ranije, obe krive su odražavale promene sadržaja lakih izotopa u okeanskoj vodi, a ne promene temperature vode. A pošto morske struje veoma brzo mešaju vode okeana, bilo kakva hemijska promena u jednome delu okeana odražiće se posvuda u toku nekoliko hiljada godina. Prema tome, Emilijanijeva kriva je bila zapravo hemijska poruka sa davnašnjih ledenih pokrivača. Kada bi se glečeri širili, laki atomi kiseonika bi bili izvučeni iz mora i zarobljeni u ledenim pokrivačima, menjajući na taj način izotopski odnos kiseonika u morskoj vodi; kada bi se glečeri topili, zarobljeni izotopi oticali bi nazad u okeane, vraćajući time vodi njen prvobitni sastav. Uticaj lokalnih promena temperature bio je isuviše mali da bi se mogao i utvrditi.

Šekltonovi i Opdajkovi rezultati ne samo što su rešili stratigrafski problem već su saradnicima na projektu CLIMAP dali i mnogo tačniju hronologiju događaja u toku pleistocena. Pošto je sada Šekltonova sekvenca od 19 etapa bila čvrsto utvrđena na oba kraja (na svojem vrhu, utvrđivanjem starosti pomoću metode radioaktivnog ugljenika, a na dnu pomoću magnetske reversije), bilo je moguće odrediti starost svake od 19 etapa interpolacijom unutar 700.000-godišnje Brinesove epohe.

Kada je vremenska skala krive izotopskog sastava konačno učvršćena, Šeklton je odlučio da ispita da li manje fluktuacije na toj krivoj odgovaraju onima koje je predvideo Milanković. Ako je astronomska teorija klime tačna, onda bi te fluktuacije odražavale varijacije u nagibu Zemljine ose rotacije, odnosno precesije, i javljale bi se kao ciklusi od 41.000 i 22.000 godina koji se superponiraju na glavni 100.000-godišnji puls. Ali, 100.000-godišnji ciklus dominirao je tako snažno da je Šekltonu bilo teško da odredi o kojim je to modulirajućim frekvencijama reč.

Šest godina ranije, 1966, taj problem je primenom statističkih metoda, rešio holandski naučnik E. P. J. van den Hovel (E.P.J. van den Heuvel). Koristeći se tehnikom koja se naziva spektralna analiza, on je pokazao da Emilijanijeva kriva izotopskog sastava sadrži dve komponente različitih frekvencija: dominantni ciklus sa periodom od 40.000 godina i manje izraženi, 13.000-godišnji ciklus. Postupak je

bio sličan onome kojim se koristi muzičar razlažući muzički akord na pojedinačne tonove. Kada je izotopski „akord“ razložio na veliki broj „tonova“, od kojih je svaki predstavljao oscilaciju određene frekvencije, Hovel je zabeležio relativni značaj svake frekvencije na grafikonu ili spektru. Na njemu se ciklus sa periodom od 40.000 godina pokazao kao izraženi ekstrem što je, izgleda, ukazivalo da je taj ciklus dominantni puls klime.

Diskutujući sa Šekltonom o ovom pristupu, Imbri je istakao da, iako je spektralni metod idealan za proveru Milankovićeve teorije, praktični rezultati do kojih je Hovel došao mora da su bili pod uticajem korišćenja sada već odbačene hronologije. Kada bi se izotopske krive podvrgle ponovnoj analizi, ovoga puta uz primenu nove CLIMAP-ove vremenske skale, trebalo bi da se 100.000-godišnji ciklus pojavi kao dominantan. Imbri i Šeklton nisu pouzdano znali, šta će se javiti kao Hovelovi kraći ciklusi, ali su odlučili da to utvrde spektralnom analizom krive izotopskog sastava za jezgro V28-238.

Pošto je već primenjivao metode spektralne analize, Imbri je imao neophodne kompjuterske programe na Univerzitetu Braun i dva istraživača su tamo izvela svoj prvi statistički eksperiment. Njihovi rezultati donekle su išli u prilog Milankovićevoj teoriji. Uz 100.000-godišnji ciklus koji se, kao što se i očekivalo, javio kao dominantni ekstrem na izračunatom spektru, uočili su još dva manja ekstrema koji su ukazivali na postojanje klimatskih ciklusa sa periodama od oko 40.000, odnosno 20.000 godina. Iako su amplitude tih ciklusa bile premale da bi se slučajnost sasvim isključila, visok stepen podudarnosti dveju izmerenih frekvencija sa predviđenim frekvencijama nagiba Zemljine ose rotacije i precesije bio je, u najmanju ruku, sugestivan.

Sugestivan, ali ne i ubedljiv. Zbog čega je tako teško pronaći koje su to više frekvencije na krivama klime? Pišući o ovome pitanju u jesen 1972. godine, Hejs je mislio da je otkrio razlog: jezgra koja su do tada podvrgnuta spektralnoj analizi isuviše su se sporo taložila. Smatrao je da će, ako je brzina taloženja tako mala da se u toku jednoga stoleća nataloži svega milimetar-dva, kao u slučaju većine pacifičkih i karipskih jezgara, aktivnost životinja koje riju po morskome dnu zamagliti svedočanstva o ciklusima sa višom frekvencijom.

Da bi se valjano obavila provera Milankovićeve teorije, dakte, bilo bi neophodno izvršiti analizu neporemećenog jezgra, čija je brzina taloženja bila veća od dva milimetra u toku stotine godina.

Hejs i njegove kolege saradnici na projektu CLIMAP već su ispitivali sva raspoloživa jezgra kao deo napora da se sačini karta okeana za vreme ledenog doba. Posle izvesnog razmišljanja Hejs je odlučio da otpočne sa traganjem za jezgrom određenog tipa – jezgrom iz sloja čija je brzina taloženja čestica bila visoka, koje je uzeto iz oblasti visoke geografske širine na južnoj polulopti i koje sadrži ljuštore foraminifera i radiolarija. Hejs je smatrao da će takvo jezgro pružiti više informacija nego jezgro sa severne polulopte. Varijacije u izotopskom sastavu ljuštura foraminifera obezbeđić svedočanstvo o fluktuacijama ledenih pokrivača na severnoj polulopti, jer su se tu zbila gotovo sva širenja i povlačenja leda koja su uticala na promenu izotopskog sastava vode okeana. Istovremeno, promene u populaciji radiolarija mogle bi se podvrgnuti analizi tehnikom „više faktora“, što bi omogućilo da se sazna kakva je bila istorija temperature vode na mestu sa kojeg je jezgro uzeto. Hejs se nadao da će upoređivanjem ova dva signala – izotopskog i dijagrama promene sadržaja radiolarija – dobiti odgovor i na pitanje koje je prvi postavio Džejms Krol: da li se promene klime na južnoj polulopti podudaraju sa promenama na severnoj polulopti?

U januaru 1973. godine, Hejs je u kolekciji Lamont opservatorije pronašao jezgro za koje se činilo da zadovoljava njegove zahteve. jezgro RC11-120. izvukao je iz južnog Indijskog okeana, šest godina ranije, Džofri Dikson (Geoffrey Dickson), sa broda „Robert Konrad“. Pošto je izbrojao radiolarije i Šekltonu poslao uzorke radi izotopskih analiza, Hejs je sa zadovoljstvom utvrdio da je brzina taloženja bila dovoljna za njegove potrebe: tri milimetra u toku stotine godina. Kada su podaci stavljani na kartu, odgovor na Krolovo pitanje bio je odmah vidljiv: promene klime na severnoj polulopti zbile su se, u suštini, istovremeno kao i promene na južnoj. Premda je ovaj rezultat sam po sebi bio dovoljno značajan da bi opravdao njihove napore, Hejs je bio razočaran kada je video da jezgro seže samo 300.000 godina u prošlost, do devete etape na Emilijanijevoj izotopskoj

shemi. Da bi se dobilo svedočanstvo pogodno za spektralnu analizu, bilo je potrebno jezgro koje u prošlost seže najmanje 400.000 godina.

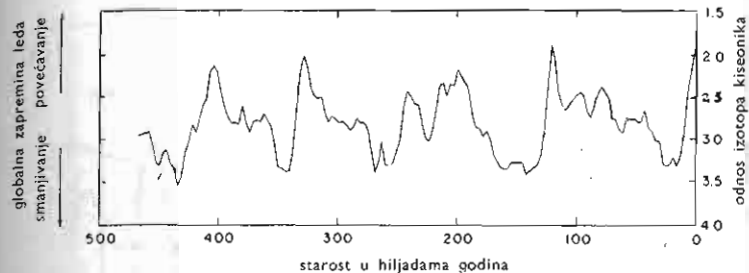
Kada je postalo jasno da iglu koju traži neće naći u plastu Lamont opservatorije, Hejs je odlučio da je traži drugde. Jula meseca otišao je u Talahasu, na Državni univerzitet u Floridi, gde se čuvala obimna kolekcija antarktičkih jezgara. Tamo je nastavio da traga za jezgrima koja su uzeta u blizini mesta sa kojeg je uzeto i jezgro RC11-120. Uskoro je naišao na nekoliko jezgara koja je, 1971. godine, sakupio Norman Votkins (Norman Watkins) u toku ekspedicije broda „Eltanin“. Uz pomoć dva diplomca, Hejs je počeo da otvara Votkinskova jezgra. Kasnije će se ovako sećati toga događaja:

Jezgra su se čuvala u hladnom skladištu pa smo svi drhtali od zime u svojim bundama. Ali, kada smo otvorili jezgro E49-18, prestali smo da drhtimo. Znao sam odmah da smo naišli na nešto zanimljivo, jer su se obojene zone idealno slagale sa oscilacijama na Šekltonovoj krivoj izotopa kiseonika za jezgro V23-238.

Odbrojavajući zone, Hejs je utvrdio da jezgro doseže do trinaeste etape i, dakle, do starosti od 450.000 godina. Konačno je pronašao iglu koju je tražio.

Pokazalo se da je Hejsova stratigrafska analiza, izvedena kao iz rukava, tačna. Jezgro E49-18 zaista je dosezalo do trinaeste etape. Na žalost, u toku uzimanja jezgra, gornje tri izotopske etape bile su izgubljene, ali uz pomoć stratigrafije na osnovu izotopskog sastava kakvom se sada raspolagalo, mogle su se dodati sa susednog jezgra, RC11-120. Ova dva jezgra, uzeta zajedno sadržala su podrobno i neporemećeno svedočanstvo o klimi tokom poslednjih 450.000 godina, a brzina taloženja bila je tako velika da su mogli biti zabeleženi i ciklusi koji su trajali čak samo 10.000 godina.

Kada su podaci dobijeni ispitivanjem radiolarija i izotopskog sastava prikazani grafički, Hejs i Šeklton su bili oduševljeni: izotopske krive iz Indijskog okeana poklapale su se sa opštim oblikom koji je Emilijani utvrdio za etape od 1. do 13. u mnogim drugim jezgrima, ali su se na dijagramima (slika 40) jasno uočavale i frekvencije više od 100.000-godišnjeg ciklusa, kako je to Hejs i očekivao. Shvatajući da

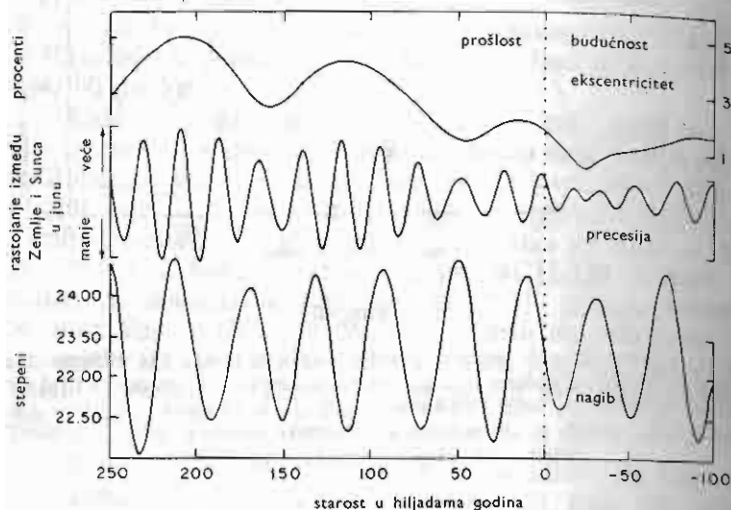


Slika broj 40.

Klima u proteklih pola miliona godina. Grafikon izotopskih merenja dva jezgra iz Indijskog okeana koja su obavili saradnici na projektu CLIMAP. Ovakva istraživanja, koja odlikavaju varijacije u ukupnoj zapremini globalnog leda, dovela su do potvrde astronomske teorije o ledenim dobima. (Prema Dž. Hejsu i saradnicima, 1976).

je prilika za konačnu proveru Milankovićeve teorije nadohvat ruke, zamolio je Imbrija da izvrši spektralnu analizu.

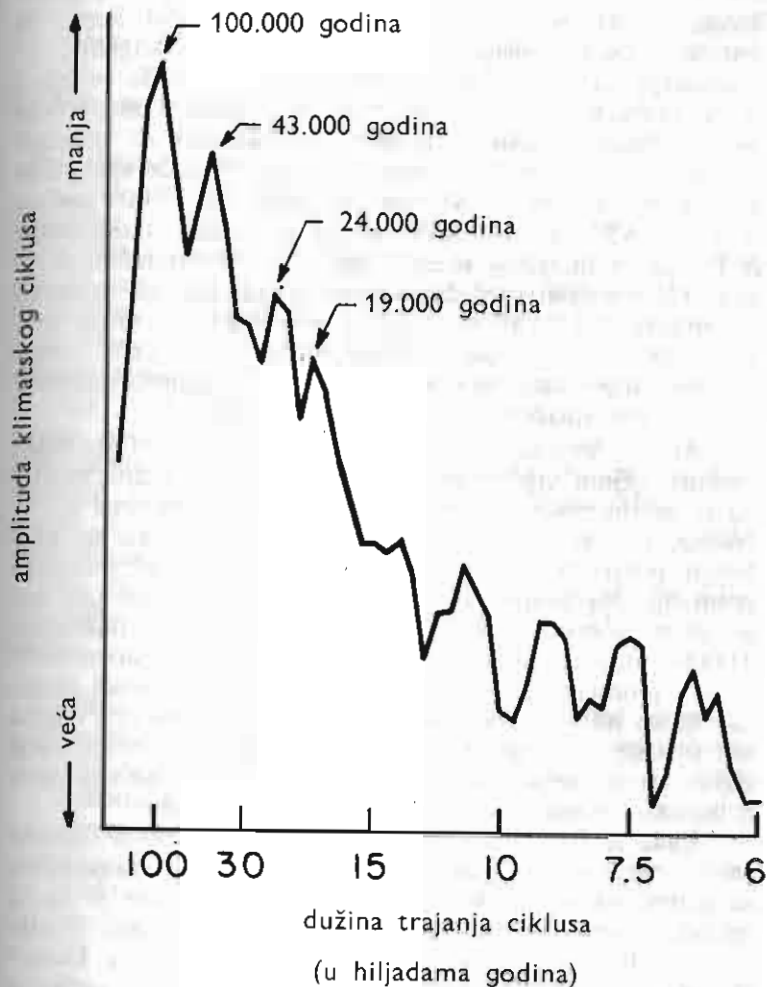
Prvi zadatak je bio da se utvrde tačne frekvencije varijacija nagiba Zemljine ose rotacije i precesije tokom proteklih 400.000 godina (slika 41). Ove frekvencije, pre negoli frekvencija ciklusa promene ekscentriciteta, bile bi odlučujuće za predstojeću proveru, jer je Milankovićeva teorija samo te frekvencije nedvosmisleno predviđala. Imbri je znao da je Anandu Vernekar (Anandu D. Vernekar), sa Univerziteta u Merilendu nedavno bio ponovo proračunao astronomske krive, pa je od njega pribavio kopije tih proračuna. Kada je statistički obradio Vernekarove informacije, Imbri je našao, kao što je i očekivao, da kriva promene nagiba ose rotacije pokazuje samo jedan ciklus od 41.000 godina, ali da spektar krive precesije sadrži ne jedan, već dva izrazita ciklusa: glavni ciklus, sa periodom od 23.000 godina, i sekundarni ciklus, sa periodom od 19.000 godina. Pomislivši da su njegovi proračuni pogrešni, Imbri je svoje rezultate poslao belgijskom astronomu Andreu Beržeu (André Berger). Pošto je proverio trigonometrijske obrasce koji su korišćeni pri računanju precesije, Berže je saopštio da dvostruki ciklus precesije koji je Imbri otkrio nije statistička greška: varijacije u rastojanju između Zemlje i Sunca odista se javljaju u ciklusima od 23.000 i 19.000 godina.



Slika broj 41.

Promene ekscentriciteta, nagiba Zemljine ose rotacije i precesije. Kretanja planeta izazivaju promene u gravitacionom polju, što dovodi do promena u geometriji Zemljine orbite. Ove se promene mogu izračunati za protekla i buduća vremena. (Prema Bergeru).

Beržeova potvrda pokrenula je sve tačkove mašinerije. Prema proširenoj verziji astronomske teorije, kako su je razradili Mesolela i Kukla, trebalo bi da se oscilacije klime javljaju kao četiri posebna ciklusa: 100.000-godišnji, koji odgovara varijacijama ekscentriciteta Zemljine orbite; 41.000-godišnji, koji odgovara varijacijama nagiba Zemljine ose rotacije i 23.000-godišnji, odnosno 19.000-godišnji ciklusi, koji odgovaraju varijacijama precesije. Dugo očekivanu proveru Imbri je izveo u leto 1974. godine. Spektralna analiza je pokazala, kako se i očekivalo, da je dominantni puls klime 100.000-godišnji ciklus, koji se i na izotopskom spektru i na spektru radiolarija javio kao upadljivi ekstrem. Ali su se i tri druga ekstrema, manja, ali ipak uočljiva, takođe javila na spektrima (slika 42). Na izotopskom spektru ti ciklusi bili su od 43.000, 24.000 i 19.000 godina. Na spektru radiolarija oni su imali periode od 42.000, 23.000 i 20.000 godina.



Slika broj 42.

Spektar klimatskih varijacija u proteklih pola miliona godina. Ovaj grafikon, koji prikazuje relativni značaj različitih ciklusa klime na osnovu izotopskih svedočanstava iz dva jezgra iz Indijskog okeana, potvrdio je mnoga predviđanja Milankovićeve teorije. (Prema Dž. Hejsu i saradnicima, 1976).

Ti rezultati ispunili su sve nade Imbrija i njegovih kolega. Svaki od ciklusa utvrđenih ispitivanjem jezgra iz Indijskog okeana, slagao se sa predviđenim ciklusima, uz toleranciju od $\pm 5\%$. Nije bilo nimalo verovatno da se takva podudarnost javi slučajno. Nedugo zatim, Niklas Pizias (Nicklas G. Pizias) pružio je dodatne dokaze koji su podržali astronomsku teoriju. Primenom savršenije metode spektralne analize otkrio je statistički značajan ciklus od 23.000 godina u jezgru V23-238. Utvrdivši da se izotopska svedočanstva iz Pacifika i Indijskog okeana slažu sa odgovarajućim delovima već poznatih svedočanstava iz drugih okeana, saradnici na projektu CLIMAP su smatrali da mogu s pravom zaključiti da je sled ledenih doba mlađeg pleistocena odista bio izazvan promenama u Zemljinom ekscentricitetu, precesiji i nagibu ose rotacije.

Ako je astronomska teorija tačna, trebalo bi da bude moguće učiniti više nego što je pokazala spektralna analiza da se astronomske frekvencije javljaju na dijagramima klime. Naime, trebalo bi da bude moguće otkriti koliko su brzo ledeni pokrivači reagovali na svaku pojedinu astronomsku promenu. Na primer, ako su ledeni pokrivači odmah reagovali na promenu nagiba ose rotacije, onda bi se fluktuacije 41.000-godišnjeg klimatskog ciklusa događale istovremeno kada i promene nagiba. Ali ako su ledeni pokrivači reagovali sporo na varijacije u osunčavanju usled promena nagiba ose rotacije, što izgleda verovatnije, onda bi 41.000-godišnji ciklus klime trebalo da nastupa sa pravilnim zakašnjenjem u odnosu na zakonitost promene Zemljine orbite.

Kada je Imbri saznao da se statistička metoda filterske analize može primeniti za pojedinačnu analizu dijagrama klime sa periodima od 41.000 i 23.000 godina, odlučio je da tu metodu primeni na dva jezgra iz Indijskog okeana. Rezultat je nedvosmisleno pokazao da 41.000 - godišnji klimatski ciklus zaostaje oko 8.000 godina u odnosu na varijacije nagiba Zemljine ose rotacije. Isto tako - barem što se tiče glavnog dela proučavanog materijala - 23.000-godišnji ciklus klime sistematski zaostaje u odnosu na dijagram precesije. Uza sve to, zaostajanja su bila dovoljno pravilna da potvrde zaključak da promene nagiba i precesije određuju ritam promene klime.

Konačno uvereni da astronomske varijacije izazivaju glavne promene klime i da 41.000 - godišnji, odnosno 23.000-godišnji ciklusi klime sistematski slede promene nagiba Zemljine ose rotacije i precesije, Hejs, Imbri i Šeklton su svoje analize objavili 10. decembra 1976. godine u časopisu *Sajens*, u članku pod naslovom *Varijacije Zemljine orbite: pejsmejker ledenih doba*.

Celo stoleće nakon što je Krol objavio svoju teoriju, a pedeset godina nakon što je Milanković poslao svoje krive osunčavanja Kepenu i Vegeneru, dva jezgra iz Indijskog okeana potvrdila su astronomsku teoriju o ledenim dobima. Geolozi su, najzad, imali jasne dokaze da je kretanje Zemlje duž njene orbite oko Sunca izazivalo ledena doba mlađeg pleistocena. Kako je taj mehanizam tačno delovao i zašto je 100.000-godišnji ciklus promene ekscentriciteta orbite tako snažno uticao na klimu u toku proteklih pola miliona godina - ostalo je nepoznato. Ali, za trenutak, dovoljno je bilo što se saznalo da je Milutin Milanković, putnik kroz vasionu i vekove, pokazao put ka rešenju tajne ledenih doba.

U martu 1941. godine, osvrćući se unazad, na život posvećen traženju uzroka ledenim dobima, Milanković je rekao:

Uzroci promena osunčavanja nastaju usled promene međusobnih odnosa planeta i njih ne mogu jednostavno opisati prirodne, deskriptivne nauke. Zadatak je egzaktnih prirodnih nauka da, polazeći od neospornih činjenica i neminovnih zakona nebeske mehanike, tu šemu opišu egzaktnim jezikom matematike. Ostaje, međutim, deskriptivnim prirodnim naukama da utvrde podudarnost između šeme i geološkog saznanja.

16. PREDSTOJEĆE LEDENO DOBA

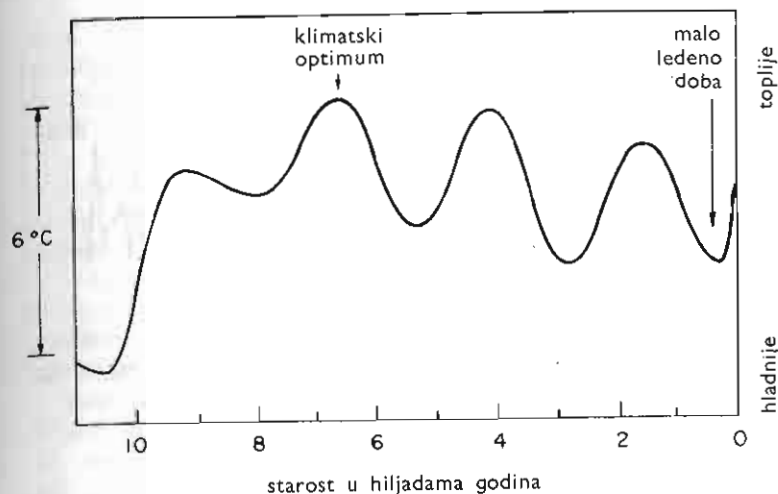
Šta nas čeka u budućnosti? Da li činjenica što je u prošlosti mnogo puta došlo do lednog doba znači da nam predstoji još jedno? – Najveći broj naučnika koji se bave ovim pitanjem slaže se da će svet iskusiti još jedno ledeno doba, izuzev ako ne dođe do neke bitne i nepredviđene promene u sistemu klime. Ali kada? U tom pogledu geolozi nisu složni. Neki predviđaju da će sadašnji interglacijalni period trajati još 50.000 godina; drugi, nalazeći da se Zemlja izvesno vreme hladi, veruju da je ledeno doba već na putu – i da će, prema jednom ekstremnom stanovištu, nastupiti kroz nekoliko stotina godina.

Ovaj sukob mišljenja je donekle samo stvar reči. Kako se i čime određuje početak ledenog doba? Koliko ledeni pokrivač treba da bude prostran i za koliko stepeni mora opasti globalna temperatura da bi se svetu „zvanično“ objavilo da se nalazi u ledenom dobu? Geografske činjenice komplikuju pitanje definicije. Najveći deo Grenlanda, recimo, upravo se nalazi u ledenom dobu. Ako se ledeni pokrivač Grenlanda proširi samo za jedan procenat i time budu uništene kuće uz obalu, porodice koje u njima žive mogle bi s pravom da zaključe da ledeno doba počinje. Ali istovremeno škotski ribar, naviknut na rdave vremenske prilike čak i kada je vreme najbolje, a udaljen od ledenih pokrivača koji se lagano šire na Grenlandu i u Skandinaviji, možda i neće biti svestan takvog širenja. Tek kasnije, kada bi se na vrhu Ben Nevisa pojavila ledena kapa

i kada bi se jata haringa odselila na jug, škotski ribar bi verovatno i procenio da je došao kraj interglacijalnog periodu. A još hiljade godina bi protekle dok bi se oranice srednje Evrope pretvorile u polarne pustinje, a vlažne šume Brazila u travnatu zemlju.

Problem definicije ledenog doba rešen je, donekle arbitrarno, na osnovu pleistocenskih naslaga u srednjoj Evropi. Ovde se minula interglacijalna doba lako vremenski određuju: naglo počinju, pojavom širokolisnog drveća i šuma, a završavaju se kada listopadne šume nestanu i ustupe mesto travnatoj zemlji. Konvencionalno, dakle, pleistocensko interglacijalno doba definiše se kao bilo koji vremenski period tokom kojeg su hrast i drugo listopadno drveće rasprostranjeni u Evropi. Povlačenje hrastovih šuma ukazuje na početak ledenog doba.

Prema takvoj definiciji, sadašnje interglacijalno doba – epoha holocena – počelo je pre nekih 10.000 godina. Problemu predviđanja kada će se ono završiti može se prići na više različitih načina, od kojih su neki više, a neki manje zadovoljavajući. Jedan od pristupa statistički tretira geološke nalaze o klimi poznatim vremenom trajanja prethodnih interglacijalnih perioda i koristi se kao osnova za procenjivanje koliko dugo još može potrajati ovo sadašnje – na način istovetan onome koji primenjuju osiguravajuća društva pri računanju verovatnog životnog veka svojih osiguranika. Analiza dubokomorskih jezgara (slika 40) pokazuje da nijedno interglacijalno doba nije trajalo duže od oko 12.000 godina, a da je najveći broj trajao oko 10.000 godina. U statističkom smislu, dakle, sadašnje interglacijalno doba je već na izmaku i tetura se pod teretom svojih podmaklih 10.000 godina. Moglo bi se očekivati da se ono okonča u toku naredne dve hiljade godina. Ali, samo su osiguravajuća društva zadovoljna statističkom računom ove vrste. Prihvatljivije bi bilo kraj sadašnjem interglacijalnom periodu predviđati na osnovu projekcije tekućih klimatskih tendencija u budućnost. Jedna takva tendencija je dugoročno zahlađivanje, koje je počelo pre 7.000 godina, u vreme takozvanog postglacijalnog klimatskog optimuma, kada su temperature bile više, a padavine obilnije nego danas. Otada, prosečna temperatura postepeno opada (slika 43). Kasnije će biti reči o kratkim epizodama otoplia-

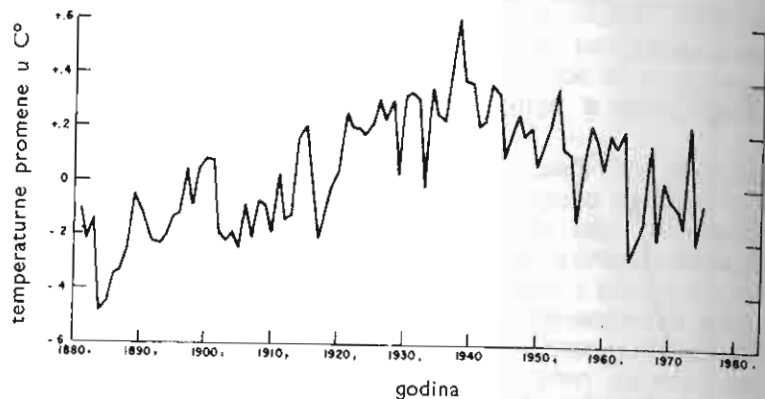


Slika broj 43.

Klima u proteklih 10.000 godina. Ovaj grafikon prikazuje opšte tendencije globalne temperature, do kojih se došlo na osnovu geoloških svedočanstava iz planinskih glečera i fosila biljaka. U toku klimatskog optimuma, temperature su bile oko 2°C više nego danas. Pre oko 300 godina, tokom klimatske epizode poznate kao *malo ledeno doba*, temperature su bile niže nego danas.

vanja i zahlađivanja, poznatim kao ciklusi *malih ledenih doba* koje se umeću u ovu opštu tendenciju hlađenja. Ukupan rezultat je smanjenje prosečne globalne temperature za 2°C. Najjasnija indikacija ove pojave je promena geografskog rasprostranjenja biljaka i životinja. Na primer, nekih vrsta hrasta i jestivih mekušaca više uopšte nema u Skandinaviji, a pre 7.000 godina tamo ih je bilo u izobilju. Na drugim mestima u Evropi vegetacioni pojasevi su se ili ravnomerno pomerali prema jugu, ili se spuštali na niže nadmorske visine. Ako se takav tok razvoja nastavi, globalne temperature će dostići nivo ledenog doba (6°C niže nego danas) u roku od oko 18.000 godina.

Teško je utvrditi u kojoj meri zabeleženi pad temperature od 2°C ima uticaja na kulturu, ali nema sumnje da smanjenje padavina – koje najčešće prati proces zahla-



Slika broj 44.

Klima u proteklih 100 godina. Grafikon prikazuje promene prosečnih godišnjih temperatura na severnoj polulopti. Od godine 1939. temperature su opale za oko $0,6^{\circ}\text{C}$. (prema Mičelu, 1977).

divanja – utiče na oblike poljoprivredne proizvodnje, a time i na raspored ljudskih naseobina. Nemački geolog Mihael Zarnthajn (Michael Sarnthein), koji je širom sveta izučavao svedočanstva o ledenim dobima, došao je do zaključka da se ukupna površina pod peščanim pustinjama značajno povećala u odnosu na stanje u vreme klimatskog optimuma. Na primer, oblast severne Afrike, koja je danas suva i neplodna, u vreme klimatskog optimuma imala je dovoljno kiše, te je tako bio omogućen razvoj velikih civilizacija.

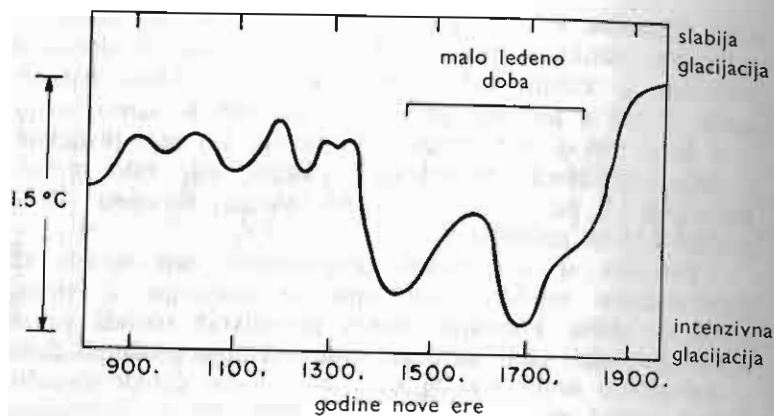
Tendenciju zahlađenja mnogo kraćeg trajanja u poređenju sa ovom od 7.000 godina prvi je uočio Marej Mičel (J. Murray Mitchell, Jr.), 1963. godine. Koristeći se podacima o temperaturama, merenim na svetskoj mreži meteoroloških stanica, Mičel je izračunao prosečne temperature i pokazao je (slika 44) da od 1940. godine globalna klima postaje sve hladnija. Utvrdio je da je u toku proteklih dvadeset godina prosečna temperatura na severnoj polulopti opala za oko $0,3^{\circ}\text{C}$. Ako se takva tendencija nastavi, prosečna temperatura će na mnogim mestima već u toku narednih 700 godina dostići nivo koji odgovara ledenom dobu. Znatno pre

toga promene količine padavina će bez sumnje uticati na postojeću strukturu proizvodnje hrane i izazvati drastične promene u kulturi. Međutim, kako je to Mičel istakao, kada je reč o tendencijama klime sigurno je samo jedno – a to je da se one mogu i promeniti, što se i događalo I tako, sredinom sedamdesetih godina, nije bilo nimalo jasno da li se tendencija zahlađivanja, započeta 1940 godine i dalje nastavlja.

Omaške u klimatskim prognozama zasnovanim na kratkoročnim tendencijama lepo se uočavaju u smeni godišnjih doba. Pripadnici nekih primitivnih naroda su se – ne shvatajući cikličnu prirodu smenjivanja godišnjih doba – uzbuđivali svake godine kada bi otpočeo četvoromesečni hladni period, pa bi paljenjem obrednih vatri pozivali Sunce da nastavi obavljanje svoje dužnosti. Ovaj primer upućuje na to da ono što neki posmatrač uočava kao trend može biti samo jedna faza nekog ciklusa. Prognoze zasnovane na uočenom trendu prema tome, vrede samo ako se shvate ciklusi u okviru kojih se odvijaju. A kako još niko nije uspeo da pruži ubedljivo objašnjenje trenda koji je Mičel uočio, oni proroci „smaka sveta“ koji se služe sličnim informacijama predskazujući bliski kraj sadašnjeg interglacijalnog perioda, izlažu se opasnosti da ponove grešku onih koji su, pre mnogo vekova, palili obredne vatre.

Astronomska teorija ledenih doba pruža osnovu za predviđanje budućeg razvoja klime, koje bi izbeglo nesigurnosti svojstvene prognozama zasnovanim na uočenim trendovima. Kao što se vidi na slici 41, pitanje takvog predviđanja složeno je usled činjenice što promena ekscentriciteta i nagiba Zemljine ose rotacije sada deluje u smeru zahlađivanja, dok ciklus precesije deluje u smeru zagrevanja. Kako će se ovi uticaji stopiti? Da bi odgovorili na ovo pitanje, Džon Imbri i Džon Z. Imbri razradili su jednu matematičku formulu za procenjivanje zapremine globalnog leda neposredno na osnovu astronomskih krivih Andre Beržea. Kada se njihov obrazac primeni, rezultat ukazuje na to da će se tendencija zahlađivanja, koja je započela pre 7.000 godina, nastaviti i da će glečeri dostići svoje maksimalne dimenzije kroz 23.000 godina.

Međutim, dugoročna tendencija zahlađivanja predviđena astronomskom teorijom biće bez sumnje modifikovana



Slika broj 45.

Klima u proteklih 1.000 godina. Grafikon predstavlja procenu zimskih uslova u Evropi zasnovanu na rukopisnim svedočanstvima. Tokom *malog ledenog doba* (od 1450. do 1850. godine nove ere) planinski glečeri svuda u svetu proširili su se znatno van svojih današnjih granica. (Prema H. H. Lambu, 1969).

oscilacijama klime mnogo kraćeg trajanja nego što je trajanje ciklusa precesije. Do takvih je oscilacija već više puta došlo u toku epohe holocena i svakako treba očekivati da će se slične pojave ponoviti. Od svih takvih malih oscilacija najpoznatije je *malo ledeno doba*, koje je trajalo od oko 1450. do 1850. godine nove ere (slika 45). Tokom tih 400 godina dolinski glečeri Alpa, Aljaske, Novog Zelanda i švedske Laplandije proširili su se bili znatno van svojih sadašnjih granica, a sneg se mesecima zadržavao na visokim planinama Etiopije, gde se danas za sneg i ne zna (slika 46).

U to vreme globalna temperatura je bila za 1°C niža nego danas. Prema Hjubertu Lembu (Hubert H. Lamb), koji je kopao po starim rukopisima i brodskim dnevnicima ne bi li sastavio priču o *malom ledenom dobu*, slika koja prikazuje kako se Hans Brinker tocilja na klizalj-kama po zaleđenim holandskim kanalima veran je odraz



Slika broj 46.

Glečer Aržantijer danas i 1850. godine. Slika gore: na fotografiji snimljenoj 1966. godine, glečer se vidi kao ledeni jezičak u gornjem delu doline. Slika dole: na bakrorezu načinjenom oko 1850. godine vidi se dokle se glečer prostirao u završnoj fazi *malog ledenog doba* u francuskim Alpima. (Prema L. Ladiriju, 1971).

oštrih zima koje su bile svojstvene evropskoj klimi tokom *malog ledenog doba*.

U međuvremenu, kolonisti u Novoj Engleskoj bili su izloženi zimama mnogo hladnijim nego što su danas. Prema Dejvidu Ludlumu (David M. Ludlum), koji je izučavao klimu u vreme kolonizacije, legendarnu zimu tokom koje su Vašingtonove trupe bivakovale u dolini Fordž, savremenici su smatrali za „vrlo blagu“. U stvari, da se Vašington ulogorio u dolini Fordž dve godine kasnije, u toku zime 1779/80. godine, njegove trupe bi bile izložene kudikamo većim patnjama. Čak i prema merilima *malog ledenog doba*, ta zima bila je „najljuća i najteža zima za koju iko živi zna“.

Nešto severnije, njujorško je pristanište bilo čvrsto za-
leđeno, a Ludlum piše:

Iako nije bilo neobično da se u stara vremena i reka Hadson i Ist River pokatkad čvrsto zamrznu, nije zabeleženo da čitav Gornji Zaliv danima bude pod ledom... (krajem januara) ljudi su hodali po ledu od ostrva Stejten sve do Menhetna – čitavih pet milja... Teški tereti, pa čak i veliki topovi, prevlačeni su preko leda, da bi se utvrdio britanski položaj na ostrvu Stejten, koji je bio izložen iznenadnim napadima iz Vašingtonovih isturenih položaja u Nju Džersiju, koji su takođe izvođeni preko leda.

Detaljnim ispitivajem glečerskih morena Džordž Denton (George Denton) i Vibjorn Karlen (Wibjörn Karlén) su pokazali da je najveće zahlađenje u toku *malog ledenog doba* bilo oko 1700. godine i da je to bilo poslednje od pet sličnih događaja u toku holocena:

Posmatrano u celini, dakle, u toku holocena naizmenično su se smenjivali intervali širenja i sužavanja glečera verovatno superponirani na širu... tendenciju zahlađivanja. Intervali širenja trajali su oko 900 godina, a intervali sužavanja oko 1750 godina.

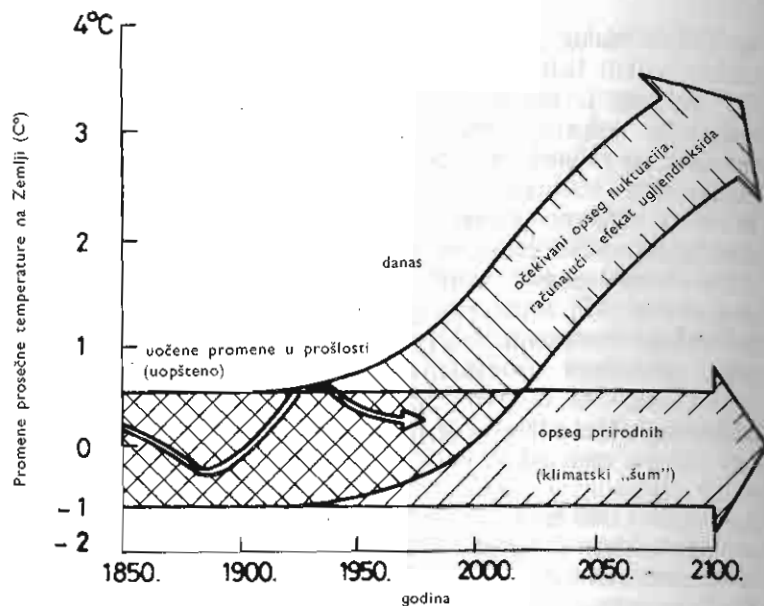
Glečeri su dostizali svoje maksimalne dimenzije pre oko 250, 2800, 5300, 8000 i 10.500 godina, a to pokazuje da

se ciklus *malog ledenog doba* superponira na mnogo duži ciklus velikih ledenih doba (slika 43).

Premda je uzrok javljanja ciklusa *malog ledenog doba* nepoznat, neke činjenice nagoveštavaju da on može biti povezan sa promenama na Suncu. No, bez obzira na uzrok ciklusa koji su otkrili Denton i Karlen, ta se pojava mora imati u vidu pri prognoziranju buduće klime. Ocenjen u smislu prosečnih promena temperature, ciklus malih ledenih doba deluje snagom koja je oko 1/10 snage velikog ledenog doba. Ali, promene do kojih dolazi u ciklusu visoke frekvencije nastupaju mnogo brže od onih koje bivaju izazvane orbitalnim promenama. Ako su Denton i Karlen u pravu, onda bi dejstvo zagrevanja do kojeg dolazi u toku sadašnjeg ciklusa (a koje je počelo da se oseća oko 1700. godine) uskoro nadvladalo dejstva zahlađenja izazvana astronomskim ciklusom i došlo bi do porasta temperature u toku narednih 1.000 godina. Tada bi astronomski ciklus i ciklus *malog ledenog doba* objedinili snage i pokrenuli dugotrajnu tendenciju hlađenja, koja bi svoj najviši stupanj dostigla kroz 23.000 godina.

To je prognoza na koju navodi sadašnje poznavanje prirodnih ciklusa klime: 1.000 godina otopljanja, pa onda 22.000 godina zahlađivanja. Ali ta prognoza ne uzima u obzir delovanje jednog „neprirodnog“ faktora.

Ostavi li se prirodi – piše Marej Mičel – na volju da deluje u skladu sa svojim zakonitostima, a bez čovekovog uplitanja, uveren sam u prognozu da će se u budućnosti klima više puta naizmenično promeniti od tople ka hladnoj, pre no što odista krene putem ledenog doba... Imajući, međutim, u vidu čovekovo prisustvo na Zemlji, ono što će se dogoditi u toku budućih decenija i stoleća, može se razvijati po sasvim drugačijem scenariju: u početku uz neprimetne, ali kasnije vrlo značajne razlike. Izgleda da je industrijski čovek već počeo da utiče na globalnu klimu, mada je teško to i dokazati neposrednim posmatranjem... Ako međutim čovek nastavi sa neprekidnim porastom potrošnje energije, a time i sa zagađivanjem globalne atmosfere, neće biti potrebno da proteknu mnoge godine ili decenije pre no što njegov uticaj prekorači granice prirodne promene klime i postane jasno uočljiv.

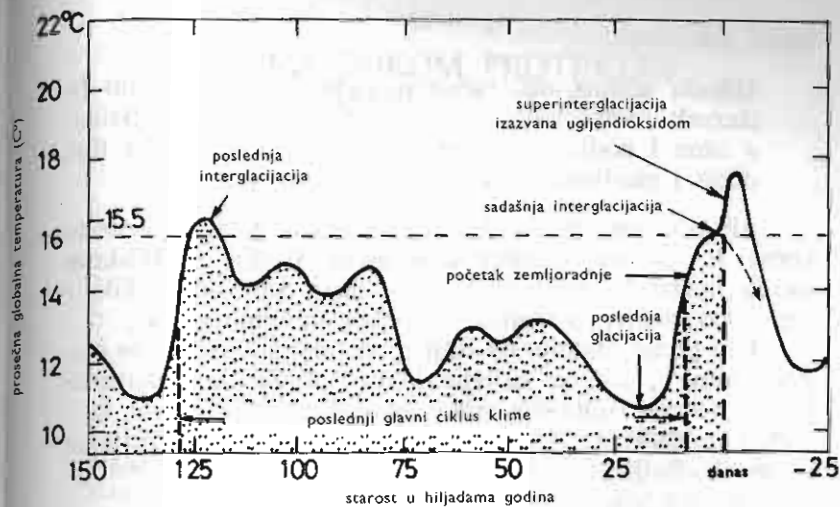


Slika broj 47.

Prognoza klime do 2100. godine. Od 1850. godine, prosečna globalna temperatura kolebala se u opsegu od $1,5^{\circ}\text{C}$ (prikazano kao bela krivudava linija). Verovatno je da će tokom sledeća dva stoleća temperature rasti, zahvaljujući povećanju koncentracije ugljen-dioksida u atmosferi, koje se očekuje. Taj efekat ne mora biti uočljiv sve do 2000. godine. Posle toga, međutim, zagrevanje može biti dramatično. (Prema Mičelu, 1977).

Mada na klimu deluju mnoge ljudske aktivnosti (na primer, poljoprivredna proizvodnja, navodnjavanje, seča šuma, urbanizacija i prateća izbacivanja toplote i dima), od najvećeg uticaja će, svakako, biti sagorevanje fosilnih goriva, a time i prateća proizvodnja ugljen-dioksida. Taj zagađivač je neizbežni pratilac sagorevanja svih ugljovodoničnih goriva, uključujući ugalj, naftu, benzin, prirodni gas, metan, propan i razna druga goriva. Pošto prisustvo ugljen-dioksida u atmosferi deluje kao kakav toplotni pokrivač, to će kao rezultat sagorevanja fosilnih goriva neizbežno doći i do porasta prosečne temperature (slika 47).

Ako čovek još dugo nastavi da se oslanja na fosilna goriva radi zadovoljavanja svojih energetskih potreba



Slika broj 48.

Prognoza klime za narednih 25.000 godina. Prema astronomskoj teoriji o ledenim dobima, prirodni tok klime u budućnosti (isprekidana crta) trebalo bi da bude zahlađivanje koje bi dovelo do glacijalnih uslova kroz 23.000 godina. Međutim, efekat zagrevanja usled povećanja koncentracije ugljen-dioksida u atmosferi može vrlo lako da izazove „superinterglacijaciju“, pri čemu bi globalne srednje temperature dostigle nivo za nekoliko stepeni viši nego u proteklih milion godina. U tom slučaju, tendencija zahlađivanja koja bi dovela do novog ledenog doba zakasniće za oko 2.000 godina, sve dok se pomenuti efekat zagrevanja ne iscrpi. (Prema J. M. Mičelu, 1977).

– piše Mičel – posledice na klimu najverovatnije će postati uočljive već krajem ovoga veka, ali neće postati ozbiljan problem sve dok dobro ne zakoračimo u naredno stoleće.

Gledajući na stvari u geološkoj perspektivi, moguće je da će potrošnja najvećeg dela u svetu poznatih rezervi fosilnih goriva gurnuti našu planetu u „superinterglacijalno“ doba – u nešto u čemu se Zemlja nije našla tokom proteklih milion godina. Uza sve to, uticaj ugljen-dioksida potrajće još hiljadu godina, a možda i duže, nakon što prestane upotreba fosilnih goriva, jer će toliko vremena biti potrebno da se atmosfera oslobodi viška ugljen-dioksida. Mada je teško tačno proračunati posledice pomenute „superinterglacijacije“,

Mičel zaključuje:

Hiljadu godina neuobičajeno tople klime verovatno bi izazvalo znatna topljenja leda na Grenlandu i Antarktiku, a time i podizanje nivoa mora, potapanje naselja duž obala i plavljenje velikih obradivih površina.

Ali, u nekim oblastima toplija klima bi donela određenu korist. Na primer, pustinje u severnoj Africi i na Bliskom istoku mogle bi ponovo da procvetaju, kao što je bilo i pre 7.000 godina, u vreme klimatskog optimuma.

Pod pretpostavkom da udar „superinterglacijacije“ ne izazove bitne promene sistema klime na Zemlji, atmosfera bi se na kraju osobodila viška ugljen-dioksida. Tada bi duži ciklusi zahlađivanja – oni izazvani orbitalnim promenama i faze hlađenja u ciklusu malog ledenog doba – ponovo došli do izražaja. (slika 48).

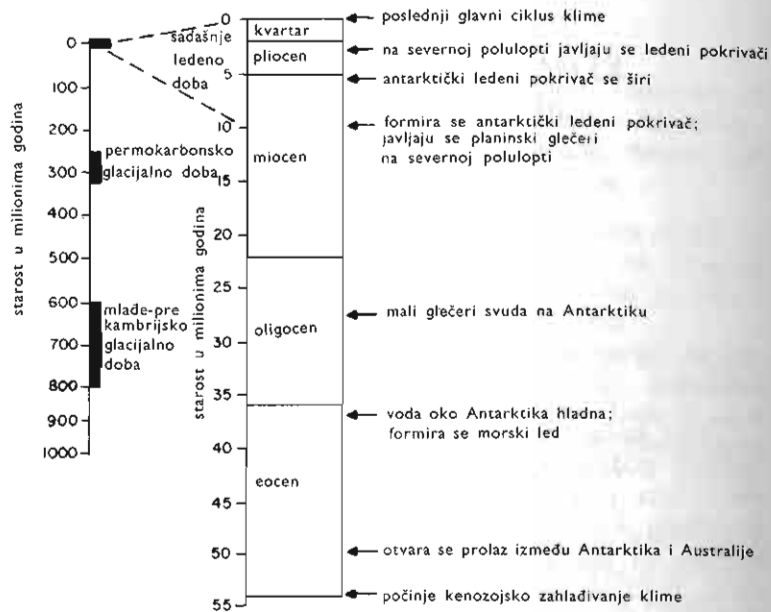
Uočljiva tendencija zahlađivanja započela bi kroz nekih 2.000 godina. Posle približno 1.000 godina pustinje u severnoj Africi postale bi ponovo suve, hrastovih šuma bi nestalo iz srednje Evrope i došao bi kraj najdužem zabeleženom interglacijalnom periodu u toku pleistocena. Globalna klima počela bi tada polako da klizi naniže sve dok, kroz 23.000 godina, Zemlja ne bi ponovo uronila u dubine novog ledenog doba.

KLIMA TOKOM PROTEKLIH MILIJARDU GODINA

Ova knjiga bavila se istorijom klime tokom proteklih 500.000 godina. U tome razdoblju veliki ledeni pokrivači pleistocena periodično su se širili i povlačili, u skladu sa ulaganjem Zemlje u cikluse ledenih i interglacijalnih doba. Premda su pleistocenska interglacijalna doba bila relativno topla, postojale su znatne mase većitog leda u polarnim oblastima čak i u toku najtoplijih perioda takve klime – na Antarktiku i Grenlandu i u vodama Arktičkog okeana.

Ako pogledamo mnogo dalje u prošlost, otkrićemo da su tokom proteklih milijardu godina polarne oblasti samo tri puta bile prekrivene ledenim masama čija bi se veličina mogla upoređivati sa onima u toku poslednjih pola miliona godina. Na slici 49 takvi dugi intervali prikazani su kao glacijalna doba. Tokom svakog glacijalnog doba led se gomilao na polovima, a kontinenti su bili izloženi višestrukim glacijacijama. Prvi od takvih perioda višestrukih glacijacija pada u mladu prekambrijsku eru, pre oko 700 miliona godina. Do drugog intervala glacijacije, poznatog kao permo-karbonsko glacijalno doba, došlo je pre oko 300 miliona godina. Sadašnje, ili mlade kenozojsko glacijalno doba, počelo je pre oko 10 miliona godina.

Zbog čega je zapravo Zemlja ulazila i izlazila iz takvih dugotrajnih režima višestruke kontinentalne glacijacije nije jasno, ali bi razložno bilo pretpostaviti da je do tih promena klime dolazilo usled pomeranja kontinenata – procesa koji dovodi do lagane ali neprekidne izmene geografskog položaja kontinenata. Prema toj teoriji, nestabilna masa leda



Slika broj 49.

Klima u proteklih milijardu godina. Intervali u kojima su se u polarnim oblastima javljali ledeni pokrivači naznačeni su levo kao glacijalna doba. Na desnoj strani dat je pregled značajnih događaja tokom kenozojskog zahlađenja klime.

akumulira se na visokim geografskim širinama kada god se veliki kopneni delovi Zemlje nađu u blizini polova. Uopšteno rečeno, činjenice o permokarbonskoj glacijaciji uklapaju se u tu teoriju, jer je u ta davna vremena sve kopno na Zemlji bilo sjedinjeno u jedan superkontinent, poznat pod imenom Pangea. Premda se središte Pangee nalazilo na ekvatoru, njen najjužniji vrh uključivao je i Južni pol. Oblasti koje su u ta davna vremena bile izložene glacijaciji – sadašnji delovi Brazila, Argentine, Južne Afrike, Indije, Antarktika i Australije – nalazile su se na visokim južnim geografskim širinama.

Tokom 200 miliona godina posle permokarbonskog glacijalnog doba Zemlja se vratila režimu klime bez ledenih doba i često je bila znatno toplija nego danas. Do toga je, izgleda došlo usled pomeranja Pangee ka severu, tako da njen

južni vrh nije više uključivao Južni pol. Pre oko 55 miliona godina globalna klima počela je lagano da postaje sve hladnija, i to zahlađivanje se nastavilo do današnjih dana. Ovaj period poznat je kao kenozojsko zahlađivanje klime, a ta je tendencija u uskoj vezi sa postepenim cepanjem Pangee na kontinente, kakve ih sada znamo. Antarktik se odvojio od Australije i lagano počeo da se pomera na jug, sve dok se njegovo središte nije našlo na Južnom polu. Istovremeno, severnoamerički i evroazijski kontinenti pomerali su se ka Severnom polu. Kako su se sve veće i veće kopnene mase koncentrisale na visokim geografskim širinama ove polulopte, tako se i odbijanje Sunčevih zraka sa površine povećavalo, a klima postajala hladnija. Pre oko 10 miliona godina na terenima Aljaske, a i drugde na visokim geografskim širinama severne polulopte, počeli su da se pojavljuju mali glečeri. Novi režim klime mnogo se dramatičnije osetio na južnoj polulopti, gde je ledeni pokrivač preko Antarktičkog kontinenta brzo narastao do polovine njegove sadašnje zapremine i postao stalna karakteristika sadašnjeg glacijalnog doba. Pre oko 5 miliona godina ledeni pokrivač Antarktika ponovo se proširio, tako da je možda bio i veći nego danas.

Kontinentalni ledeni pokrivači na severnoj polulopti prvi put su se javili pre tri miliona godina, kada su prekrili oblasti oko severnog dela Atlantskog okeana. Izgleda da su, jednom oformljeni, ledeni pokrivači na ovoj polulopti počeli osetljivo da reaguju na astronomske promene, a time su otpočele duge i složene serije fluktuacija. Za sada, još nije moguće detaljno analizirati ranu istoriju ovih fluktuacija, ali ciklusi od 100.000, 41.000 i 22.000 godina ostavili su jasan pečat na stanje klime u toku proteklih pola miliona godina. To su zapravo ciklusi koje je objasnila astronomska teorija ledenih doba.

HRONOLOGIJA OTKRIĆA

1815. Žan-Pjer Peroden, švajcarski gorštak iz Doline prognanih, uverava se da su se alpski glečeri u prošlosti prostirali daleko izvan svojih sadašnjih granica.
1818. Inženjer Injas Venec, koji je radio u Dolini prognanih, sreće Perodena i ovaj ga svojim argumentima uverava da su se neki alpski glečeri u prošlosti prostirali najmanje pet kilometara izvan današnjih granica.
1836. Tokom jednog terenskog istraživanja u Alpima, Žan de Šarpantije i Injas Venec ubeduju Luja Agasiza da su mnoge odlike reljefa u dolinama nastale radom glečera.
1837. Na sastanku Švajcarskog prirodnjačkog društva u Nešatelu, Luj Agasiz najavljuje svoju teoriju o velikom ledenom dobu.
1839. Timoti Konrad se koristi Agasizovom glacijalnom teorijom da bi objasnio površinske sedimentne nanose u Sjedinjenim Državama.
1840. Luj Agasiz ubeduje Vilijema Baklenda da su površinski nanosi u Velikoj Britaniji glečerskog porekla; ubrzo zatim, Baklend u to ubeduje Čarlsa Lajela.

1841. U Škotskoj, Čarls Maklaren nastoji da dokaže da je morski nivo tokom ledenog doba morao biti oko 250 metara niži nego danas.
1842. U Francuskoj, Žozef Ademar predlaže astronomsku teoriju o ledenom dobu, zasnovanu na precesiji ravnodnevnih tačaka.
1843. Francuski astronom Irben Leverije razvija obrasce za izračunavanje promena u Zemljinoj orbiti u prošlosti i rekonstruiše istoriju orbite Zemlje u toku proteklih 100.000 godina.
1863. Arčibald Gejki sakuplja dovoljno dokaza sa terena kojima većinu geologa uverava da su površinski nanosi u Škotskoj glečerskog porekla.
1864. U Škotskoj, Džejms Krol objavljuje astronomsku teoriju o ledenim dobima zasnovanu na precesiji i promenama ekscentriciteta orbite Zemlje.
1865. Koristeći se podacima o nekadašnjim položajima obale u Škotskoj, Tomas Džejmison nastoji da dokaže da je težina pleistocenskih ledenih pokrivača bila dovoljna da potisne površinu Zemlje pod njima.
1870. U Americi, Grouv Gilbert pokazuje da je Veliko slano jezero ostatak mnogo većeg jezera koje je, tokom poslednjeg ledenog doba, prekrivalo celu oblast.
- Na osnovu proučavanja pustinja u srednjoj Aziji, baron Ferdinand fon Rihtofen zaključuje da su nanosi leša, na koje se nailazi u delovima Evrope, Severne Amerike i Južne Amerike koji nisu bili prekriveni ledom, nanoseni vetrovima za vreme poslednjeg ledenog doba.
1871. Ejmos Vorten pokazuje da je državu Illinois u prošlosti zahvatilo više od jednog ledenog doba.

1874. Džejms Gejki, u svojstvu saradnika Geološke službe Škotske, objavljuje pregled informacija o pleistocenskim ledenim dobima.
1875. Naučnici sa broda „Izazivač“ vraćaju se sa svoje pionirske okeanografske ekspedicije i sa sobom donose obilje informacija o dubokomorskim sedimentima.
1894. Džejms Gejki, sada profesor geologije na Univerzitetu u Edinburgu, proširuje svoj pregled istorije pleistocena tako što uključuje karte ledenih pokrivača Severne Amerike, Evrope i Azije u vreme ledenih doba.
- Profesor Džejms Dejna sa Univerziteta Jejl odbacuje Krolovu astronomsku teoriju na osnovu saznanja da su se poslednji ledeni pokrivači povukli iz Amerike pre 10.000, a ne pre 80.000 godina.
1904. U Nemačkoj, Ludvig Pilgrim izračunava promene nagiba Zemljine ose rotacije, ekscentriciteta i precesije u toku proteklih milion godina.
1906. Bernar Brines ispitujući izlive lava u Francuskoj nalazi dokaze da se smer Zemljinog magnetnog polja menjao.
1909. Albreht Benk i Eduard Brikner koriste se zapažanjima u vezi sa alpskim rečnim terasama da bi rekonstruisali sukcesiju pleistocenskih ledenih doba.
1920. Jugoslovenski naučnik Milutin Milanković objavljuje obrasce za izračunavanje intenziteta osunčavanja kao funkcije geografske širine i godišnjeg doba, tvrdi da se takvi proračuni mogu primeniti i na prošlost i nastoji da dokaže da su klimatski efekti promena u osunčavanju dovoljni da dovedu do ledenog doba.
1924. U Nemačkoj, Vladimir Kepen i Alfred Vegener objavljuju tri krive koje je izračunao Milanković i koje su osnova njegove teorije o ledenim dobima. Krive poka-

zuju kako se letnje osunčavanje Zemlje na 55, 60. i 65. stepenu severne geografske širine menjalo tokom proteklih 650.000 godina.

1929. Motonori Matujama nalazi u Japanu i Koreji dokaze da je u toku pleistocenske epohe došlo do reverzije Zemljinog magnetnog polja.
1930. Bartel Eberl razrađuje Penkovu i Briknerovu shemu istorije pleistocena i nalazi da se geološka svedočanstva sa alpskih rečnih terasa slažu sa Milankovićevom hronologijom osunčavanja.
1935. U kratkim jezgrima koja je sa dna ekvatorijalnog Atlantskog okeana uzela nemačka ekspedicija sa broda „Meteor“ (1925–1927), Wolfgang Šot pronalazi paleontološka svedočanstva o poslednjem ledenom dobu.
1938. Milutin Milanković objavljuje konačnu verziju svoje astronomske teorije o ledenim dobima. Kao glavni uzrok ledenim dobima označene su varijacije letnjeg osunčavanja na visokim geografskim širinama na obe polulopte. Ove varijacije su prvenstveno rezultat promena u nagibu rotacione ose Zemlje (41.000-godišnji ciklus), ali i ciklusa precesije (22.000 godina). Uzimajući u obzir i promene količine odbijene energije sa površine Zemlje, Milanković je, takođe, izračunao kako se menjao geografski položaj granica ledenih pokrivača tokom proteklih milion godina.
1947. Na Univerzitetu u Čikagu, Harold Uri objavljuje teorijske osnove metode izotopa kiseonika.
- U Švedskoj, Bjor Kulenberg konstruiše klipni mehanizam za vađenje jezgara, koji koristi švedska ekspedicija za istraživanje dubokog mora (1947–1948) pri uzimanju dugih jezgara iz dubokomorskih sedimenata.
1951. Na Univerzitetu u Čikagu, Vilard Libi razvija metodu za određivanje starosti na osnovu radioaktivnog ugljenika.

Semjuel Epstejn i njegovi saradnici na Univerzitetu u Čikagu razvijaju postupak za izračunavanje davnajšnjih temperatura okeana, zasnovan na Urijevoj teoriji o izotopima.

1952. U Skripsovom okeanografskom institutu, Gustav Arenijus dokazuje da su promene u hemijskom sastavu dubokomorskih jezgara koja su izvukli članovi švedske ekspedicije, svedočanstva o promenama klime.

Dejvid Erikson i njegovi saradnici u Lamont geološkoj opservatoriji razvijaju tehniku za prepoznavanje slojeva u dubokomorskim sedimentima, koji su nastali usled turbulentnih strujanja.

1953. U šljunku alpskih terasa Ingo Šefer pronalazi fosile koji ukazuju na sled glacijalnih i interglacijalnih perioda do kojeg su došli Penk i Brikner, nije tačan.

Fred Fleger i njegovi saradnici u Skripsovom okeanografskom institutu nalaze paleontološke dokaze o devet ledenih doba; svedočanstva o njima sadržala su jezgra sa dna Atlantskog okeana, izvučena uz pomoć Kulenbergovog klipa.

1955. Na Univerzitetu u Čikagu, Čezare Emilijani otkriva da fluktuacije u sastavu foraminifera, u pogledu izotopa kiseonika, do kojih se došlo na osnovu ispitivanja dubokomorskih jezgara, predstavljaju svedočanstvo o najmanje sedam ledenih doba, odnosno interglacijalnih perioda. Emilijani procenjuje da glavni klimatski ciklus traje oko 40.000 godina.

1956. Džon Barns i njegovi saradnici u Naučnoj laboratoriji Los Alamos, razvijaju torijumovu metodu za određivanje starosti koralnih fosila.

Dejvid Erikson i Gesta Volin su na osnovu promena u zastupljenosti pojedinih vrsta foraminifera u dubokomorskim jezgrima, utvrdili varijacije pleistocenske klime.

1961. Georg Kukla i Vojen Ložek, sa Čehoslovačke akademije nauka, pokazuju da naizmenični slojevi zemlje

i lesa u delovima srednje Evrope koji nisu bili prekriveni ledom, sadrže podrobna svedočanstva o pleistocenskoj klimi.

1963. Alan Koks i njegove kolege iz Geološke službe SAD dokazuju istovremenost geomagnetskih reverzija i sastavljaju paleomagnetnu vremensku skalu.

1964. Kristofer Harison i Brajan Fanel iz Skripsovog okeanografskog instituta utvrđuju, u dubokomorskim jezgrima, Brines/Matujama geomagnetsku reverziju.

Garnis Kartis, Džek Evernden i njihove kolege sa Kalifornijskog univerziteta pokazuju da se metodom kalijum-argon dolazi do dobrih rezultata pri određivanju starosti pleistocenskih događaja.

1965. U Lamont geološkoj opservatoriji, Džejms Hejs koristi fosile radiolarija pri rekonstrukciji pleistocenske istorije Antarktičkog okeana.

Valas Breker iz Lamont opservatorije nastoji da dokaže da rezultati o interglacijalnim nivoima mora (80.000 i 120.000 godina) do kojih se došlo torijumovom metodom, idu u prilog Milankovićevoj teoriji.

1966. Čezare Emilijani, sada na Institutu za proučavanje mora pri Univerzitetu u Majamiju, analizira dugo dubokomorsko jezgro iz Karipskog mora (P6304-9), u kojem sekvenca izotopskih faza seže sve do 17. faze i razvija revidiranu vremensku skalu koja ukazuje na to da glavni klimatski ciklus traje oko 50.000 godina.

Robli Metjus i Kenet Mesolela sa Univerziteta Braun, dokazuju da su nekadašnji koralni grebeni formirali terase na ostrvu Barbados. Prema tome, svaka je terasa svedočanstvo o interglacijalnom nivou mora.

1967. U Kembridžu, Nikolas Šeklton objavljuje svedočanstva koja ukazuju da varijacije u proporciji atoma izotopa kiseonika u dubokomorskim jezgrima u stvari odlikavaju varijacije u ukupnoj zapremini ledenih pokrivača.

Džofri Dikson, na brodu „Robert Konrad“ Lamont geološke opservatorije, uzima sa dna južnog Indijskog okeana jezgro RC11-120.

U Lamont geološkoj opservatoriji, Džejms Hejs i Nil Opdajk određuju starost klimatskih događaja o kojima svedoče dubokomorska jezgra iz Antarktičkog okeana, uz pomoć podataka o geomagnetskim reverzijama.

1968. Valas Breker, Robli Metjus i njihove kolege sa univerziteta Braun i Kolumbija izveštavaju o starosti tri koralne terase na ostrvu Barbados, utvrđenoj uz pomoć metode torijuma; starost tih terasa slaže se sa interglacijalnim periodima predviđenim revidiranom Milankovićevom teorijom.

Georg Kukla i njegove kolege sa Čehoslovačke akademije nauka koriste paleomagnetsku vremensku skalu da pokažu kako je glavna klimatska fluktuacija o kojoj svedoče evropski nalazi, ciklus od 100.000 godina.

1970. Valas Breker i Jan van Donk pokazuju da perioda glavnog klimatskog ciklusa, utvrđena izotopskom metodom u karipskim jezgrima, traje 100.000 godina.

1971. Vilijem Radimen, iz Mornaričkog okeanografskog biroa SAD, koristi paleomagnetsku vremensku skalu da pokaže da promene toka atlantskih struja odgovaraju klimatskom ciklusu od 100.000 godina.

Džon Led, sa broda „Vema“, uzima sa dna zapadnog ekvatorijalnog Pacifika jezgro V28-238.

Džejms Hejs (u Lamont-Doerti opservatoriji) i Vilijem Bergren (sa Okeanografskog instituta Vuds Hol), povezuju granicu pliocen/pleistocen sa *Olduvai magnetskom epizodom* i na taj način utvrđuju da je epoha pleistocena trajala oko 1,8 milion godina.

Norman Votkins, sa broda „Eltanin“ Nacionalne fondacije za nauku SAD, uzima sa dna južnog Indijskog okeana jezgro E49-18.

Na Univerzitetu Braun, Džon Imbri i Nilva Kip razvijaju statističku metodu za procenjivanje temperatura

pleistocenskih okeana na osnovu mikrofosilnih vrsta i koriste se spektralnom analizom podataka o izotopskom sastavu i podataka o fauni, dobijenih iz karipskog jezgra V12-122, prilikom neuspešnog pokušaja utvrđivanja klimatskih ciklusa koji bi odgovarali varijacijama nagiba Zemljine ose rotacije i precesije.

Saradnici na projektu CLIMAP Nacionalne fondacije za nauku SAD počinju sa svojim naporima da iz dubokomorskih jezgara izvuku globalno svedočanstvo o pleistocenskoj klimi.

1972. Anandu Vernekar sa Univerziteta u Merilendu izračunava kako su se geometrija Zemljine orbite i intenzitet osunčavanja Zemlje menjali tokom proteklih dva miliona godina, i kako će se menjati u toku narednih 100.000 godina.

Nikolas Šeklton (Kembridž) i Nil Opdajk (Kolumbija) sastavljaju vremensku skalu klimatskih događaja u toku proteklih 700.000 godina; ovo im polazi za rukom uz pomoć koleracije izotopskih i geomagnetskih svojstava u jezgru V28-238. iz Pacifika. Oni, takođe, produžavaju faze izotopa kiseonika sve do 22. faze i pokazuju da varijacije u proporciji atoma izotopa kiseonika odslikavaju promene u ukupnoj zapremini ledenih pokrivača.

1975. Georg Kukla, sada u Lamont-Doerti geološkoj opservatoriji, objedinjuje dokaze koji svedoče da sukcesija glacijalnih i interglacijalnih perioda prema shemi Penka i Briknera, koju je proširio Eberl, nije tačna.

1976. Saradnici na projektu CLIMAP Džejms Hejs, Džon Imbri i Nikolas Šeklton, izvodeći spektralnu analizu jezgara RC11-120. i E49-18. iz Indijskog okeana, utvrđuju da su glavne klimatske promene u proteklih 500.000 godina pratile promene nagiba Zemljine ose rotacije i precesije – kako je astronomska teorija o ledenim dobima i predviđala.

SADRŽAJ

Prdogovor	7
Predgovor autora	13
PROLOG: Zaboravljeno ledeno doba	15

DEO PRVI: OTKRIĆE LEDENIH DOBA

1. Luj Agasiz i glacijalna teorija	23
2. Trijumf glacijalne teorije	37
3. Istraživanje sveta ledenog doba	52

DEO DRUGI OBJAŠNENJE LEDENIH DOBA

4. Pitanje nastanka ledenih doba	67
5. Radanje astronomske teorije	75
6. Astronomska teorija Džejmisa Krola	83
7. Raspravljanja o Krolovoj teoriji	96
8. Kroz vasionu i vekove	104
9. Raspravljanja o Krolovoj teoriji	122
10. Dubine i davnine	134
11. Temperature pleistocena	147
12. Oživaljavanje Milankovićeve teorije	154
13. Poruka iz Zemlje	161
14. Puls klime	168
15. Pejsmejker ledenih doba	176

DEO TREĆI: LEDENA DOBA U BUDUĆNOSTI

16. Predstojeće ledeno doba	193
EPILOG: Klima tokom proteklih milijardu godina	205
DODATAK: Hronologija otkrića	208

U TROŠKOVIMA IZDAVANJA OVE KNJIGE UČESTVOVALA JE REPUBLIČKA ZAJEDNICA
NAUKE.

29

DŽON IMBRI I KETRIN PALMER IMBRI: LEDENA DOBA • UREDNIK: MIRJANA
STEFANOVIĆ • RECENZENT: AKADEMIK Dr. TATOMIR ANDELIĆ • TEHNIČKI UREDNIK:
BOGDAN ČURČIN • KORICE ŽARKO ROŠULJ • KOREKTOR: OLGA KOSIĆ • IZDAVAČ:
NOLIT, BEOGRAD, TERAZIJE 27 • GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK: MILOŠ STAMBOLIC •
ŠTAMPA: BIROGRAFIKA, SUBOTICA • STAMPANO U 3.000 PRIMERAKA 1981. GODINE.