

АСТРОНОМСКА ТЕОРИЈА
СЕКУЛАРНИХ ВАРИЈАЦИЈА
КЛИМЕ.

ОД
М. МИЛАНКОВИЋА.

АСТРОНОМСКА ТЕОРИЈА СЕКУЛАРНИХ ВАРИЈАЦИЈА КЛИМЕ.

Од М. МИЛАНКОВИЋА.

(Приказано на скупу Академије Природних Наука 26 маја 1930.).

I.

Мисао да свака промена нагиба еклиптике мора утицати и на Земљину климу, веома је стара: то је учио већ *Анаксагора*. Висока александријска школа није се упуштала у разматрања о променама климе проузрокованим астрономским елементима, иако се баш у њој учило како се из неједнакости годишњих доба могу одредити ексцентрицитет Сунчеве путање и положај апсидне линије, а померање равнодневница био саставни део александријске науке. Ни проналазак арапског астронома *Албатанија*, да се и линија апсида помера у току векова, није ставио питање промена годишњих доба на дневни ред. Тако је тек *Њутн* својим законом гравитације (1686) расветлио питање промена оних астрономских елемената који утичу на распоред Сунчеве радијације по површини Земље. Поред свега тога, прошао читав је век док су се, благодарећи *Лагранжу* и *Лапласу*, оне промене могле обухватити математским обрацима. Тада се показало да промене ексцентрицитета Земљине путање и нагиба еклиптике осцилују између веома уских граница, а да се велика полуоса Земљине путање секуларно уопште не мења. Ови резултати зауставили су развој науке о променама Земљине климе астрономским узроцима; *Џ. Хершел*, *А. Хумболт*, *Араго* и *Полсон* нису веровали у могућност таквих промена. Тако је, у колико нам је то познато, *Адемар* био први који је покушао да научно образложи везу између варијабилитета астрономских елемената и промена Земљине климе. У његовом делу *Révolutions de la mer, déluges périodiques* (1842)

И др 53602



расправљен је први пут тај велики климатолошки проблем, непотпуно додуше, али интересантно због своје новине. Баш некако у то доба, тражили су геолози тумачење томе на који су начин донешене и расуте по великом делу Европе и Америке гомиле камења, шотера и ератских блокова, за које је њихова северна постојбина била доказана. Неколико разних хипотеза борило се о првенство. По једној од њих, биле су санте леда, по другој, поларне бујице, по трећој, глечери који су извршили онај пренос. Адемар, стојећи још под утицајем Кивијеових идеја, по којима је наш планет био више пута опустошаван серијом катаклизма и увек поново насељаван творчевом руком, покушао је, пре свега, да хипотезу катастрофалних бујица подупре својом теоријом. Њене основне идеје су ове.

Услед прецесије равнодневница, кретања перихела и промена годишњих доба које из њих резултују, одмењују се, сваких 10000 година, на свакој од обих Земљиних хемисфера, кратке и благе зиме са дугим и строгима и то тако, да када једна од ових хемисфера има строгу зиму, друга од њих има благу. На оној првој, нагомилаће се, услед велике хладноће, лед око пола, и то у толикој мери да ће привлачна снага његове масе проузроковати субмерсију те хемисфере, праћену новим охлађењем. Јужна хемисфера која у садашњости има дужу зиму од северне, налази се сада, са својим великим воденим покривачем, у таквом стању. Лед, нагомилан око пола хладније хемисфере, почеће да се топи и отиче кад наступи периода топлијих зима, носећи са собом камење поларних крајева. Када се, иза тога, трошна ледена санта, налегла на полу као каква печурка, преломи и сурва, појуриће из ње катастрофалне бујице по целој хемисфери. Такве катастрофе понављаће се, одмењујући на обема хемисферама, сваких десет хиљада година.

Каснија геолошка испитивања унела су више светлости у питање климатских промена на Земљи, и показала су, пре свега, да су, за време извесних временских интервала дилувиума, велики делови Европе и Северне Америке били прекривени ледом, а да се споменуто транспортовање камења вршило ледењацима. Хипотезе о пливајућим леденим сантама и катастрофалним бујицама морадошће бити напуштене. Адемарова теорија није се дала више одржати ни прекројена за феномен ледењака, пошто се увидело да нагомилвање леда за време дилувијалних ледених доба није било такве величине да би могло изазвати суб-

мерсије залеђене хемисфере, као што је то та теорија претпостављала. Поред свега тога, постала је Адемарова теорија полазном тачком других астрономских теорија ледених доба. Осврњимо се овде на најважније од њих, због њиховог историјског значаја.

Теорија *Крол*'а (1875), значајна за своје време, полази као и она Адемарова, од неједнакости годишњих доба, но показује, већ у тој тачки, напредак према оној, што је Крол правилније оценио утицај ексцентрицитета Земљине путање на дужину годишњих доба. Само при релативно великом ексцентрицитету може разлика између летње и зимске полугодине постати осетна. Деси ли се, дакле, да се, при довољно великом ексцентрицитету, екваторска линија приближи нормали на апсидној линији, то ће она хемисфера која има зиму када Земља пролази кроз афелиум, имати дугу и строгу зиму. Таква зима проузроковаће, по мишљењу Кроловог, глацијацију те хемисфере, док ће она друга хемисфера проживљавати, у то доба, своју топлу интерглацијалну периоду. Променом дужине перихела према пролетњој тачки, промениће се те прилике. Када се екваторска линија поклопи са апсидном, доћи ће обе хемисфере у исте прилике у погледу распореда Сунчеве топлоте по површини Земље, па се наћи у једнаком прелазном добу из којег ће она пре залеђена хемисфера ући у интерглацијалну, а она друга у глацијалну периоду. Тако се одмењују на обема хемисферама глацијална, прелазна и интерглацијална доба, и то увек тако да када једна од њих проживљује глацијално доба, друга пролази кроз топло интерглацијално доба. Ове појаве појачавају се када ексцентрицитет Земљине путање расте, а слабе када ексцентрицитет опада.

Кроловој теорији чињене су разне замерке; са климатолошке стране, као најтежа, да се ледењаци не стварају строгим зимама, него да, напротив, такве зиме ометају формацију глечера, као што је то и данас случај у пределима оштрих зима, у центрима северних континената, нарочито у Сибирији. Није, дакле, строга зима, него хладно лето које проузрокује формирање глечера и њихово силажење у долине. Са астрономске тачке гледишта највећи је недостатак Кролове теорије да је она од оних трију астрономских елемената који утичу на распоред Сунчеве радијације по површини Земље, а то су: дужина перихела, ексцентрицитет Земљине путање и нагиб еклиптике,

узела довољно у обзир само промене оних првих двају елемената.

Исти недостатак показује и теорија Бал'а (1891) који је надовезао на Кролову теорију и дао јој нов математски облик, но који не представља никакав напредак. Бал је узео, додуше, унеколико, у обзир промене нагиба еклиптике, али је израчунао њихов ефекат само у погледу целокупне инсолације појединих хемисфера. Те тоталне инсолације нису, међутим, од осетног значаја, него се промене нагиба еклиптике испољавају нарочито у меридионалном распореду Сунчеве радијације по површини Земље. Тај ефекат од пресудног значаја није узет у обзир у Баловим испитивањима. То исто важи и за рачуне које је Келвервел извршио (1894).

Харгрив је (1896) поклонио више пажње променама нагиба еклиптике, али је израчунао ефекат тих промена у колико се он тиче тоталних годишњих количина радијације. Утицај много значајнији, тих промена на појачавање и слабљење опрека у годишњим добима, није му упао у учи. Екхолм је (1901) посветио питању, како се оличавају промене нагиба еклиптике у климатској слици Земље, једну нарочиту студију, али је у њој испитивао само последице последњег екстрема тога астрономског елемента; о последицама екстрема осталих двају астрономских елемената, није водио рачуна.

Тако пате све набројане теорије на истом недостатку, да ниједна од њих није правилно узела у обзир промене свих оних трију астрономских елемената који утичу на распоред Сунчеве топлоте по површини земље. Већ категорисање тих теорија, које је извршио Хан према оним астрономским елементима који су у појединој теорији узети у обзир, показује јасно њихов недостатак. Не узимајући у обзир последице промена нагиба еклиптике, није ниједна од тих теорија могла доћи у склад са геолошким искуствима. Нарочито кратко-периодично и наизменично одмењивање глацијација на обема хемисферама противило се свим резултатима геолошких испитивања. Па и промене у распореду Сунчеве топлоте на површини Земље, које су из тих теорија следовале, биле су толико незнатне да је Хан (1908) означио све астрономске теорије ледених доба недовољним, и из њих извукао закључак да се, са астрономске тачке гледишта, може пре очекивати сталност, а не промена, Земљиних климата. Овај суд Ханов био је оправдан само у колико се тичао оних астрономских теорија ледених доба, које су у оно-

доба носиле то име. Шта се може получити математском теоријом климатских промена, сазиданом на темељима Небеске Механике, то ће се видети из ове расправе.

Тако је астрономски проблем ледених доба био постављен на довољно широку основицу тек 1920 године *). Математско оруђе, створено тим делом, за израчунавање секуларних варијација распореда Сунчеве топлоте по површини Земље, усавршено је 1924 год. приликом израчунавања тих варијација за дело *Köppen-Wegener, Die Klimate der geologischen Vorzeit*. Свој дефинитивни облик добила је астрономска теорија климатских промена тек овом расправом, пошто су још нека важна питања, као секуларни ток температуре и механизам феномена: глацијација, добила своју математску обраду.

II.

Испитајмо сада како се мењао распоред Сунчеве топлоте на површини Земље у току векова, т. ј. израчунајмо секуларни ток тога распореда. Математско оруђе за тај посао дато је споменути делом и расправом «Калоричка годишња доба и њихова примена у палеоклиматском проблему». «Глас» СХ (1923). Ту је показано, да се све значајније особине секуларног тока могу добити на овај начин. Уочену годину Земљине прошлости ваља поделити у два једнака дела и то тако, да једна од тих полугодина обухвати све дане у којима је инсолација посматране географске ширине јача него ма којег дана друге полугодине. Те полугодине назвали смо «калоричким полугодинама». Затим ваља израчунати топлотне величине које добија посматрана географска ширина. Сунчевим зрацима у току тих полугодина. Те топлотне количине, изражене у каноничким јединицима $I_0 = 1$; $T = 100.000$ дате су за северну хемисферу овим изразима

$$Q_s = W_s^0 + \Delta W_s \Delta \varepsilon - m \varepsilon \sin \Pi$$

$$Q_w = W_w^0 + \Delta W_w \Delta \varepsilon + m \varepsilon \sin \Pi$$

При томе означавају W_s^0 и W_w^0 топлотне количине које прима у садашњости уочена географска ширина за време астрономске летње, односно зимске полугодине. Нумеричке вредности

*) Milankovitch, Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. Paris 1920.

тих количина саопштене су у табlici V споменутог дела, ваља их само, због избора горе наведених јединица, помножити са 100.000. Изрази ΔW_e и ΔW_h претстављају промене величина W_e^0 и W_h^0 ако нагиб еклиптике порасте за један степен. Те промене саопштене су у табlici XVII споменутог дела; и те бројеве ваља помножити са 100.000. Δe означава промену нагиба еклиптике према његовој садањој вредности, e означава ексцентриситет Земљине путање за време уочене године Земљине прошлости, а Π тадању дужину перихела према ондашњој пролетњој еквinoxцијалној тачки. Коefицијент m дат је овим изразом

$$m = \frac{200000 (b_0 - b_1 + b_2 - b_3)}{\pi^2 \sqrt{1 - e^2}},$$

при томе су количине b_0, b_1, b_2, b_3 дате таблицом IV споменутог дела.

Садашњости одговарају ове вредности величине Q_e и Q_h :

$$Q_e^0 = W_e^0 - m e_0 \sin \Pi_0$$

$$Q_h^0 = W_h^0 + m e_0 \sin \Pi_0$$

Секуларне промене тих величина дате су изразима

$$\Delta Q_e = \Delta W_e \Delta e - m e \sin \Pi + m e_0 \sin \Pi_0$$

$$\Delta Q_h = \Delta W_h \Delta e + m e \sin \Pi - m e_0 \sin \Pi_0$$

$$\Delta e = e - e_0.$$

Уведемо ли ознаку

$$e \sin \Pi - e_0 \sin \Pi_0 = \Delta(e \sin \Pi),$$

то добивамо

$$\Delta Q_e = \Delta W_e \Delta e - m \Delta(e \sin \Pi),$$

$$\Delta Q_h = \Delta W_h \Delta e + m \Delta(e \sin \Pi).$$

Ове једначине важе за северну хемисферу, за јужну важе ове:

$$\overline{\Delta Q_e} = \Delta W_e \Delta e + m \Delta(e \sin \Pi),$$

$$\overline{\Delta Q_h} = \Delta W_h \Delta e - m \Delta(e \sin \Pi).$$

Помоћу предњих образаца могу се израчунати секуларне варијације топлотних количина Q_e и Q_h и, на тај начин, добити јасна слика о секуларном току распореда Сунчеве топлоте по површини Земље. Први такав рачун, и то за минулих 650

хиљада година и за географске ширине $+ 55^\circ, + 60^\circ, + 65^\circ$, извршио сам 1923 год. за споменуто дело Кепена и Вегенера, па добивене нумеричке резултате претставио и графичким дијаграмом, објављеним у том делу. При његовом израчунавању употребио сам за нумеричке вредности величина Δe и $\Delta(e \sin \Pi)$ бројеве које је Пилгрим израчунао помоћу Стоквелових образаца као секуларне варијације астрономских елемената e, e, Π . Такве рачуне ја сам за ову расправу поново извршио и раширио их на географске ширине $\pm 25^\circ, \pm 35^\circ, \pm 45^\circ, \pm 55^\circ, \pm 65^\circ, \pm 75^\circ$. Том приликом употребио сам за нумеричке вредности секуларних варијација астрономских елемената e, e, Π бројеве које је проф. В. Мишковић израчунао помоћу Леверјеових образаца, а узевши у обзир најтачније вредности планетских маса, којим сада располажемо. У својој расправи, која ће изаћи у овом «Гласу», Мишковић је навео разлоге који су говорили за употребу Леверјеових образаца. Тако сам, благодарећи драгоценој помоћи проф. Мишковића, могао да израчунам секуларне варијације топлотних количина Q_e и Q_h најтачније према данашњем стању науке. Те варијације саопштене су на крају ове расправе у засебној табели; она претставља историју распореда Сунчеве топлоте по површини Земље, исписану математским језиком.

III.

Ако се запитамо на који се начин испољио у прошлости секуларни ток Земљине инсолације, то можемо на два разна пута да потражимо одговор на постављено питање. Први од њих води преко области егзактних наука. Користећи се математском теоријом коју сам у споменутом мом делу изложио, могуће је из секуларног тока инсолације извести секуларни ток температуре, проузрокован променом астрономских елемената. Други пут води преко области дескриптивних природних наука. Промене Земљине климе оставили су дубок траг у лицу Земљином, и о њима говоре речито документи прошлости, пронађени и сакупљени од геолога. Тако је Геологији пошло за руком да одреди узастопност Земљиних климата и у оном делу Земљине прошлости на који се односе моји рачуни. Ако се она геолошким путем нађена узастопност Земљиних климата подудари са климатским таласима нађеним помоћу Небеске Меха-

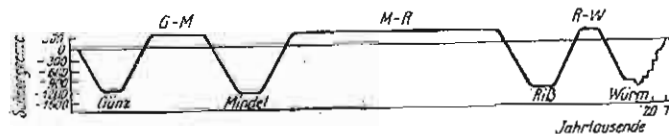
нике рачунским путем, онда је не само пронађен главни узрок промена Земљиних климата, него је тим добивен и календар Земљине прошлости.

Први који је применио моје рачунске резултате о секуларном току Земљине инсолације за испитивања климе прошлости био је Владимир Кепен. Упознавши се са мојом математском теоријом климе, увидео је он услугу коју би она могла да учини при испитивању Земљине прошлости, па ме позвао на сарадњу у том послу. У тој заједници, ја сам усавршио свој математски апарат и подесио га за предузети посао. Резултати Кепенових испитивања и мојих рачуна саопштени су у делу Köppen-Wegener, Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin 1924. Брзо иза тога почели су и други научници да, полазећи од мојих рачуна, испитују климу Земљине прошлости и објављују своје резултате у делима или расправама. О том раду немачких научника саопштавам, одазивајући се жељи Српске Краљевске Академије, ово.

Кепен, саопштавајући резултате својих испитивања, почиње са прегледом ових чињеница. Пошто су Европа и Северна Америка, после глацијација алгонкиума и камбриума, проживеле огромно дуга доба тропске и субтропске климе, отпочело је за њих, крајем терцијера, ново ледено доба, прво у Америци а затим у Европи, достигнувши свој врхунац у квартеру. У појединим интервалима тога доба спустила се, у брдским крајевима, граница вечног снега за каквих 1200 м, а пространи делови обају континента били су затрпани ледом, дебелим километар и више. За време интергласијалних периода, који су одмеђивали интервале ледених доба, лед се делимично или потпуно отопио, а у те крајеве усељавала се флора, слична данашњој.

А. Пенк и Е. Брикнер испитали су врло исцрпно трагове тих квартерних глацијација у Алпама и саопштили резултате својих испитивања у њиховом делу Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1901—1909. По тим испитивањима, преживели су алпски предели четири велика ледена доба, одељена једно другог трима интергласијалним периодима. Та ледена доба назвали су они, полазећи из прошлости у садашњост, Гинц, Миндел, Рис и Вирм. У последњем од ових ледених доба, могло се констатовати више осцилација. Од интергласијалних периода био најдужи онај који је лежао између Миндела и Риса.

О апсолутној дужини појединих ледених доба и интергласијалних периода, постајала су пре публикације Кепен-Вегенеровог дела само приближна нагађања. Тако је Кенигсбергер нашао одређивањем количине хелиума у циркону да је квартерно доба почело пре $\frac{1}{2}$ до 1 милиона година. У последњој свесци споменутог дела Пенк-Брикнеровог саопштавају оба научника резултате својих испитивања о временским дужинама појединих периода леденога доба у облику графикана претстављеног у следећој слици 1. При том, цени Пенк да је од депонивања морена, названих «бил», у фирвалдстетском језеру протекло 20000 година, па, узимајући тај временски интервал за јединицу, налази да је интергласијални период између Риса и Вирма трајао 60000 година, а онај између Миндела и Риса 240000 година. О самим дужинама глацијалних периода не саоп-



Сл. 1.

штава Пенк никакве податке, али се из његовог графикана може време протекло од почетка Гинца оценити са 660000 година.

Ова подела ледених доба примењена је и на друге крајеве Европе где су ова доба оставила јасног трага, али су испитивања Гагела (1915), Сергела (1919), Кренкела (1922) и других, још пре публикације Кепен-Вегенеровог дела, показала да се последње ледено доба, Вирм, може расчланити у три засебна напада хладноће и пораста ледењака. Те три ледене фазе означавају се са Вирм I, Вирм II и Вирм III, последња се, сем тога, често назива и балтичким нападом или балтичким леденим добом. И у Енглеској се до сада наишло на трагове шест разних ледених доба која би одговарала Гинцу, Минделу, Рису, Вирму I, Вирму II и Вирму III.

У Скандинавији, средишту европских глацијација, су границе појединих фаза леденога доба много нејасније, ипак је сигурно да је и онде целокупно квартерно ледено доба било прекинуто бар једним топлијим интергласијалним периодом. И на полуострву Јули и на обалама Бјелог Мора, констатована је

иста чињеница. Вероватно да се у свим тима крајевима ради о великом интерглатијалном периоду између Миндела и Риса.

Предели Европе који нису лежали под леденим покривачем, носе на себи јасне трагове који говоре да се и онде клима за време квартера осетно мењала, а да је број климатских промена био знатно већи него број горе наведених ледених доба, која су се могла појавити само онда када су климатске промене прекорачиле извесне границе.

Тражећи узроке ових климатских промена, потребно је решити два претходна питања и то: 1) који метеоролошки елемент и 2) које годишње доба долази у питање при формацији ледењака. Два су главна узрока која изазивају пораст ледењака: велики снежни талози и ниска температура, особито она летња. Пре се обично мислило да је од тих двају узрока први важнији и пресудан, но сада се мисли друкчије. За време ледених доба, морале су у Европи и Америци владати сличне климатске прилике какве данас владају на Гренланду и на антарктичком континенту: ниска температура која не допушта да се атмосферски талози који се талоче у чврстом стању отопе, него се они гомилају и стварају реке леда. Тако је Пенк своја и Брикнерова искуства у том погледу саопштио овако: Како, за време ледених доба, снежне пољане нису биле дебље него сада што су, то се стварање глечера за време ледених доба не може објаснити појачаним талозима, него се та појава мора протумачити слабијом аблацијом ледењака проузрокованом нижом летњом температуром. То исто вели и Брикнер, да узрок депресије границе вечног снега не треба тражити у већој количини атмосферских талоба него у мањој суми температуре изнад 0° које служе за отапање леда.

Такве прилике владају, као што је већ речено, сада на антарктичком континенту и на Гренланду. На антарктичком континенту, где су атмосферски талози веома мали, јер онде не дозвољава поларни антициклон приступ влажних струја, а на Гренланду, где постоји северна граница леда, на којој су атмосферски талози тако незнатни да их кратко поларно лето може да отопи. Ту, дакле, не лежи оптимум за стварање ледених поља на самом полу него на географској ширини од каквих 75° .

Горњим констатацијама решено је и оно друго од постављених питања у том смислу да је главни фактор стварања гла-

цијација мањи збир температура које леже изнад 0° . У садањој клими западне Европе, донашају додуше само године са јаким зимама велике количине снега, али ствар стоји друкчије када температура ваздуха лежи већим делом године испод 0° и када је киша изузетна појава, тада баш топлије зиме, обилније циклонима, донашају веће количине снега. Не изазива, дакле, хладноћа најхладнијег месеца или године глатијацију, него недостатак летње топлоте. Да хладноћа сама по себи није довољна да проузрокује глатијацију, показују најочигледније климатске прилике у Сибирији, где се појављују најниже температуре, али где нема ни трага од ледењака, поред свега тога што њен појас који лежи на истим географским ширинама са Гренландом има средњу годишњу температуру која је за пуних 9° нижа него она на Гренланду. Али је зато сибирско лето за 11° топлије него гренландско. Јасно је, дакле, да о глатијацији одлучује температура лета. Зато морамо, тражећи периоде ледених доба у прошлости, обратити пажњу на она доба која су се одликовала хладним летима.

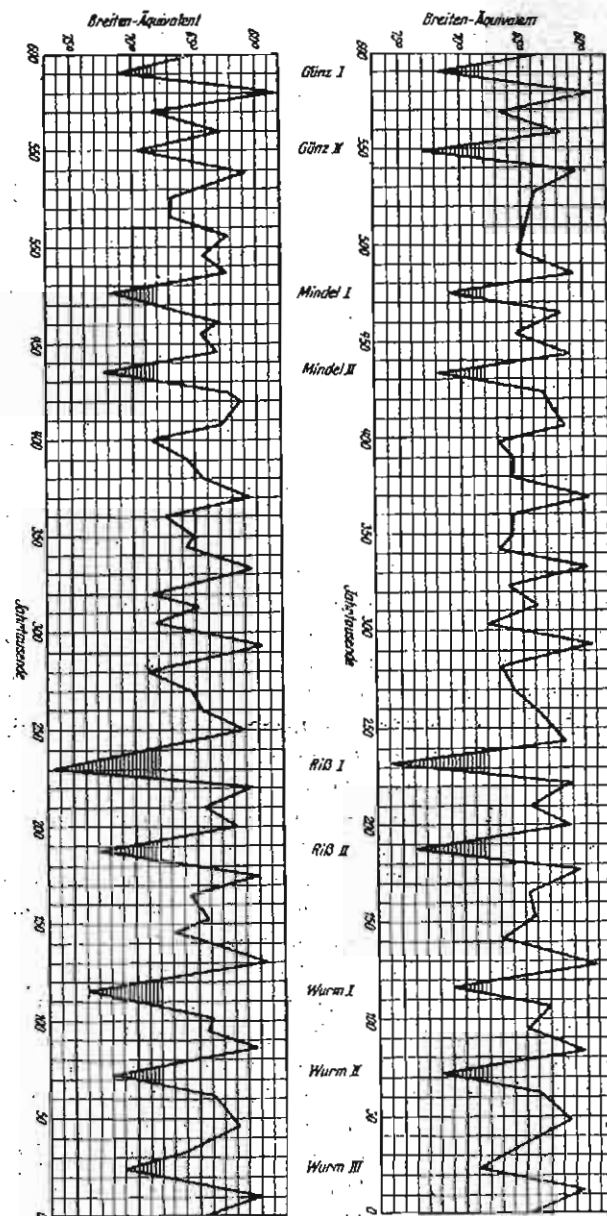
Овим расуђивањима Кепеновим био је и астрономски део проблема ледених доба јасно постављен и мој је задатак био да га мојим рачунима решим. Већи део потребног алата за тај посао био је приправљен мојим споменутим делом, а што је још недостојало, то ја сам израдио у мојој расправи: Калорична годишња доба и њихова примена у палеоклиматском проблему (овај Глас књ. СЛХ 1923). Ваљало је, као што из горњег следеће, испитати што тачније секуларне промене оних топлотних количина што их поједине географске ширине примају за време летње полугодине. Како се дужина годишњих доба, дакле и астрономске летње полугодине мења без престанка секуларно, то је за решење постављеног проблема уведен појам калоричних полугодина, т. ј. оних полугодина које деле тропску годину у две потпуно једнаке половине и од којих летња обухвата све оне дане у којима је инсолација уочења географске ширине интензивнија него ма кога дана друге полугодине. Када је рачунским путем одређен био почетак и свршетак тих полугодина, израчунате су оне топлотне количине што их уочена географска ширина прима у току векова за време летње полугодине. Те количине достизавају своје екстремне вредности онда када дужина перихела буде једнака 90° , односно 270° . Да би се добивени рачунски резултати претставили што очигледније, изражене су се-

куларне варијације топлотних количина помоћу фиктивних промена географске ширине т. ј. одређена је увек она географска ширина која у садашњости прима за време летње полугодине исту количину сунчеве топлоте коју је примала одабрана географска ширина уочене полугодине геолошке прошлости. Добивени рачунски резултати претстављени су графички на тај начин да је геолошко време узето за абсцису, а за ординату фиктивна варијација географске ширине. Моји рачуни обухватили су период од минулих 650000 година, а односили су се на северне географске ширине од 55°, 60° и 65°.

Мој дијаграм објављен је у Кепен-Вегенеровом делу, а одавде је прешао и у друге публикације о којима ће одмах бити говора. Тај дијаграм објављујем поново овде на стр. 39, горња слика, при чему сам се ограничио на географску ширину од 65° и на интервал времена од минулих 600000 година.

Изко сам данас у могућности да споменути дијаграм заменим тачнијим и детаљнијим, добивеним помоћу рачунских резултата, саопштеним у табели на крају ове расправе, то су, сем историјског интереса, говорили и други разлози за поновну публикацију тог дијаграма. При конструкцији тога старог дијаграма, употребљени су за секуларне варијације астрономских елемената бројеви које је израчунао Пилгрим служеће се Стоквеловим обрасцима. При израчунавању табеле 1 на крају ове расправе, употребљени су за варијацију астрономских елемената бројеви које је израчунао Мишковић, служећи се Лавериовим обрасцима. Зато ће упоређење старог и новог дијаграма омогућити контролу старих и нових рачуна. Да би се то упоређење могло што очигледније извршити, извађене су из табеле 1 максима и минима секуларног тока инсолације географске ширине од 65°, па су амплитуде тога тока претстављене графично помоћу промена географске ширине у истом мерилу којим је нацртан стари дијаграм. На тај начин добивени нови дијаграм нацртан је на истој слици испод старог.

Оба дијаграма, стари и нови, имају исти изглед и показују исти ритам тока инсолације; исти број екстрема у скороистим међусобним отстојањима. Њихова разлика показује се само у детаљима и то овим. Времена максима и минима инсолације разликују се у оба дијаграма, додуше, незнатно, т. ј. углови преломљених линија не леже у оба дијаграма тачно једни испод других. То њихово, отступање потиче већим делом од



Сл. 2.

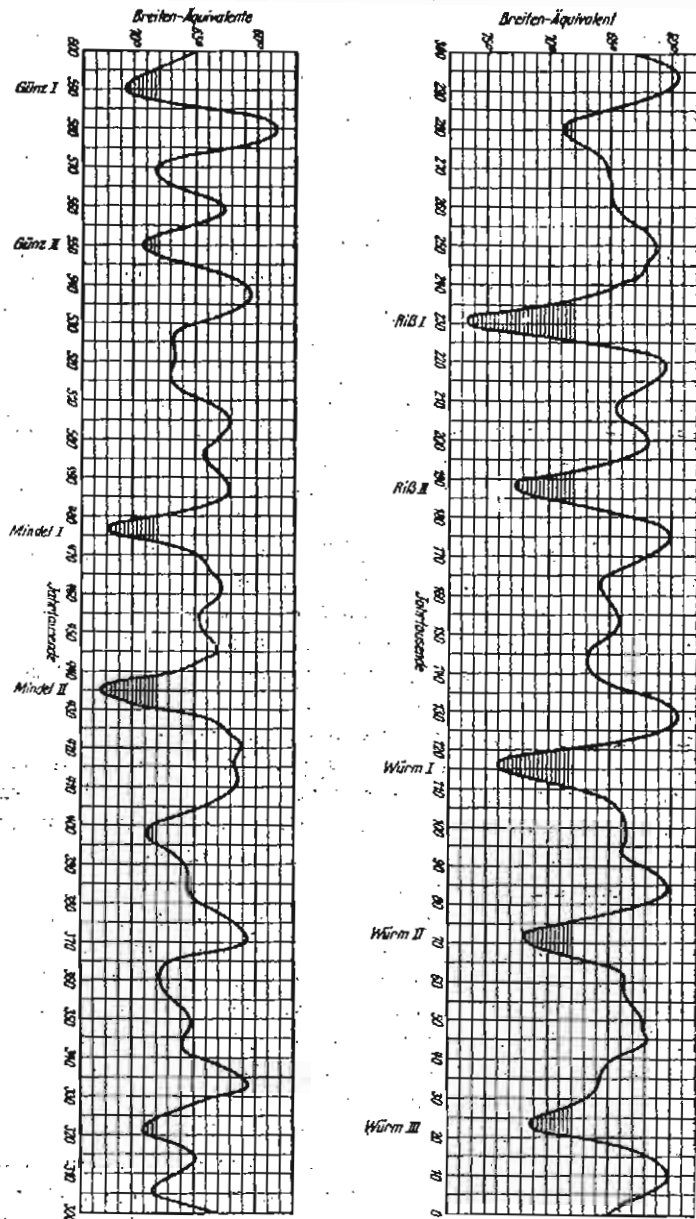
тога што су при конструкцији старог дијаграма времена максима и минима израчуната приближним начином т. ј. та су времена идентификована са онима за која је $\Pi = 90^\circ$ односно $\Pi = 270^\circ$. То није сасвим тачно, јер променљивост елемената e и v помера времена екстрема мало даље, но толико незнатно да је то без утицаја за геолошке конзеквенције. Друга разлика тиче се бројних вредности амплитуда секуларног тока инсолације. Та је разлика нешто већа од оне прве, а има свој узрок у овоме: Рачуни Левериеови и Стоквелови полазе од разних нумеричких вредности планетских маса. Тако је, примера ради, Леверие за однос Земљине (и Месечеве) масе према Сунчевој ставио 1 : 354.936, а Стоквел 1 : 368.689. По Баушингеровој критичној анализи нису ни Левериеове, ни Стоквелове планетске масе довољно тачне, па би, да останемо при горњем примеру, саопштене бројеве ваљало заменити са 1 : 329.350. Мишковић је при својим израчунавањима секуларних варијација астрономских елемената, заиста, и извршио коректуру Левериеових маса по Баушингеровим податцима, док је Пилгрим извршио коректуру само на маси Земље и то непотпуну, служећи се бројем 1 : 335.172, а вршивши ту коректуру само при израчунавању ексцентрицитета Земљине путање и дужине њеног перихела према прелетној тачки године 1850. Остале вредности Стоквелових планетских маса и његове обраце за нагиб еклиптике и за прецесију није Пилгрим исправљао. Сем тога, пате Пилгримови рачуни од нетачних интерполација и других грешака које су погодиле баш онај важни минимум код 22,3 хиљаде година пре 1850. Све ове околности тумаче потпуно све разлике између оба дијаграма, па из њиховог упоређења следује да су оба дијаграма довољно тачна за геолошка испитивања, али да нови дијаграм, при којем су употребљени Мишковићев рачуни, даје већи степен апроксимације, а само о таквом степену апроксимације може бити говора при рачуну пертурбација. Систематске грешке у Пилгримовим рачунима, о којима је мало час било говора, још су увек толико незнатне да се могу испољити тек при абсцисама дијаграма које одговарају давним геолошким временима. Тим се могу и растумачити знатније разлике између оба дијаграма које се указују у интервалу времена које је протекло пре 500 до 600 хиљада година. Поред свега тога, показао је већ први дијаграм све карактеристичне особине секуларног тока Земљине инсолације у толикој мери да су се

из њега могле извући конзеквенције пресудног значаја. Ми ћемо се у следећем служити у главном новим дијаграмом, а стари употребити у колико то буде реферисање захтевало.

Употребе ли се сви бројеви табеле 1 који се тичу 65° географске ширине за графичну претставу, то се место изломљене линије добива таласаста, која са више детаља претставља секуларни ток инсолације уочене географске ширине. Та линија претстављена је на слици 3 у већем мерилу.

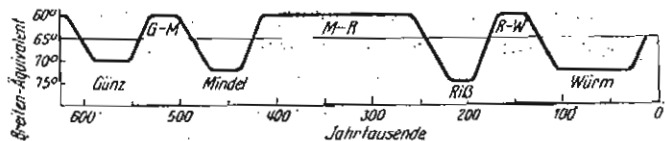
Кепен је, из дијаграма који сам израдио, извукао ове важне закључке. Означели се у том дијаграму они делови где линија инсолације прелази прско 68° географске ширине, то се добивају четири пара временских интервала која су се одликовала врло хладним летима. Временско одстојање између тих интервала одговара оним временима која су Пенк и Брикнер саопштили за интергласијалне периоде између Вирма, Риса Миндела и Гинца. Вероватноћа да нам они парови интервала хладних лета означени на дијаграму претстављају, заиста, набројана ледена доба, појачана је нарочито великим размаком између другог и трећег пара који потпуно одговара великом интергласијалном добу између Миндела и Риса. Кепен поставља због тога питање, да ли један такав пар интервала хладних лета, пресечен у пола интервалом топлијих лета, може оставити за собом траг једног јединственог леденог доба.

Ми ћемо ово специјално питање подробно испитати тек у наредном одељку ове расправе и том приликом упознати и Кепенове аргументе, који је, далековидно, одговорио на постављено питање афирмативно. У наредном одељку биће доказано ово. Као што сам већ споменуо, могуће је помоћу моје математске теорије израчунати из секуларног тока инсолације и секуларни ток летње температуре. Када се ти рачуни изврше долази се до ових резултата. Догод се на уоченом делу Земљине површине не створи снежни покривач, т. ј. догод не дође до глацијација, постоји између секуларног тока инсолације и секуларног тока температуре потпун пропорционалитет, тако да се из инсолационе криве добива једноставним начином температурна; обе криве имају, у том случају, исти облик. За време ледених доба, та пропорционалност више не постоји. За таква времена ваља уочене пределе Земљине површине поделити у ове категорије: у залеђене пределе, у пределе који леже изван залеђених крајева и у пределе који леже између



Сл. 3.

оних двају и у које утичу крајеви глечера са њиховим крајњим моренама. У незалеђеним пределима остаје све онако како је било: ту секуларна крива температуре има исти облик као и секуларна крива инсолације. У осталим двама категоријама предела појављују се разлике између температурне и инсолационе криве: минима температурне криве постају јаче акцентиранија но минима инсолационе криве, у залеђеним крајевима у толикој мери да се два узастопна минима, ако су довољно близу и ако су довољно оштра, могу стопити у један једини интервал велике хладноће. Зато је, заиста, могуће да се, као што је Кепен очекивао, блиски минимума инсолације стопе двоје по двоје у једно ледено доба у оним пределима који леже близу центара глацијације, као што је случај за алпске крајеве, на које се односе Пенкови и Брикнерови закључци. За те крајеве можемо, дакле, суседна минима спојити увек у јединствена ледена доба. Учинимо ли то, служећи се новим дијаграмом сл. 3 то се добива следећа слика 4.



Сл. 4.

Упоредили се ова слика са оном што ју је добио Пенк и која је репродукована на страни 35 то, већ на први поглед, упада у очи идентичан облик ових дијаграма. То подударане које се појавило и при употреби старог дијаграма, определило је Кепен да се најодлучније изјасни да су у дијаграму који сам израчунао оличене све четири главне фазе квартерног леденог доба. Заиста, јасно је да не може бити пуки случај да две такве различне методе, као што је Пенк-Брикнерова емпиријска метода и моја рачунска, даду тако подударне резултате. Немогуће је не дивити се Пенку и Брикнеру како су успели да дужине последњих двају доба која леже између Риса и Вирма, односно после Вирма, одрде скоро апсолутно тачно, а и у дужини великог интерглацијалног доба између Миндела и Риса учине само незначителну грешку.

Када је Кепен дошао до горњег резултата, добијено је при-

испитивању климата квартерног доба чврсто тле под ногама, а математска теорија климата призната је и употребљена као ново поуздано оруђе у том послу. Шта је све, за ово кратко време од публикације Кепен-Вегенеровог дела, постигнуто њеном употребом, о том ћемо укратко да известимо.

Већ је Кепену пошло за руком да подели последњег леденог доба у три засебне фазе, како ју показује мој дијаграм, докаже и на темељу резултата геолошких испитивања. О том ваља ово напоменути. У мом првом дијаграму виде се, додуше, јасно све те три фазе последњег леденог доба, али је онде последња фаза осетно слабија него прве две. По новом дијаграму, та је фаза постала јача.

И последњи максимум летње топлоте могао је Кепен да идентификује са геолошки утврђеним климатским оптимумом, за време којег су храст и лешник прекорачили у свом распрострањању своје садање границе и према северу и у висину.

Подударање између података мојих дијаграма и резултата геолошких испитивања још је много веће но што га је Кепен нашао, када се узму у обзир гранични предели европских глацијација. Овде је, као што смо већ споменули, температурна крива имала исти облик као и инсолациона, само са том разликом да су у температурној криви миними били појачани. Иста та појава настапа када се инсолациона крива конструише тако, да њене осцилације показују фиктивне промене географске ширине, као што је то учињено у споменутим дијаграмима. И у том случају се минимума испољавају јаче, јер у поларним крајевима, при једнакој промени инсолације, одговара вишим ширинама већа промена фиктивне географске ширине. Зато показују они дијаграми веома тачно секуларни ток температуре граничних крајева, т. ј. оних између залеђених и незалеђених предела, па су зато веома подесни за испитивање климатских промена тих предела.

Први који је такво испитивање, и то у врло великом обиму, извео, био је В. Сергел. Он је том питању посветио једну нарочиту монографију: *Soergel, Die Gliederung und absolute Zeitrechnung des Eiszeitalters*. Berlin 1925. Увидевши да ће се све фазе леденог доба најјасније испољити на оквиру залеђених предела, он је, већ пре публикације своје споменуте монографије и пре публикације Кепен-Вегенеровог дела, предузео да испита и класификује све фазе леденог доба у граничним пре-

делима глацијација у Немачкој. У тим крајевима сведоче многи геолошки документи о климатским променама прошлих доба. Његова испитивања, која су извршена била пре но што је он и видео мој дијаграм, дала су неочекивани резултат да се све климатске промене које је он констатовао из геолошких докумената налазе у истом реду и у истој јачини оличене у мојем дијаграму. Свих девет температурних минимума који се налазе уцртани у дијаграму, оставили су свој јасни траг на лицу Земљином, и Сергелу је успело да их идентификује са дилувијалним терасама Илма и Сале, па и на Вери и Везери.

Испитивањима Сергеловим доказано је да су сва четири ледена доба Пенка и Брикнера била сложена из више фаза. Прва три од тих доба имала су по две фазе, а четврто три, као што то показује и захтева мој дијаграм. Но Сергел је нашао да су не само главних девет минимума температуре, које налазимо на дијаграму, оставили јасног трага на лицу Земљином, него су и споредна минимума толико утицала на климу прошлости да су нека од њих оставили такође свој траг у крајевима где је Сергел вршио своја испитивања. Ту је он нашао још две терасе које је идентификовао са минимумима 305 и 140 мог дијаграма и назвао те фазе Пре-Рис и Пре-Вирм. То идентификовање споредних минимума температурне криве са геолошки утврђеним траговима климатских промена скопчано је са извесним несигурностима, јер мој дијаграм показује више таквих споредних минимума скоро истог интензитета. Зато није ни чудо, да су у погледу тих споредних минимума други научници другог мишљења но Сергел. Тако је Граман у својој расправи, *Grahmann, Ueber die Ausdehnung der Vereisungen Norddeutschlands und ihre Einordnung in die Strahlungskurve*. Berichte der math.-phys. Klasse der sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig. Bd. LXXX. (1928) провео другу идентификацију споменutih тераса са појединим фазама мог дијаграма. Мој нови дијаграм, израђен са више детаља, и новија геолошка испитивања решеће, вероватно, и то детаљно питање.

Граман је у својој расправи испитао и решио још једно важно питање. Де-Тер и његови ученици изобразили су један нов метод за одређивање старости геолошких слојева и климатских промена који је сасвим различит од астрономског начина, а који се може применити само на доба иза последње глацијације. Као што се у пресеку дрвенога стабла могу избројати

његови годишњи прстени и тим одредити његова старост, тако је у извесним наносима Скандинавије и Северне Америке свака година оставила свој траг. Те трагове назвали су Де Гер и његови ученици варвама и показали како се из ритма њихових узастопних дебљина могу идентификовати и повезати такви слојеви који не леже на истом месту. Бројање тих слојева омогућава одредбу њихове старости. Прве такве одредбе старости слојева и климатских осцилација нису се подудариле са последњим таласом моје температурне криве него су за послеглацијално доба дале краће време но што га даје мој дијаграм. Доцнија израчунавања Де Герове школе дала су међутим друге резултате који су се толико приближили податцима мојег дијаграма, да је Граман могао да констатује да је веза између ова разна метода геолошке хронологије добивена. После публикације мог новог дијаграма то подударање биће још очигледније, јер тај нови дијаграм показује интензивнију балтичку фазу, а сем тога, ваља узети у обзир ово. У овој расправи биће доказано да, као што се између дневног, односно годишњег тока инсолације и одговарајућег тока температуре појављује померачке фазе, јер максимум дневног тока температуре не пада у подне, нити се максимум годишњег тока температуре поклапа са данима сунчевог солстиција, тако се исто између секуларног тока инсолације и секуларног тока температуре мора указати фазна разлика. Услед тога ће се екстремни температурног тока и климатских промена померити у скали дијаграма нешто према садашњости, тако да се и у последњем таласу температурне криве показује потпуно подударање са резултатима геолошког испитивања.

Велики интерес који су немачки научници показали за моју астрономску теорију климатских промена и успеси које су они у њеној примени постигли документује се нарочито и у једном делу које је недавно публикувано. То је: Eberl, Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorlande. Augsburg 1930. Историјат тог великог дела толико је везан са мојом теоријом да је потребно да и о њему нешто споменем.

Област у којој је Еберл вршио своја испитивања је предео северно од Алпа између Леха и Илере. Тај предео назвао је Пенк Лех-Илерском плочом и у њему је и он сам вршио своја класична испитивања. У том крају очувале су се све фазе четвртог леденог доба у свима својим појединостима боље него

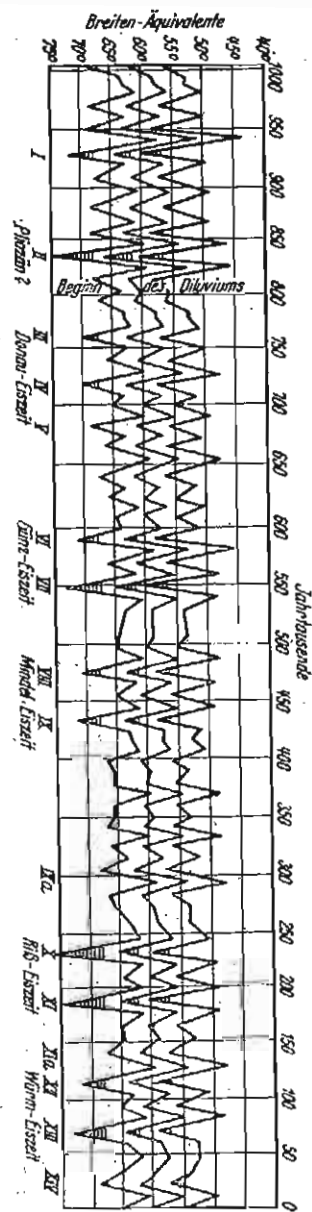
игде на другом месту. Када је Еберл после дугогодишњег испитивања открио, описао и графички претставио сва узастопна сведочанства о леденим добима која су се на том месту одиграла, нашао је, пре свега, ово. Пенкова ледена доба Гинц, Миндел и Рис имала су свако по две фазе, а последње доба, Вирм, имало их је три. Интергласијално доба између Миндела и Риса било је куд и камо дуже од свих осталих интергласијалних доба. На темељу геолошког материјала, пошло је Еберлу за руком да квантитативно одреди интензитет појединих фаза тих ледених доба, па је нашао да је у Рису била прва фаза, а у Вирму друга које су биле јаче од осталих. Све те резултате својих испитивања саопштио је Еберл у једном свом предавању које је одржао 29 јануара 1924 у геолошком удружењу у Минхену, дакле пре публикације мога дијаграма у Кепен-Вегенеровом делу.

Годину дана пре тога, 12 јануара 1923, имао је Кепен у рукама мој дијаграм који је октобра месеца 1924 саопштио научном свету и том приликом растумачио поједина минимума тог дијаграма као поједине фазе Пенкових ледених доба. У том дијаграму показују ледена доба Гинц, Миндел и Рис, свако по две јасне фазе, док се у Вирму показала и трећа фаза која се мојим новијим испитивањима још јасније испојила. И у том дијаграму је интергласијално доба између Миндела и Риса далеко дуже од осталих интергласијалних доба, и овде је прва фаза Риса јача од друге, а друга фаза Вирма јача од осталих двеју.

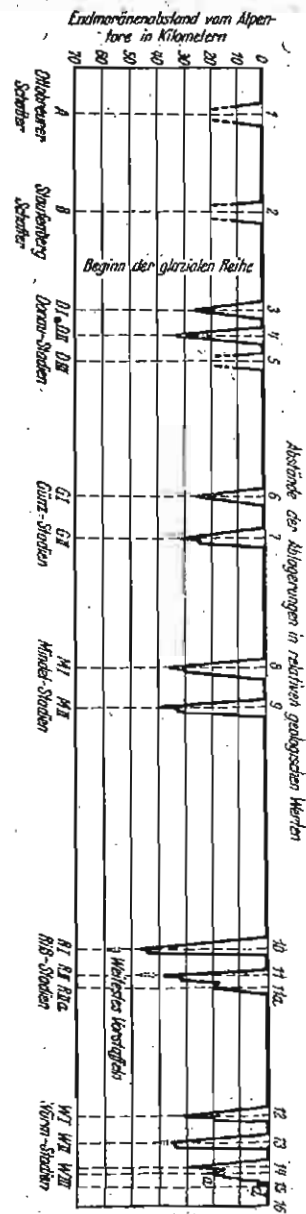
Када је Еберлу мој дијаграм дошао у руке и он, са разумљивим изненађењем, видео потпуно подударање тога дијаграма са резултатима његових властитих испитивања, обратио се он у следећој ствари мени. Посредовањем Кепена, саопштио ми је он да је у области својих испитивања наишао и испитао један слој старог шотера који се по свом висинском положају и по свој изгледу издваја из осталих и који мора да је био стаљен већ пре Гинца. Тај шотер нашао је Еберл онда у два засебна хоризонта, а касније је нашао и трећи његов слој. Даље ми је Еберл саопштио да је, високо горе на Штауферсбергу, нашао још један слој шотера који је био још старији од оног првог. Питање да ли се и ти старији слојеви не би могли довести у везу са мојим температурним кривама и тиме одредити астрономским путем њихова старост, определило је Еберла да ме замоли да моје температурне криве продужим и преко 650-хиљадите године пре садашњости.

На тај позив, ја сам израчунао и Еберлу послао дијаграм, претстављен у слици 5. При израчунавању тог дијаграма показало се да, продирањем у даљу прошлост, секуларни ток инсолације мења свој изглед. Место двоструких узастопних минима појавила су се, одељена дугим размаком од Гинца, три суседна минима, а у даљој прошлости два изолована минима у великом размаку један од другог. Испитивања Еберлова показала су да су се све те фазе, како их је показао мој дијаграм, испољиле у давној прошлости и оставиле свога трага. То показује јасно Еберлов стратиграфски дијаграм репродукован у слици 6. У том Еберловом дијаграму претстављају абсцисе временска отстојања појединих слојева изражена у релативним геолошким вредностима. Ти временски размаци показују исти ритам као и временски размаци минима инсолације у мојем дијаграму. У мојем дијаграму показују се пред Гинцом три узастопна минима инсолације, па их је Еберл могао идентификовати са она три слоја шотера о којима је мало час било говора. Те слојеве назива Еберл дунавским стадијумом леденог доба и ставља овај као почетни члан целокупног леденог доба, пред Пенкову серију. Она два изолована минимума инсолације који се у мом дијаграму показују у још давнијој прошлости идентификовао је Еберл са давно траженим плиоценским шотером који је он нашао у два разна слоја и назвао их именима штауфенбершки и отобајерски шотер.

Еберлов дијаграм добива своје потпуно значење за астрономску теорију климатских промена када се узме ово у обзир. У том дијаграму унете су као ординате она просторна одстојања која су прекрилила поједине фазе алпских квартерних глечера у пределу испред Алпа. Та отстојања означена су на терену крајњим моренама тих глечера; једино морене најстаријих фазанису се очувале. Зато нам ординате Еберловог дијаграма претстављају геометријске величине којих је одредба ослобођена свих субјективних момената и тумачења. Узме ли се још у обзир да та на терену природом означена отстојања, леже по својој величини између граница од 25 до 50 километара, то је јасно да су она могла бити тачно измерена и да њихове релативне величине не зависе од случајности. Зато Еберлов дијаграм претставља релативне интензитете појединих фаза леденог доба веома поуздано. Подударане тог Еберловог дијаграма било је са мојим старим дијаграмом неочекивано добро, са мојим новим дијаграмом.



Сл. 5.



Сл. 6.

оно је потпуно. По Еберловом дијаграму био је релативни однос интензитета Пенкових ледених доба овај: Миндел јачи од Гинца, Рис јачи од Миндела, Вирм опет нешто слабији. Исти однос интензитета показује и мој дијаграм. По Еберлу је била друга фаза Миндела јача од прве, а прва фаза Риса јача од друге. То исто показује и мој дијаграм. Да је друга фаза Гинца, а и друга фаза Вирма морала оставити јачег трага но што то сле-дује из инсолационе криве, видећемо у следећим одељцима ове расправе. Зато постоји потпуно подударење између Еберлових података, добивеним мерењем на терену, и мојих, добивених астрономским рачуном. Са Еберловим дијаграмом чврсто је склоп-љен обруч доказа да је секуларни ток инсолације био главни узрок свих већих климатских промена кварталног доба.

IV.

Сви резултати палеоклиматских испитивања о којима је мало час реферисано добивени су помоћу дијаграма секуларног тока инсолације, које сам израдио за Кепен-Вегенерово односно за Еберлово дело. Ти дијаграми тичу се летних количина сунчане топлоте и односе се на северне географске ширине од 55° , 60° и 65° . Од интереса је долунити тако добивену слику на тај начин да се узму у обзир и остале географске ширине, не само северне него и јужне, а да се поред летних количина сунчане топлоте узму у обзир и зимске. Сви податци за такав подухват садржани су у табlici 1 саопштеној на крају ове расправе. Такве графичне претставе секуларног тока инсолације биће, из техничких разлога, објављене на другом месту. Овде ћемо опи-сати само главне особине тога тока, а и секуларног тока тем-пературе који је са овим у тесној вези.

Математска теорија климата, којој сам посветио два засебна дела, пружа сва потребна сретства да се из секуларног тока инсолације рачунским путем изведе секуларни ток температуре. Потребно је да растумачимо шта ваља разумети под тим тем-пературним током. По споменутој теорији рачунски добивена температура била би она која би владала на уравниој Земљи-ној површини, дакле у средњој висини континента т. ј. у висини од каквих 100 метара. Без осетне грешке дозвољено је ту температуру идентификовати са температуром у висини морске површине. Због тога ваља под секуларним током температуре

разумети секуларне варијације температуре у висини морског нивоа, као последице промењеног распореда сунчеве инсолације по површини Земље. Утицај површинског рељефа континента и његове промене услед огромног нагомилавања леда, за време ледених доба, биће испитан и описан у наредном одељку.

Да бисмо теоретски извели тако дефинисани секуларни ток температуре, уочимо једно произвољно место Земљине површине на географској ширини φ и једну произвољну годину t геолошке прошлости. За време једног тачно одређеног временског интервала те године, рецимо једног годишњег доба, нека пристиже на горњу границу атмосфере, просечно рачуната, дакле у јединици времена (минута) и на јединицу површине (cm^2) количина W сунчеве топлоте. Истом таквом годишњем добу садашњости нека одговара место количине W количина W_0 . Онда се разлика

$$(1) \quad \Delta W = W - W_0$$

назива секуларном променом инсолације уоченог годишњег доба.

Нека u буде средња температура доњег слоја ваздуха за време уоченог годишњег доба године t геолошке прошлости, т. ј. апсолутна температура

$$(2) \quad \Theta = 273^{\circ} + u$$

Ова температура може се, као што је у споменутим делима показано, израчунати из инсолације W помоћу обрасца

$$(3) \quad \sigma \Theta^4 = \frac{1}{2} (1 - A) (1 + kM) W$$

У овом обрасцу претставља σ константу Стефановог закона, A рефлексионну способност Земље и њене атмосфере, k абсорпциони коефицијент атмосфере за тамне зраке, а M масу стуба атмосфере који се уздиже над јединицом површине.

Садашњости нека одговарају, место величина u , Θ , A , k ове u_0 , Θ_0 , A_0 , k_0 , онда постоје једначине

$$(4) \quad \Theta_0 = 273^{\circ} + u_0$$

$$(5) \quad \sigma \Theta_0^4 = \frac{1}{2} (1 - A_0) (1 + k_0 M) W_0$$

Маса M атмосфере остала је у (5) непромењена, јер ни-какви знаци не говоре да се је она могла променити за време

геолошког доба које овде долази у обзир. Разноликост вредности величине A за садашњост и за прошлост потиче услед тога што је ледени покривач леденог доба био у стању да осетно промени рефлексиону способност Земљине површине. Промена величине k могла би наступити осетнијом променом водене паре или угљене киселине, садржане у атмосфери. Из теоретске могућности такве промене извели су Архениус и де Марки своје хипотезе ледених доба, данас потпуно напуштене. Зато ћемо ставити

$$(6) \quad k = k_0,$$

чим није речено да не могу наступити локалне промене величине k .

Из предњих једначина следује

$$(7) \quad \left(\frac{\Theta}{\Theta_0}\right)^4 = \frac{1 - A}{1 - A_0} \frac{W}{W_0}$$

$$(8) \quad \sigma(\Theta^4 - \Theta_0^4) = \frac{1}{2}(1 + k_0 M) [(1 - A)W - (1 - A_0)W_0]$$

а из (2) и (4)

$$\Theta^4 - \Theta_0^4 = 274^4 \left[\left(1 + \frac{u}{273}\right)^4 - \left(1 + \frac{u_0}{273}\right)^4 \right]$$

Узме ли се у обзир да су $\frac{u}{273}$ и $\frac{u_0}{273}$ мали бројеви, тако да се њихове више потенције могу занемарити према јединици, то се добија применом биномског обрасца

$$\Theta^4 - \Theta_0^4 = 4 \cdot 273^3 (u - u_0)$$

Секуларна разлика температуре претстављена је изразом

$$(9) \quad \Delta u = u - u_0,$$

па је зато

$$(10) \quad \Delta u = \frac{1 + k_0 M}{8\sigma 273^3} [(1 - A)W - (1 - A_0)W_0]$$

Узму ли се, за сада, у обзир само они крајеви Земљине површине који за време ледених доба нису лежали под снежним покривачем, или примене ли се горња расуђивања на инергијалне периоде некад залеђених крајева, по ваља ставити

$$A = A_0,$$

па се у овом случају добија место (10)

$$(11) \quad \Delta u = (1 - A_0) \frac{1 + k_0 M}{8\sigma 273^3} \Delta W.$$

Израз

$$(12) \quad n = (1 - A_0) \frac{1 + k_0 M}{8\sigma 273^3}$$

претставља једну константну величину коју смо означили са n , па је зато

$$(13) \quad \Delta u = n \Delta W.$$

У незалеђеним крајевима је, дакле, секуларна промена температуре пропорционална секуларној промени инсолације.

За израчунавање константе n ваља употребити ове податке: $A_0 = 0,40$; $k_0 = 0,00245$; $M = 1033,3$; $\sigma = 0,76 \cdot 10^{-10}$ (све у центиметар-грам-минута систему), па се тај начин добија заокружено

$$(14) \quad n = 170.$$

Ова теоретски одређена вредност за n , која важи као средња вредност за све географске ширине, може се заменити емпиријском вредности која се налази на следећи начин и у којој долазе до израза локалне особине уоченог предела. Из предњих једначина следује

$$\left(\frac{\Theta_0 + \Delta u}{\Theta_0}\right)^4 = \frac{W_0 + \Delta W}{W_0}$$

т. ј.

$$\left(1 + \frac{\Delta u}{\Theta_0}\right)^4 = 1 + \frac{\Delta W}{W_0}$$

или занемаривањем виших потенција маленог броја $\frac{\Delta u}{\Theta_0}$

$$\Delta u = \frac{1}{4} \frac{\Theta_0}{W_0} \Delta W.$$

Стави ли се, дакле,

$$(15) \quad n = \frac{1}{4} \frac{\Theta_0}{W_0},$$

то се добија опет једначина (13), али се вредност коефицијента

p може одредити помоћу посматране вредности температуре Θ_0 .

Хоћемо ли добивене једначине да употребимо за израчунавање секуларних варијација средње температуре летње или зимске полугодине, то ваља ово узети у обзир. У обрасцу (13) ваља за ΔW ставити средњу т. ј. по јединици времена израчунату, инсолацију у грам-калоријама. У табlici 1, на крају ове расправе, саопштене су секуларне варијације летњих; односно зимских топлотних количина Q_e и Q_h у каноничким јединицама, т. ј. за $I_0=1$; $T=100.000$. Пошто је у ствари $T=526.000$ минута, а $I_0=2$ грам-калорије по cm^2 , то треба бројеве споменуте таблице помножити са $\frac{2 \times 526.000}{100.000}$. Но како калоричне полугодине имају свака дужину од $\frac{1}{2} 526.000$ минута,

то ваља добивене бројеве још поделити са $\frac{1}{2} 526.000$. Једном речи, бројеве таблице ваља помножити са $\frac{4}{100.000}$

На тај се начин добива за секуларну варијацију средње температуре летње полугодине овај образац

$$\Delta u_e = \frac{4p}{100.000} \Delta Q_e$$

т. ј. због (14)

$$(16) \quad \Delta u_e = 0,0068 \Delta Q_e$$

Секуларна варијација средње температуре зимске полугодине дата је овим изразом

$$(17) \quad \Delta u_h = 0068 \Delta Q_h$$

Секуларна варијација средње годишње температуре дата је изразом

$$(18) \quad \Delta u_r = \frac{1}{2} (\Delta u_e + \Delta u_h)$$

У метеоролошкој пракси оперише се обично са средњим температурама најтоплијег и најхладнијег месеца, и средњом годишњом температуром, зато ћу да покажем како се секуларне варијације тих температура израчунавају.

Годишњи ток температуре претстављен је, када се ради о

температури на континенту, која једино долази овде у обзир, доста тачно синусном линијом. Тај ток претстављен је, према томе, обрасцем

$$(19) \quad u = u_r + a \sin \frac{2\pi}{T} t$$

где u_r означава средњу годишњу температуру, а T дужину тропске године. Овај образац нека претставља годишњи ток температуре уочене године геолошке прошлости. За садашњост вреди овај образац

$$(20) \quad u_0 = u_r^0 + a_0 \sin \frac{2\pi}{T} t$$

У горњим обрасцима представљају a и a_0 амплитуде годишњег тока температуре. Јасно је да је

$$(21) \quad u_r - u_r^0 = \Delta u_r$$

Означимо са u_e и u_h средње температуре летне односно зимске полугодине, то је

$$u_e = \frac{T}{2} \int_0^{\frac{T}{2}} u dt; \quad u_h = \frac{T}{2} \int_{\frac{T}{2}}^T u dt,$$

одакле применом (19) и интегрисањем следује

$$(22) \quad u_e = u_r + \frac{2}{\pi} a; \quad u_h = u_r - \frac{2}{\pi} a$$

Средње температуре најтоплијег односно најхладнијег месеца уочене године геолошке прошлости u_1 и u_2 претстављене су овим изразима

$$u_1 = \frac{T}{12} \int_{\frac{T}{4} - \frac{T}{24}}^{\frac{T}{4} + \frac{T}{24}} u dt; \quad u_2 = \frac{T}{12} \int_{\frac{3}{4}T + \frac{T}{24}}^{\frac{3}{4}T - \frac{T}{24}} u dt$$

одакле применом (19) и интегрисањем следује

$$(23) \quad \frac{u_1}{6} = \frac{u_r}{6} + 0,2588 \frac{2}{\pi} a; \quad \frac{u_2}{6} = \frac{u_r}{6} - 0,2588 \frac{2}{\pi} a$$

За садашњост добивају се на исти начин ови изрази

$$(24) \quad u_e^0 = u_r^0 + \frac{2}{\pi} a_0; \quad u_h^0 = u_r^0 - \frac{2}{\pi} a$$

$$(25) \quad \frac{u_1^0}{6} = \frac{u_r^0}{6} + 0,2588 \frac{2}{\pi} a_0; \quad \frac{u_2^0}{6} = \frac{u_r^0}{6} - 0,2588 \frac{2}{\pi} a_0.$$

Из (21) до (25) следује, узевши у обзир (18) и то, да је

$$\Delta u_1 = u_1 - u_1^0; \quad \Delta u_2 = u_2 - u_2^0; \quad \Delta u_e = u_e - u_e^0; \\ \Delta u_h = u_h - u_h^0$$

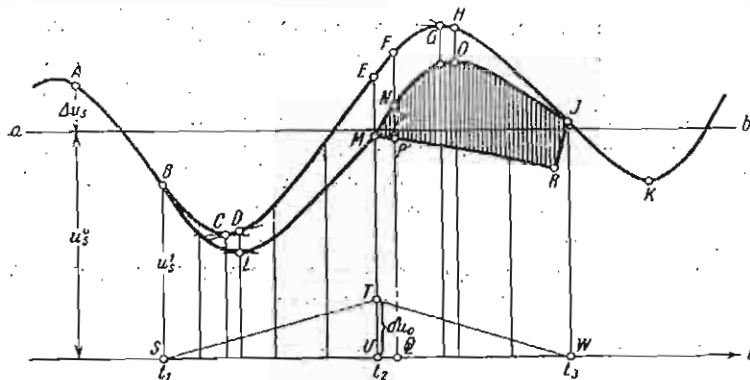
$$(26) \quad \begin{cases} \Delta u_1 = \Delta u_e + 0,2764 (\Delta u_e - \Delta u_h) \\ \Delta u_2 = \Delta u_h + 0,2764 (\Delta u_h - \Delta u_e). \end{cases}$$

На тај начин могу се из секуларних варијација средње годишње и средње летње, односно зимске температуре израчунати секуларне варијације средњих температура најтоплијег односно најхладнијег месеца у години. Под овим месецима треба разумети екстремне месеце т. ј. интервале од 30,44 најтоплијих односно најхладнијих дана у години. Са календарским месецима не може се при оваквим испитивањима већ због тога оперисати, што се наш календар, ни јулијански ни грегоријански, не поклапа са стварним током сунчаних година. Тако заостаје јулијански календар, чија је година узета за временску јединицу у Лёвериеовим и Стоквеловим рачунима, сваких 128 година за цео дан иза стварног тока годишњих доба, па би, већ за време једне дванаестине уоченог интервала геолошког времена, пролетни еквinoxиум дошао до коинциденције са свима календарским данима године.

Добивени резултати омогућавају заједничку графичку претставу секуларног тока инсолације и секуларног тока температуре; добивене криве ваља само очитати разним мерилима, једним за топлотне количине, а другим за температуре. Таква претстава биће објављена, као што је речено, на другом месту.

V.

Када би наша Земља имала потпуно уравниену површину, она би, као и Марс, имала своје поларне калоте снега, али не би носила на својој површини никакве глечере, нити би преживела била своја ледена доба, јер за такве појаве је присуство брда неопходна потреба. Зато је, приступајући сада рачунском испитивању ледених доба, потребно да у математске изразе



Сл. 7.

уведемо поред елемената φ (географска ширина) и t (геолошко време) и један нови елемент: надморску висину x уоченог предела Земљине површине. Зато је, пре свега, потребно да средњу температуру летње полугодине изразимо као функцију од φ , t и x , дакле да је претставимо изразом овог облика.

$$(27) \quad u_e(x) = f(\varphi, x, t).$$

Но, пре но што приступимо том послу, испитаћемо, у његовим главним цртама, механизам глацијација.

Уочимо произвољно место Земљине површине на географској ширини φ , па означимо, као и до сад, његову садању, на морску површину редуковану средњу температуру летње полугодине са u_e^0 . Конструирајмо сада секуларну инсолациону, односно температурну криву за уочену географску ширину. Одаберимо, дакле, абсцисну осу за скалу геолошког времена, повуцимо у одстојању u_e^0 од те осе паралелну праву $a-a$ и пренесимо од те праве у правцу ордината секуларне промене ΔQ_e , дате таблицом I или одговарајуће температурне промене $\Delta u_e = 0,0068 \Delta Q$, то ћемо на тај начин добити криву A B C D E F G H J K (слика 7), која ће нам претстављати секуларни ток средње летње температуре u_e или средње летње инсолације Q_e ; према томе да ли ординате меримо температурним или топлотним мерилем. Под температуром u_e ваља разумети температуру, редуковану на висину морске површине.

Кад надморска висина уоченог дела Земљине површине не би никде осетно премашила напред саопштену величину од

100 метара, онда би се уочени предео могао само онда покрити вечним снегом кад би се, у току геолошког доба, летња температура u_e спустила до нуле, а то би могло наступити само у поларним крајевима. У таквом случају би уочени предео био у ствари захваћен поларном капог: снега, која секуларно мења своје распрострањење. Ако се на уоченом пределу нађазе брда, или ако се тај предео уздиже осетно изнад површине мора, онда ће се на њему појавити снежни покривач, који се за време лета не би отоплио онде, где његова надморска висина x и геолошко време t задовоље ову једначину

$$f(\varphi, x, t) = 0.$$

Означимо ли, према томе, са h_1 надморску висину највиших врхова уоченог предела, то ће прво формирање вечног снега и први трагови глацијације наступити у моменту t_1 геолошког доба које задовољи једначину

$$(28) \quad f(\varphi, h, t_1) = 0.$$

Том моменту нека одговара у секуларној температурној криви тачка B и средња температура u_e^1 лета, редукована на морску површину. Та температура u_e^1 је, природно, виша од температуре u_e у висини h_1 , т. ј. $u_e^1 > u_e$.

Са стварањем таквог снежног покривача уоченог предела који се не отапа за време лета, претрпиће и инсолација предела постепено, али све јачу и јачу промену. Секуларни пад летње температуре проузроковаће секуларно силажење границе вечног снега, услед чега ће све пространији и пространији делови уоченог предела долазити под снежни и ледени покривач, којим се лети неће моћи отопити. Тим ће се стално увечавати и рефлексиона способност A уоченог предела, па ће све већи и већи делови сунчеве радијације бити, неискоришћени за топлотни домазлук Земље, враћани у васиону. Зато ће се, при израчунавању соларних температура уоченог предела, морати употребљавати једначина (10), која предвиђа такво мењање величине A . Како ће се у таквом случају израчунати секуларни ток температуре, биће показано доцније, но сад је већ очигледно да ће се температурна крива, која ће одговарати новим приликама, у тачки B одвојити од првобитне криве $A B C D E F$.

Залеђивање уоченог краја услед пада летње температуре распрострањаваће се док не буде достигнута његова крајња гра-

ница која ће зависити од конфигурације предела и од амплитуде секуларног тока инсолације. Та крајња граница распрострањења нека буде достигнута у моменту t_2 геолошког доба који ћемо моменат одредити доцније. У том је моменту и дејство снежног покривача на температурне прилике достигло своју максималну вредност коју ћемо означити са δu_0 , а рачунски одредити доцније. Дозвољено је претпоставити да је дејство δu снежног покривача за време временског интервала t_1 до t_2 расло пропорционално времену; у моменту t_1 било је оно једнако нули, а у моменту t_2 једнако δu_0 . Зато можемо то дејство претставити ординатама праве $S T$, ако учинимо $UT = \delta u_0$, при чему треба да тачка S одговара у временској скали моменту t_1 , а тачка T моменту t_2 . Зато ћемо добити графичну претставу секуларног тока температуре уоченог краја, у доба развитка његове глацијације, ако ординате криве $B C D E$ умањимо за ординате праве $S T$, т. ј. ове последње пренесемо од одговарајућих тачака криве $B C D E$ на доле. На тај начин добићемо лук $B L M$, а његове ординате претстављаће нам средњу, на морски ниво редуковану, температуру лета као функцију времена. Та нова крива неће имати своју најнижу тачку L испод најниже тачке C првобитне криве $B C D E$, него, као што је лако увидети, испод тачке D , у којој је тангента положена на криву $B C D E$ паралелна правој $S T$. Но тачка L неће одговарати максимуму глацијације уоченог предела, иако је то најнижа тачка температурног тока, мереног у висини морске површине; јер са стварањем леденог покривача ступа један нов климатски фактор у акцију: промена површинског рељефа залеђеног краја. Та промена и њене климатске последице могу постати веома замашне. У току ледених доба достигао је ледени покривач у Европи дебљину од једног километра, а у Северној Америци дебљину од два километра. Све када се узму у обзир тектонска померања и изостатско слегање континенталних плоча, лежала је, у оно доба, површина залеђених крајева онолико изнад мора. Одатле опет следује да је површини залеђених крајева одговарала средња летња температура за 7° до 14° нижа, но што је показује крива $B L M$. Означимо ли, према томе, са h_2 надморску висину површине залеђеног предела, то је топлење леда могло тек онда отпочети кад је у тој висини температура лета $u_e(h_2)$ достигла и премашила нулу. Тај временски моменат означили смо са t_2 ; он ће се моћи израчунати из једначине

$$(29) \quad f(\varphi, h_2, t_2) = 0,$$

што ће бити касније учињено.

У моменту t_2 отпочеће, дакле, топљење леденог покривача, а бити довршено у моменту t_3 који ћемо доцније рачунски одредити. И сада је дозвољено претпоставити да ће смањивање леденог покривача тећи пропорционално времену. У истој мери опадаће и дејство снежног покривача на температуру уоченог краја. У моменту t_2 било је то дејство δu_0 , у моменту t_3 биће оно једнако нули. Зато ће то дејство бити претстављено ординатама праве TW , при чем тачка W лежи у временској скали код t_3 . Зато бисмо, слично као и пре, добили слику секуларног температурног тока у висини морске површине, кад бисмо ординате лука $EFGHJ$, смањили за ординате праве TW . На тај начин бисмо добили лук $MNOJ$, а највиша тачка O овог лука лежала би изнад тачке H криве $EFGHJ$, у којој је тангента паралелна правој TW .

Но, потрошња сунчеве топлоте за топљење снега и леда неће дозволити секуларни пораст $MNOJ$ температуре, него ће се указати слабији пораст температуре претстављен на слици луком $MPRJ$, о чијој ће одредби бити још говора. Зато ће се секуларна температурна крива прикључити првобитној, која би важила за незалежене крајеве, тек у тачки J . У моменту t_3 који одговара тој тачки, отопљен је цео лед, ледено доба је завршено а отпочиње интергласијално доба. За даљи секуларни ток температуре важи лук JK првобитне криве. Испревлачена површина $MPRJONM$ претставља, кад се при њеном премерању употреби временско и топлотно мерило, ону топлотну количину која је за време интервала t_2 до t_3 била употребљена за отапање и одстрањивање леда. Ако је дебљина леденог покривача позната на темељу геолошког испитивања, онда се може рачунским путем, као што ћемо видети, одредити лук $MPRJ$ секуларне температурне криве, а тиме и моменат t_3 геолошке прошлости.

Сада, пошто смо се упознали са механизмом феномена гласијације, можемо приступити математском описивању и испитивању те појаве.

Потребно је, пре свега, наћи аналитички облик функције (27). Сва потребна сретства за тај подухват развијена су у тој расправи «О осцилацијама температуре у разним слојевима

Земљине атмосфере», која је објављена у овом Гласу, књига СХХХIV. Ту је показано да је годишњи ток температуре у надморској висини x претстављен овим изразом

$$(30) \quad u(x, t) = u_m(x) + a_1 B(x) \cos \frac{2\pi}{T} [t - \varepsilon(x)],$$

где $u_m(x)$ претставља средњу годишњу температуру у висини x , T дужину тропске године, а t време, мерено од летњег солстиција. Величине $\varepsilon(x)$ и $B(x)$ дате су у табlici, саопштеној у споменутој расправи и то за разне висине x . У тој расправи изведене су и ове једначине

$$(31) \quad u_m(x) = u_r + b(e^{-\frac{x}{H}} - 1)$$

$$(32) \quad b = \frac{1}{8} \frac{(1-A)a_0}{273^2 \sigma} kM,$$

где u_r претставља средњу годишњу температуру у висини x . Пошто се ради о ограниченим висинама, то израз (31) можемо заменити овим

$$u_m(x) = u_m(0) + \frac{\partial u_m(0)}{\partial x} x.$$

Тако добивамо

$$(33) \quad u_m(x) = u_r - \frac{b}{H} x$$

Апсолутно мерена средња годишња температура у висини $x=0$, т. ј.

$$(34) \quad \Theta_r = 273^\circ + u_r$$

може се израчунати помоћу једначине (3), па је зато

$$(35) \quad \sigma \Theta_r^4 = \frac{1}{2} (1-A) a_0 (1 + kM).$$

Из једначина (32) и (35) следује

$$b = \frac{1}{4} \frac{\Theta_r^4}{273^2} \frac{kM}{1 + kM}.$$

Из (34) следује занемаривањем виших потенција маленога броја $\frac{u_r}{273}$

$$\Theta_1^4 = 273^4 \left(1 + 4 \frac{u_r}{273} \right),$$

па се добива

$$b = \frac{273}{4} \left(1 + 4 \frac{u_r}{273} \right) \frac{kM}{1 + kM}.$$

Величина u_r не утиче осетно на нумеричку вредност коефициента b . Ставимо ли, према томе, за u_r једну осредњу вредност и то, пошто се ради о високим географским ширинама, вредност $u_r = 0$, то добијамо :

$$(36) \quad b = \frac{273}{4} \frac{kM}{1 + kM}.$$

На тај начин долазимо до овог обрасца:

$$u(x, t) = u_r - \frac{b}{H}x + a_1 B(x) \cos \frac{2\pi}{T}[t - \epsilon(x)].$$

Температура $u(x, t)$ осцилује у току године око своје средње вредности $(u_r - \frac{b}{H}x)$ амплитудом $a = a_1 B(x)$. Зато ћемо, као што је показано при развијању једначина (22), добити за средњу температуру летње односно зимске полугодине ова два израза

$$(37) \quad \begin{cases} u_e(x) = u_r - \frac{b}{H}x + \frac{2}{\pi} a_1 B(x) \\ u_h(x) = u_r - \frac{b}{H}x - \frac{2}{\pi} a_1 B(x) \end{cases}$$

По споменутој табlici, саопштеној у мојој расправи, нумеричка вредност величине $B(x)$ за висину од једног километра једнака је $0,90 B(0)$, а скоро исти такав резултат дају и метеоролошка опажања. Зато можемо, пошто се ради о ограниченим висинама, ставити

$$B(x) = B(0) [1 - 0,10 x].$$

При том ваља x мерити километрима. Добивамо, дакле,

$$u_e(x) = u_r - \frac{b}{H}x + \frac{2}{\pi} a_1 B(0) [1 - 0,10 x]$$

$$u_h(x) = u_r - \frac{b}{H}x - \frac{2}{\pi} a_1 B(0) [1 - 0,10 x]$$

За $x = 0$ следује

$$u_e = u_r + \frac{2}{\pi} a_1 B(0)$$

$$u_h = u_r - \frac{2}{\pi} a_1 B(0),$$

т. ј. елиминацијом члана $a_1 B(0)$ из предњих једначина,

$$(38) \quad \begin{cases} u_e(x) = u_e - \frac{b}{H}x - 0,10(u_e - u_r)x \\ u_h(x) = u_h - \frac{b}{H}x + 0,10(u_r - u_h)x \\ u_r = \frac{1}{2}(u_e + u_h). \end{cases}$$

Употребом саопштених нумеричких вредности за k и M и са $H = 8$ км, добијамо помоћу (36)

$$\frac{b}{H} = 6,12$$

т. ј.

$$(39) \quad \begin{cases} u_e(x) = u_e - 6,12x - 0,10(u_e - u_r)x \\ u_h(x) = u_h - 6,12x + 0,10(u_r - u_h)x. \end{cases}$$

Ове једначине казују како опада летња, односно, зимска средња температура са растућом надморском висином. И оне се подударају врло добро са метеоролошким опажањима. Из тих се једначина види јасно зашто је опадање температуре са висином у лето веће него зими; то је због тога, што је у првом од горњих двају израза последњи члан негативан, а у другом изразу позитиван.

Горњи образац за $u_e(x)$ даје нам, ако у њему величине u_e и u_h представимо помоћу података таблице 1 као функције географске ширине и геолошког времена, тражену функцију (27). Помоћу те функције можемо моменат t_1 , т. ј. почетак леденог доба лако израчунати. Ако је h_1 максимално узвишење уоченог предела изнад површине мора, то треба да буде $u_e(h_1) = 0$. Зато је t_1 дато једначином

$$(40) \quad u_e - 6,12 h_1 - 0,10(u_e - u_r) h_1 = 0.$$

Тачка В лука А В С, чија апсциса задовољава предњу једначину, је она тачка у којој се температурна крива залеђеног предела одваја од температурне криве исте географске ширине, али незалеђеног предела.

Даљи ток температурне криве залеђеног предела зависиће од дејства снежног покривача на температуру ваздуха. Да то дејство претставимо аналитички, потребно је вратити се једначини (10), којој можемо због (12) дати овај облик

$$(41) \quad \Delta u = n \left[\frac{1-A}{1-A_0} W - W_0 \right].$$

У моменту t , почиње A да бива веће од A_0 , па како је $0 < A_0 < 1$; $0 < A < 1$, то ће разломак $\frac{1-A}{1-A_0}$ бити прави и позитиван. Зато можемо ставити

$$(42) \quad \frac{1-A}{1-A_0} = 1 - \xi$$

при чему је $0 < \xi < 1$. Тако добивамо

$$\Delta u = n [W - W_0 - \xi W].$$

Како је $W - W_0 = \Delta W$, то је $W - W_0 - \xi W = \Delta W_0 - \xi \Delta W$ при чему се члан $\xi \Delta W$, продукат двају малих бројева, може занемарити. На тај се начин добива

$$(43) \quad \Delta u = n \Delta W - n \xi W_0.$$

Употребимо ли овај образац за израчунавање летње, зимске, односно годишње средње температуре, па означимо ли секуларну промену тих температура, сада где се води рачуна о дејству снежног покривача, са $\Delta u'_e$, $\Delta u'_n$ и $\Delta u'_T$, то добивамо

$$(44) \quad \Delta u'_e = \Delta u_e - 0,0068 \xi Q_e^0$$

$$(45) \quad \Delta u'_n = \Delta u_n - 0,0068 \xi Q_n^0$$

$$(46) \quad \Delta u'_T = \Delta u_T - 0,0068 \xi \frac{Q_e^0 + Q_n^0}{2}$$

Ови се обрасци разликују од пређашњих образаца (16) и (17) присуством члана $-0,0068 \xi Q_{e,n}^0$ који претставља дејство

снежног покривача. У том члану, коефицијенат ξ није још одређен. Нумеричка вредност тог коефицијента зависиће од обима глацијације залеђеног предела. Потпуној глацијацији залеђеног краја одговараће, у његовом средишту, максимална вредност коефицијента ξ . Та максимална вредност, коју ћемо означити са ξ_0 може се израчунати на овај начин.

Од целокупне сунчане радијације која стиже на горњу границу Земљине атмосфере, продира до Земљине површине само једна трећина и то у облику директних и дифузних сунчаних зрака. Средња рефлексiona способност Земљине површине је 0,08, па зато се губе на Земљиној површини још 2,3% за топлотни домазлук Земље, пошто један део рефлектованих зрака буде задржан абсорпцијом у самој атмосфери. Або и Фаул су нашли да је рефлексiona способност крајева покривених снегом једнака 0,15, при чему су узели за базу рачуна целокупну инсолацију Земље. Но како средња инсолација поларних крајева стоји према средњој инсолацији целокупне Земље у пропорцији 3 : 5, то се за рефлексionу способност предела покривених снегом добива 0,25. Директна мерења рефлексione способности снега дала би, вероватно, још већу вредност него што је горњи број, али ћемо га ипак задржати такав какав је, јер споредна дејства снежног покривача: стварање антициклона, исушивање ваздуха и разведравање неба, смањују рефлексionу и абсорпциону способност атмосфере. Са рефлексionом способности 0,25 место са 0,08 добивамо место губитка од 2,3% тоталне инсолације губитак $\frac{0,25}{0,08} 2,3\% = 7,2\%$,

дакле вишак губитка од 4,9%. Значи да би при тоталној глацији место нумеричке вредности $A_0 = 0,400$ следовало $A = 0,449$. На тај се начин добива помоћу (42)

$$(47) \quad \xi_0 = 0,08.$$

Можемо, дакле, ставити

$$\xi = v \xi_0$$

где v означава један број који лежи између 0 и +1, и који се може назвати степеном залеђења уоченог краја.

Са првим појавама глацијације, које почињу са моментом t_1 , почиње v да расте од нуле да би у времену t_2 достигао

своју максималну вредност v_0 . У том моменту претстављено је дејство снежног покривача овим изразом

$$\delta u = 0,0068 v_0 \xi_0 Q_e$$

т. ј. због (47) овим

$$(48) \quad \delta u_0 = 0,000544 v_0 Q_e$$

У једном произвољном моменту t , но који лежи између t_1 и t_2 , дејство снежног покривача претстављено је изразом

$$\delta u = \frac{\delta u_0}{t_2 - t_1} (t - t_1)$$

За центре залеђених крајева ваља ставити $v_0 = 1$. Са тим бројем добијају се за $\varphi = 50^\circ$ ова максимална дејства снежног покривача: за лето — $8,2^\circ$, а за зиму — $3,1^\circ$. Лети је то дејство много веће но зими, јер се лети губи већа количина сунчеве топлоте рефлексијом у васиону. О овој појави постоје директна опажања само за зимску полугодину, па се, и у то доба, показало дејство од скоро 7° , што потврђује да је нађена вредност за ξ_0 мања но што би одговарало стварности. Ми ћемо се ипак њом послужити, због споменутих споредних ефеката.

Ако су степен залеђења v_0 и надморска висина h_2 снежног покривача познати на темељу геолошких испитивања, онда се може рачунским путем одредити моменат t_2 у којем је глацијација достигла своју максималну величину. При том се ваља послужити обрасцем (39), у којем се последњи члан може, слободно, занемарити. Због тога ће средња летња температура у висини x бити претстављена изразом

$$u_e(x) = u_e - \delta u_0 - 6,12 x$$

Та температура треба да за $x = h_2$ буде равна нули, па је зато

$$(49) \quad u_e - \delta u_0 - 6,12 h_2 = 0$$

Горњом једначином одређена је тачка E температурног дијаграма, а тим је одређен и лук $B L M$ температурне криве. Да одредимо и остали део те криве, ваља узети ово у обзир. Када би моменат t_2 био познат, то би тим био одређен и лук $M N O J$, ваљало би само ординате криве $E F G H J$ умањити за дужине

$$\delta u = \frac{\delta u_0}{t_2 - t_1} (t_2 - t)$$

које нам претстављају ординате праве $T W$. Но при одређивању момента t_2 ваља, као што је већ речено, водити рачуна о оној топлотној количини која мора бити утрошена за отапање и отстрањивање леденог покривача, због чега ће се место лука $M N O J$ добити лук $M P R J$. Тај температурни ток, а с њим и моменат t_2 могу се одредити на овај начин. Прво ваља узети једну отприлике одабрану вредност t_2 , па са њом извршити овај рачун. Са одабраном вредности t_2 одређен је и лук $M N O J$. Израз $u_e(h_2, t_2)$, који нам претставља температуру мерену у моменту t_2 на површини леденог покривача, треба да према (49) даде вредност нула, зато ће температура у висини морског нивоа претстављена ординатом UM бити виша од нуле. За време довољно кратког временског интервала Δt претстављеног дужином UQ биће за отапање леда утрошена она количина топлоте која је претстављена површинским елементом $M P N$, при чему је дозвољено лук $M P$ заменити правом дужином $M P'$, паралелном са абсцисном осом. Претворимо ли тај површински елемент у правоугаоник са базом Δt , па добијемо ли при том за висину његову дужину Δu_e , то је, мерећи ту дужину температурним мерилом, а узимајући у обзир (13) и (14)

$$\Delta W_e = \frac{\Delta u_e}{170}$$

она топлотна количина која се у интервалу времена t_2 до $t_2 + \Delta t$ троши у јединици времена за отапање леда, на свакој јединици површине залеђеног предела. Зато се за време тог интервала утроши свега по јединици површине топлотна количина

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \Delta W_e \Delta t$$

Овде смо поделили са два, јер се топљење леда врши само за време летње полугодине. Меримо ли време Δt у хиљадама година, то га ваља, претварајући га у минуте, помножити са 1000×526000 . На тај начин добива се

$$\Delta Q = 1,550.000 \Delta u_e \Delta t,$$

мерено у грамкалоријама. Услед потрошње ове топлотне коли-

чине отопиће се један слој снежног покривача и његова дебелина снизиће се за Δh , коју ћемо дужину мерити у километрима. Рачунајући са специфичном тежином леда од 0,90, добијамо за отопљену количину леда на сваком квадратном сантиметру површине $90000 \Delta h$ грама. Сваки грам леда захтева за своје топљење 80 грамкалорија. Један део отопљеног леда који ћемо означити са η моћи ће се отстранити само испаривањем, јер ће само у периферним деловима заљеђеног предела моћи таква вода слободно да отиче. Како је за испаривање једног грама воде потребно 600 грамкалорија, то ће за отапање и отстрањивање сваког грама леда требати свега $(80 + 600 \eta)$ грамкалорија. Да би се, према томе, ледени покривач отопио за слој од Δh километара, мора се по сваком сантиметру површине утрошити топлотна количина од $(80 + 600 \eta) 90000 \Delta h$ грамкалорија, а та количина мора бити једнака количини ΔQ . На тај начин добијамо

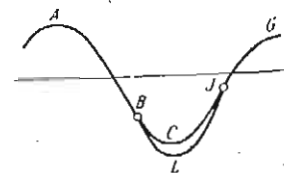
$$(50) \quad \Delta h = \frac{17,2 \Delta u_c \Delta t}{80 + 600 \eta}$$

За време отапања леда не мења се температура ваздуха изнад леденог покривача. Кад се, према томе, површина леденог покривача не би, услед отапања леда, спуштала према мору, био би секуларни ток температуре претстављен правом паралелном абсцисној оси, но пошто се површина леденог покривача спустила за време Δt за Δh према доле, то, узев у обзир главне чланове једначине (39), температурна разлика PP' мора бити једнака $6,12 \Delta h$, да би температура над леденим покривачем остала непромењена. Тим је дат положај тачке P . На тај начин може се, корак по корак, одредити температурни ток $M P R J$ који би одговарао одабраном времену t_3 . При том треба, непосредно пре но што је достигнут моменат t_3 , да целокупни ледени слој који је покрио уочени предео буде отопљен т. ј. топлотна количина претстављена површином $M P R J O N M$ треба да буде једнака оној топлотној количини која је потребна за отапање и отстрањивање леденог покривача. При крају тако одређеног секуларног температурног тока појављује се стрм пораст температуре $R J$ као спој са кривом $G H J K$. Ако одабрана вредност времена t_3 не одговара том услову, мора се рачун толико пута поновити док тај услов не буде испуњен. Такво израчунавање секуларног тока температуре моћи се само у изузетним случајевима стварно извршити, кад

се буде имало довољно података о дебелини леденог покривача, о конфигурацији земљишта и о могућности отицања отопљеног леда. Но, већ сама теоретска могућност таквог рачуна, тумачи довољно механизам глацијација и даје његове карактерне особине да је могуће из свега претходног извући ове закључке.

За време минулих 600 хиљада година, и то за време девет епоха које су у приложеним дијаграмима означене са Гинц I, Гинц II, Миндел I, Миндел II, Рис I, Рис II, Вирм I, Вирм II и Вирм III, опала је, услед промене астрономских елемената и услед промењеног распореда сунчане топлоте на површини Земље, у умереним и поларним крајевима северне хемисфере, средња температура лета за 4 до 5 гради, док је средња температура најтоплијег месеца у години била нижа за 5 до 7 гради него што је сада. Тим смањивањем летње температуре померила се и граница вечног снега и лежала за 700 до 800 метара ниже но сада. Услед тога, били су пространи предели прекривени снегом и ледом, а ледењаци се спустили освајачки у долине. Све је то изазвало још веће снижавање летње температуре, даље спуштање границе вечног снега и глацијацију све већих делова Земљине површине. Ефекат овог другог узрока снижавања летње температуре, т. ј. дејство снежног покривача, био је скоро двапут толики, колики ефекат примарних узрока, све када се узму у обзир сви споредни утицаји који су дејствовали у противном смислу. Зато је у центрима глацијација тотално померање границе вечног снега достигло величине од два километра. Тим су дошли пространи предели северне Европе и Северне Америке под слој леда који је био дебео километар и више, сем тога и сви они предели где је присуство брда омогућавало такву појаву. Са наступом топлијих лета отопио се тај снежни покривач брзо само онде где није био дебео и где је његово дејство на температуру ваздуха било малено. То је било само у граничним крајевима глацијација. У температурном дијаграму тих предела лежала је тачка J још у луку G и ту је температурна крива имала облик претстављен у слици 8.

У периферним крајевима глацијација разликовао се секуларни ток температуре $A B L J G$ од секуларног тока инсолације $A B C J G$ само



Сл. 8.

својим делом BLJ , т. ј. имао је само јаче изражен минимум. У истом смислу мења се и инсолациона крива $ABCSJG$ ако промене инсолације што би их она дала, изразимо помоћу фиктивних промена географске ширине, јер вишој географској ширини одговара, при истој промени инсолације, већа фиктивна промена ширине. То је разлог зашто су диаграми инсолације дали за периферне пределе тако одличне резултате.

У централним крајевима глацијација, владале су друге прилике. Овде је ледени покривач достигао дебљину од километра и више, па је зато и његово дејство на температуру ваздуха било много јаче. То ћемо најбоље видети на једном конкретном примеру. Пре 115 хиљада година, била је, као што се може израчунати из таблице 1, средња температура летње полугодине на географској ширини од 65° , северно, за четири степена нижа но што је сада. Значи да је, у то доба, у том краје, граница вечног снега, већ само због тог узрока, лежала 650 метара ниже но сада. Онде где су се, услед тог силажења границе вечног снега, покрили пространи предели леденим покривачем, охладила се, услед дејства тог покривача, летња температура за даљих $7,3^\circ$, а то је изазвало даље силажење границе вечног снега за 1200 метара. Тако је целокупно померање границе вечног снега према доле било 1850 метара. Пошто сада, на географској ширини од 65° , граница вечног снега има надморску висину мању од 1850 метара, то су, у оно доба, били пространи делови северне Европе и Северне Америке затрпани снегом и ледом. Са доласком топлијих лета, могло је у тим крајевима топљење снега тек онде отпочети где је летња температура попела изнад нуле. Онде где је површина снежног покривача лежала на 1000 метара изнад мора, била је, услед саме те висинске разлике, температура ваздуха над ледом за $6,1^\circ$ нижа него над морем, а како је ледени покривач охладио тај ваздух још за даљих $7,3^\circ$, то је топљење леда могло отпочети само онде где је летња температура над морем, без утицаја леденог покривача, била више од $13,4^\circ$. Секуларни пораст температуре који се појавио у интервалу од пре 115 до пре 92 хиљаде година, био је веома слаб па није достигао ни 1° , зато е, у он о доба, ледени покривач од претпостављене дебљине могао отопити само онде где влада данас температура, редукована на висину морске површине од $12,4^\circ$. У свим осталим залеђеним пределима штитио је ледени покривач висински поло-

жај његове површине од отапања. Тек између 92 и 79 хиљаде године могло је, услед јачег секуларног успона температуре, доћи до јачег отапања залеђених предела. Могуће је израчунати дебљину леденог слоја који је онај успон температуре могао да отопи. Тај топлотни талас трајао је 13 хиљада година са средњим порастом температуре од $1,6^\circ$. Помоћу (50) и са $\eta = \frac{2}{3}$ добива $\Delta h = 0,75$ km. Према томе, могао је онај топлотни талас да уклони ледени слој од 750 метара дебљине. Ако је ледени покривач био дебљи или, што још чешће био случај, ако је његовом географском положају одговарала садашња летња, на морску површину редукована температура, мања од $12,4^\circ$, онда се, у уоченом добу геолошке прошлости, није могао ледени покривач отопити. У таквом су се случају, као што то следује из диаграма, спојиле прва и друга фаза леденог доба Вирм у једну целину, често пута заједно са овима, и трећа вирмска фаза.

Слична израчунавања могу се, са истим резултатом, извршити и за остала три доба, а и за алпске пределе. Увек се долази до тога да у центрима залеђених предела, где су висински положај снежног покривача и његова дебљина били доволни, да су се ту периоде минима инсолације стопиле у четири ледена доба Пенкова, одељена једно од другог трима интерглатијалним добима.

Та појава није остала без утицаја ни на температурну криву периферних предела, па је услед тога минимум друге фазе појединих ледених доба био појачан, о чему је већ било говора.

На географским ширинама поларне зоне била су температурна минима јаче акцентирана него на нижим географским ширинама, док су температурна максима била слабија. Узме ли се, поред тога, у обзир да су на тако високим ширинама данашње летње температуре веома ниске, то је лако увидети да су се онде, у повољним приликама, стопила два и два Пенкова ледена доба у једно. Тамо су Гинц и Миндел дали једно, а Рис и Вирм друго од тих ледених доба. Стапање свих четирију ледених доба у једно јединствено могло је наступити само онде где је површина леда лежала тако високо да ни најтоплији талас секуларног тока није био у стању да нагриза ледени покривач. То је био случај у Гренланду где ледено доба траје и

дан данашњи. Иначе су на свим осталим деловима поларне зоне била она два ледена доба, Гинц-Миндел и Рис-Вирм, одељена једно од другог великим интерглатијалним добом које је на нижим ширинама трајало скоро 200 хиљада година и које је имало три периоде веома топлих лета.

Из свега саопштеног следује да су се у периферним крајевима глатијација јасно испољили сви таласи секуларног тока инсолације, а нарочито оних девет главних минима тога тока. У централним деловима залеђених предела стопила су се судна минима инсолације у четири ледена доба, а у поларним крајевима у два дуга ледена доба.

Тако су све фазе ледених доба нашле своје објашњење у секуларном току распореда сунчане топлоте, изазваном секуларним варијацијама астрономских елемената. Ледено доба одиграло се тачно онако како то захтева ток планетских пертурбација; зато је оно и добило своју астрономску хронологију.

ТАБЛИЦЕ

Секуларне промене распореда сунчеве
топлоте по површини Земље.

Таблица 1.
Секуларне промене распореда сунчеве топлоте по површини Земље.
Северна хемисфера

Хилале година пре 1800 по Хр.	Летња полугодина					Зимска полугодина						
	Географска ширина (северна)											
	25°	35°	45°	55°	65°	75°	25°	35°	45°	55°	65°	75°
0,6	- 2	+ 3	+ 7	+ 12	+ 18	+ 27	- 3	- 5	- 7	- 7	- 5	0
5	+ 264	+ 271	+ 275	+ 277	+ 288	+ 309	- 304	- 294	- 271	- 234	- 170	- 78
10	+ 685	+ 667	+ 632	+ 589	+ 553	+ 524	- 742	- 700	- 627	- 528	- 387	- 197
11,1	+ 697	+ 671	+ 630	+ 578	+ 529	+ 486	- 747	- 699	- 625	- 524	- 384	- 199
15	+ 482	+ 457	+ 420	+ 374	+ 328	+ 281	- 508	- 471	- 417	- 347	- 255	- 137
20	- 28	- 72	- 119	- 171	- 243	- 338	+ 84	+ 103	+ 113	+ 111	+ 80	+ 15
22,1	- 99	- 166	- 237	- 315	- 426	- 573	+ 192	+ 218	+ 229	+ 215	+ 155	+ 41
25	+ 18	+ 74	+ 176	+ 290	+ 444	+ 646	+ 92	+ 136	+ 166	+ 170	+ 121	+ 11
30	+ 453	+ 331	+ 189	+ 27	- 179	- 437	- 358	- 278	- 198	- 130	- 99	+ 111
32,7	+ 498	+ 383	+ 249	+ 96	- 99	- 338	- 417	- 338	- 256	- 183	- 137	- 126
35	+ 454	+ 354	+ 236	+ 101	- 68	- 277	- 386	- 316	- 243	- 175	- 132	- 116
40	+ 258	+ 217	+ 168	+ 111	+ 42	- 42	- 239	- 206	- 170	- 131	- 98	- 68
45	+ 174	+ 206	+ 237	+ 271	+ 322	+ 394	- 232	- 239	- 231	- 207	- 151	- 56
47,1	+ 152	+ 182	+ 213	+ 246	+ 295	+ 365	- 207	- 213	- 208	- 187	- 135	- 50
50	+ 182	+ 206	+ 227	+ 250	+ 287	+ 341	- 232	- 233	- 223	- 197	- 143	- 57
55	+ 355	+ 319	+ 272	+ 217	+ 153	+ 81	- 352	- 317	- 272	- 220	- 162	- 98

60	+ 589	+ 504	+ 399	+ 278	+ 133	- 43	- 554	- 485	- 402	- 315	- 234	- 157
60,6	+ 599	+ 510	+ 401	+ 277	+ 125	- 57	- 561	- 489	- 405	- 317	- 235	- 160
65	+ 381	+ 288	+ 178	+ 54	- 105	- 301	- 312	- 249	- 185	- 128	- 96	- 94
70	- 178	- 233	- 292	- 354	- 446	- 569	- 267	- 283	- 283	- 259	- 188	- 61
71,9	- 273	- 317	- 361	- 407	- 479	- 581	+ 359	+ 365	+ 353	+ 314	+ 229	+ 87
75	- 95	- 144	- 196	- 253	- 333	- 440	+ 165	+ 184	+ 190	+ 177	+ 127	+ 36
80	+ 700	+ 614	+ 506	+ 379	+ 231	+ 55	- 677	- 601	- 508	- 405	- 299	- 190
82,8	+ 932	+ 845	+ 734	+ 601	+ 451	+ 280	- 936	- 848	- 733	- 597	- 439	- 258
85	+ 852	+ 791	+ 708	+ 609	+ 500	+ 393	- 877	- 805	- 705	- 581	- 427	- 248
90	+ 58	+ 98	+ 141	+ 189	+ 256	+ 346	- 114	- 129	- 136	- 128	- 93	- 24
94	- 333	- 253	- 158	- 51	+ 85	+ 254	+ 275	+ 220	+ 164	+ 115	+ 86	+ 84
95	- 311	- 232	- 140	- 35	+ 99	+ 263	+ 251	+ 199	+ 145	+ 99	+ 74	+ 77
100	+ 345	+ 301	+ 246	+ 182	+ 106	+ 16	- 332	- 294	- 247	- 197	- 145	- 94
105,1	+ 915	+ 753	+ 555	+ 329	+ 51	- 289	- 823	- 701	- 564	- 428	- 319	- 239
110	+ 322	+ 212	+ 83	- 61	- 248	- 484	- 225	- 157	- 92	- 44	- 36	- 75
115	- 396	- 433	- 465	- 497	- 554	- 639	+ 486	+ 483	+ 456	+ 400	+ 291	+ 122
116,1	- 423	- 454	- 480	- 505	- 553	- 629	+ 510	+ 503	+ 472	+ 411	+ 299	+ 129
120	- 34	- 80	- 131	- 186	- 263	- 364	+ 94	+ 114	+ 125	+ 121	+ 87	+ 18
125	+ 756	+ 699	+ 622	+ 530	+ 430	+ 318	- 774	- 710	- 620	- 510	- 375	- 211
127,7	+ 897	+ 841	+ 764	+ 670	+ 571	+ 467	- 934	- 862	- 760	- 630	- 462	- 252
130	+ 800	+ 767	+ 716	+ 653	+ 591	+ 533	- 853	- 797	- 711	- 594	- 436	- 227
135	+ 181	+ 188	+ 191	+ 194	+ 204	+ 221	- 210	- 205	- 189	- 163	- 119	- 55
140	- 182	- 173	- 159	- 142	- 126	- 109	+ 192	+ 178	+ 159	+ 131	+ 97	+ 52
145	+ 119	+ 64	0	- 71	- 164	- 283	- 66	- 34	- 5	- 13	- 7	- 26
150	+ 629	+ 508	+ 364	+ 197	- 8	- 261	- 555	- 467	- 371	- 277	- 207	- 163
152,2	+ 726	+ 602	+ 452	+ 280	+ 67	- 191	- 660	- 565	- 458	- 351	- 261	- 191
155	+ 627	+ 520	+ 391	+ 242	+ 59	- 163	- 570	- 488	- 397	- 303	- 225	- 164
160	+ 65	+ 45	+ 22	- 4	- 37	- 80	- 49	- 36	- 24	- 14	- 11	- 15
164,3	- 239	- 203	- 160	- 110	- 48	+ 24	+ 223	+ 195	+ 162	+ 127	+ 93	+ 64

Таблица I. (продужење)
 Секуларне промене распореда сунчеве топлоте по површини Земље.
 Северна хемисфера

Хиваде година пре 1800 по Хр.	Летња полугодина					Зимска полугодина						
	Географска ширина (северна)											
	25°	35°	45°	55°	65°	75°	25°	35°	45°	55°	65°	75°
165	231	192	144	90	24	58	210	180	146	112	84	61
170	293	299	299	297	303	320	334	322	295	253	185	86
175	947	878	782	668	544	409	972	892	780	641	471	265
176,3	978	895	886	654	508	343	990	902	785	640	471	271
180	641	561	460	343	204	41	618	549	462	368	272	174
185	307	326	340	353	382	105	365	358	334	290	211	92
187,5	506	512	511	505	513	536	573	550	505	432	316	149
190	342	370	394	416	460	525	416	411	387	337	246	104
195	664	541	395	225	16	240	592	501	402	302	225	172
198,5	1055	916	742	541	301	16	1009	890	747	591	438	284
200	993	869	714	531	316	62	957	849	717	570	421	269
205	103	110	117	122	134	152	124	122	115	99	73	28
209,6	429	338	231	106	48	238	368	304	236	171	128	110
210	419	327	217	92	66	261	355	292	223	161	121	106
215	188	221	255	291	346	423	451	257	249	222	162	60
220	1018	925	805	662	500	317	1024	929	805	655	482	281

220,8	1017	913	780	624	444	237	1010	909	781	632	465	279
225	463	355	227	80	105	333	385	311	234	165	124	117
230	350	411	472	537	636	776	465	476	461	412	299	113
232,4	374	428	479	534	621	745	483	489	469	416	303	119
235	87	156	232	315	430	583	182	210	223	212	152	37
240	580	476	350	205	27	191	521	442	355	269	202	151
242,2	685	601	494	370	224	51	662	588	497	395	292	186
245	619	562	488	400	300	186	662	564	488	397	292	171
250	291	317	340	362	404	465	357	354	333	292	213	89
255	111	134	157	182	218	270	152	157	153	138	100	36
256,5	99	111	123	134	152	180	125	126	120	106	77	31
260	141	121	95	66	31	11	133	116	96	75	55	38
265	332	270	196	110	3	126	296	250	200	150	111	86
270	547	438	309	160	23	250	479	400	316	234	175	141
270,7	563	452	319	166	23	256	493	413	325	242	180	145
275	368	266	148	13	159	373	287	221	155	100	76	90
280	147	182	218	255	312	390	207	215	212	191	139	49
281,8	214	230	242	245	277	314	258	254	238	198	151	65
285	18	27	39	50	68	90	32	35	37	34	25	7
290	743	695	629	548	463	371	772	711	626	518	380	208
292,7	922	867	789	695	596	493	963	890	785	651	478	259
295	806	771	717	650	585	523	857	800	712	595	436	229
300	5	38	74	114	169	241	46	61	70	70	51	7
303,1	307	278	240	196	145	88	308	278	240	195	144	85
305	242	247	249	249	256	272	276	267	245	211	154	72
310	506	383	240	76	132	389	416	333	248	173	130	126
313,4	790	646	471	271	23	279	706	598	479	362	269	205
315	712	577	414	228	3	286	630	531	422	316	236	184
320	8	65	127	195	289	412	78	104	120	120	85	12

Таблица I. (продужење)
 Секуларне промене распореда сунчеве топлоте на површини Земље.
 Северна хемисфера

Хиладе година пре 180 по Хр.	Летња полугодина					Зимска полугодина						
	25°	35°	45°	55°	65°	75°	25°	35°	45°	55°	65°	75°
323,3	-212	-227	-240	-253	-278	-315	+255	+251	+236	+206	+150	+64
325	-113	-126	-140	-154	-176	-208	+143	+143	+137	+122	+88	+35
330	+108	+127	+145	+165	+194	+237	+143	+146	+142	+127	+92	+35
332,8	+718	+679	+623	+555	+485	+413	+755	+700	+619	+515	+378	+203
335	+607	+576	+530	+473	+416	+359	+640	+594	+527	+438	+321	+172
340	+77	+69	+59	+47	+34	+18	+76	+69	+59	+48	+35	+21
342,1	+16	+25	+35	+45	+61	+81	+29	+32	+54	+31	+23	+6
345	+120	+84	+41	+8	+70	-147	+90	+67	+44	+25	+20	+29
350	+524	+424	+301	+163	+10	-222	+462	+389	+307	+230	+172	+135
355,9	+544	+440	+315	+172	+6	-223	+481	+404	+321	+240	+179	+141
355	+287	+203	+107	+5	+145	+322	+219	+165	+113	+69	+54	+70
359,9	+66	+93	+121	+152	+198	+258	+107	+116	+117	+108	+79	+24
360	+67	+94	+122	+153	+197	+256	+107	+117	+118	+109	+79	+24
365	+337	+307	+268	+221	+169	+110	+340	+308	+268	+218	+161	+93
369,6	+707	+666	+607	+537	+464	+387	+739	+684	+604	+501	+368	+199
370	+707	+669	+613	+545	+475	+404	+742	+689	+610	+506	+371	+200

Астрономска теорија секуларних варијација климе												79
375	+305	+314	+316	+317	+329	+351	-339	-312	-268	-196	-90	
379,7	+48	+29	+6	+20	+54	+97	+18	+8	0	+1	+10	
380	+48	+30	+8	+16	+47	+87	+20	+10	+3	+3	+11	
385	+304	+238	+160	+72	+40	+178	+213	+164	+120	+89	+77	
389,6	+556	+441	+304	+149	+6	-285	+399	-311	-229	-171	-142	
390	+546	+430	+292	+134	-64	-307	+469	-299	-218	-163	-140	
395	+178	+95	+1	+106	+247	+424	+97	+8	+19	+12	+38	
399,2	+11	+50	+116	+191	+292	+424	+61	+109	+112	+80	+7	
400	+28	+33	+101	+177	+278	+410	+43	+95	+100	+71	+2	
405	+372	+315	+246	+164	+66	+52	+346	+248	+192	+143	+98	
407,7	+452	+414	+363	+304	+236	+161	+458	-363	-297	-218	-125	
410	+412	+401	+381	+354	+332	+315	+446	-378	-317	-232	-119	
415	+215	+246	+277	+308	+359	+430	+278	-271	-240	-175	-68	
415,5	+208	+239	+268	+300	+349	+420	+269	-262	-233	-169	-66	
420	+399	+401	+396	+387	+388	+400	+448	-391	-333	-245	-117	
424	+558	+511	+448	+374	+291	+198	+566	-448	-366	-269	-155	
425	+550	+495	+424	+341	+245	+134	+547	-424	-344	-253	-151	
430	+90	+24	+41	+124	+235	+377	+30	+35	+50	+35	+18	
433,6	+185	+245	+310	+378	+478	+614	+281	+301	+275	+199	+64	
435	+183	+248	+315	+389	+495	+639	+283	+306	+281	+203	+65	
440	+443	+334	+207	+61	+123	+352	+289	-214	-148	-112	-111	
444	+800	+676	+525	+349	+137	+121	+742	-530	-411	-306	-212	
445	+801	+689	+552	+391	+197	+32	+758	-556	-437	-323	-215	
450	+103	+98	+91	+83	+73	+65	+109	-91	-76	-55	-29	
454,8	+336	+264	+177	+78	+46	+198	+287	+182	+131	+98	+85	
455	+334	+261	+173	+72	+54	+209	+283	+177	+127	+95	+85	
460	+177	+186	+193	+198	+212	+235	+208	-190	-164	-120	-53	
465	+419	+370	+307	+234	+149	+48	+408	-308	-246	-183	-113	
465,4	+427	+375	+309	+234	+145	+39	+413	-311	-248	-184	-116	

Таблица I. (продужење)
 Секуларне промене распореда сунчеве топлоте по површини Земље
 Северна хемисфера

Хиљаде година пре 1800 по Хр.	Летња полугодина					Зимска полугодина						
	Географска ширина (северна)											
	25°	35°	45°	55°	65°	75°	25°	35°	45°	55°	65°	75°
470	+331	+271	+198	+113	+11	-116	-296	-251	-201	-151	-113	-86
475	-464	-467	-462	-452	-454	-469	+522	+499	+557	+390	+284	+136
475,6	-474	-478	-473	-462	-464	-480	+534	+511	+466	+398	+291	+139
480	+80	+17	54	-134	-240	-377	-12	+21	+47	+61	+42	+12
485	+908	+784	+632	+454	+242	10	-864	-760	-636	-501	-371	-243
486,1	+910	+794	+649	+479	+278	39	-874	-774	-652	-517	-383	-246
490	+533	+476	+404	+318	+220	+105	-526	-472	-404	-326	-241	-146
495	-75	-47	13	+23	+72	+133	+49	+32	+16	+5	+4	+17
497,1	-102	-67	-27	+18	+77	+151	+71	+50	+30	+15	+12	+24
500	+85	+108	+130	+154	+190	+238	-122	-128	-126	-115	-83	-29
505	+504	+469	+421	+364	+302	+236	-521	-478	-420	-347	-254	-142
508,2	+545	+476	+390	+289	+170	29	-524	-464	-392	-311	-230	-147
510	+472	+393	+297	+187	+51	-113	-431	-370	-301	-232	-171	-124
515	+284	+195	+93	23	171	358	-210	-154	-100	-57	-45	-67
520	+207	+137	+57	-35	-151	300	-146	-103	-62	-30	-25	-48
525	+69	+27	-21	-75	-147	-238	-26	3	+17	+28	+19	-13

525,3	64	+24	-22	-73	-140	-227	23	1	+18	+28	+19	-11
530	126	110	+88	+63	+34	-2	120	106	-88	-70	-52	-34
535	626	593	+545	+487	+428	+368	659	612	-542	451	331	-177
537,8	804	743	+666	+570	+466	+353	826	758	-664	546	401	-225
540	+753	+692	+611	+516	+409	+290	767	700	-610	-500	-368	-210
545	-10	19	-30	-41	-57	-77	23	26	+29	+28	+20	+4
548,6	-415	-398	-372	-339	-307	-277	442	413	+369	+309	+227	+118
550	386	-378	-362	-342	-325	-315	421	398	+359	+303	+222	+111
555	520	+420	+301	+164	7	-215	459	386	-306	-230	-171	-135
559	+1072	917	+728	+508	+243	74	1009	882	-734	-576	-426	-286
560	+1052	900	+712	+494	+232	82	989	864	-718	-563	-416	-281
565	62	26	-15	61	123	-201	25	5	+12	+21	+15	-12
569,4	566	513	-442	-361	-266	-159	567	513	+442	+360	+265	+156
570	549	492	-420	-335	-238	-124	544	490	+420	+340	+251	+150
575	458	443	+420	+389	+362	+340	494	464	-416	-350	-256	-131
579,7	1149	1076	977	+856	+728	593	1196	1103	-973	-805	-591	-323
580	1144	+1074	974	+855	+729	597	1191	1100	-970	-803	-589	-322
585	321	+306	282	+255	+227	+199	340	316	-281	-234	-171	-91
590	424	426	-419	-409	-411	-422	475	455	+415	+353	+259	+124
590,3	421	426	-421	-414	-417	-433	475	456	+416	+356	+260	+124
595	188	102	+4	-106	-253	-437	105	56	-12	+16	+10	-40
600	717	583	+422	+237	+7	-273	638	538	-429	-323	-240	-186

Таблица 1.
Секуларне промене распореда сунчеве топлоте по површини Земље.
Јужна хемисфера

Хиљаде година пре 1800	Летња полугодина					Зимска полугодина						
	Географска ширина (Јужна)											
	25°	35°	45°	55°	65°	75°	25°	35°	45°	55°	65°	75°
0,6	+ 10	+ 13	+ 15	+ 18	+ 24	+ 31	+ 15	+ 15	- 15	- 13	- 11	- 4
5	- 188	- 137	- 77	- 9	+ 78	+ 185	+ 148	+ 114	+ 81	+ 52	+ 40	+ 46
10	- 579	- 477	- 354	- 211	- 37	+ 176	+ 522	+ 444	+ 359	+ 272	+ 203	+ 151
11,1	- 603	- 505	- 384	- 246	- 77	+ 128	+ 553	+ 477	+ 389	+ 300	+ 222	+ 159
15	- 436	- 373	- 296	- 208	- 100	+ 27	+ 410	+ 359	+ 299	+ 235	+ 173	+ 117
20	- 76	- 116	- 157	- 201	- 265	+ 352	+ 132	+ 147	+ 151	+ 141	+ 102	+ 29
22,1	- 73	- 142	- 217	- 299	- 414	- 565	+ 166	+ 194	+ 209	+ 199	+ 143	+ 33
25	- 224	- 294	- 366	- 444	- 558	- 712	+ 334	+ 356	+ 356	+ 324	+ 235	+ 77
30	- 631	- 649	- 657	- 659	- 685	- 735	+ 726	+ 702	+ 648	+ 556	+ 407	+ 187
32,7	- 648	- 653	- 645	- 632	- 633	- 654	+ 729	+ 698	+ 638	+ 545	+ 397	+ 190
35	- 582	- 582	- 572	- 555	- 552	- 563	+ 650	+ 620	+ 565	+ 481	+ 352	+ 170
40	- 294	- 281	- 262	- 237	- 216	- 194	+ 313	+ 292	+ 260	+ 217	+ 160	+ 84
45	- 64	- 10	+ 51	+ 119	+ 210	+ 328	+ 6	- 23	- 45	- 55	- 39	+ 10
47,1	- 50	- 0	+ 55	+ 118	+ 201	+ 309	+ 5	- 31	- 50	- 59	- 41	+ 6
50	- 90	- 40	+ 15	+ 78	+ 161	+ 267	+ 40	+ 13	- 11	- 25	- 17	+ 17
55	- 361	- 329	- 286	- 237	- 181	- 117	+ 364	+ 331	+ 286	+ 234	+ 172	+ 100

60	- 653	- 620	- 569	- 508	- 447	- 385	+ 688	+ 639	+ 566	+ 471	+ 346	+ 285
60,6	- 669	- 636	- 587	- 527	- 467	- 407	+ 707	+ 657	+ 583	+ 487	+ 357	+ 190
65	- 509	- 516	- 516	- 510	- 519	- 545	+ 578	+ 555	+ 509	+ 436	+ 318	+ 150
70	+ 14	- 61	- 142	- 232	- 356	- 517	+ 75	+ 111	+ 133	+ 137	+ 98	+ 9
71,9	+ 113	- 31	- 61	- 163	- 299	- 475	+ 27	+ 17	+ 53	+ 70	+ 49	+ 19
75	- 37	- 90	- 150	- 215	- 305	- 424	+ 107	+ 130	+ 144	+ 139	+ 99	+ 20
80	- 744	- 692	- 620	- 535	- 443	- 343	+ 767	+ 705	+ 618	+ 509	+ 375	+ 208
82,8	- 924	- 833	- 714	- 575	- 415	- 232	+ 920	+ 830	+ 715	+ 579	+ 427	+ 254
85	- 804	- 707	- 584	- 441	- 272	- 83	+ 779	+ 693	+ 587	+ 469	+ 345	+ 228
90	+ 46	+ 88	+ 133	+ 183	+ 250	+ 342	- 102	- 119	- 128	- 122	- 87	- 20
94	+ 443	+ 449	+ 446	+ 429	+ 447	+ 468	- 501	- 482	- 440	- 377	- 276	- 130
95	+ 421	+ 430	+ 430	+ 441	+ 439	+ 465	- 481	- 463	- 425	- 365	- 266	- 125
100	- 371	- 347	- 312	- 272	- 228	- 182	+ 384	+ 354	+ 311	+ 257	+ 189	+ 104
105,1	- 1087	- 1059	- 1007	- 939	- 883	- 841	+ 1179	+ 1111	+ 998	+ 840	+ 615	+ 313
110	- 504	- 536	- 561	- 585	- 634	- 712	+ 601	+ 591	+ 552	+ 480	+ 350	+ 153
115	+ 228	+ 133	+ 23	- 101	- 262	- 467	+ 138	+ 83	- 32	+ 4	- 1	- 50
116,1	+ 261	+ 164	+ 54	- 73	- 235	- 441	+ 174	+ 115	- 62	- 21	- 19	- 59
120	- 78	- 120	- 165	- 214	- 283	- 376	+ 138	+ 154	+ 159	- 149	- 107	- 30
125	- 720	- 637	- 530	- 406	- 260	- 88	+ 702	+ 626	+ 532	+ 426	+ 315	+ 195
127,7	- 827	- 717	- 580	- 422	- 233	- 7	+ 790	+ 696	+ 584	+ 462	+ 342	+ 222
130	- 700	- 589	- 454	- 297	- 109	+ 121	+ 647	+ 559	+ 459	+ 356	+ 264	+ 185
135	- 127	- 92	- 49	- 2	+ 60	+ 135	+ 98	+ 75	+ 51	+ 33	+ 25	+ 31
140	+ 164	+ 139	+ 111	+ 76	+ 36	- 13	- 154	+ 134	- 111	- 87	- 65	- 44
145	- 219	- 242	- 264	- 285	- 322	- 377	+ 272	+ 272	+ 259	+ 227	+ 165	+ 68
150	- 767	- 754	- 726	- 687	- 660	- 645	+ 841	+ 795	+ 719	+ 607	+ 445	+ 221
152,2	- 850	- 824	- 778	- 720	- 669	- 625	+ 916	+ 861	+ 772	+ 649	+ 475	+ 243
155	- 733	- 710	- 671	- 620	- 575	- 537	+ 790	+ 742	+ 665	+ 559	+ 409	+ 210
160	- 97	- 101	- 104	- 106	- 113	- 124	+ 113	+ 110	+ 102	+ 88	+ 65	+ 29
164,3	- 267	- 255	- 236	- 212	- 188	- 164	- 283	- 263	- 234	- 195	- 143	- 76

Таблица 1. (продужење)
Секуларне промене распореда сунчеве топлоте по површини Земље.
Јужна хемисфера

Хиваде година пре 1800 по Хр.	Летња полугодина					Зимска полугодина						
	Географска ширина (јужна)											
	25°	35°	45°	55°	65°	75°	25°	35°	45°	55°	65°	75°
165	+ 269	+ 260	+ 246	+ 226	+ 210	+ 196	- 290	- 272	- 244	- 204	- 150	- 77
170	- 217	- 163	- 99	- 27	+ 65	+ 180	+ 176	+ 140	+ 103	+ 71	+ 53	+ 54
175	- 901	- 794	- 660	- 502	- 318	- 101	+ 876	+ 780	+ 662	+ 529	+ 391	+ 245
176,3	- 954	- 853	- 724	- 570	- 394	- 189	+ 942	+ 846	+ 725	+ 584	+ 431	+ 261
180	+ 685	+ 639	+ 574	+ 497	- 514	- 325	+ 708	+ 651	+ 572	+ 472	+ 346	+ 192
185	+ 197	+ 130	+ 52	- 35	- 148	+ 33	- 139	- 98	- 58	- 28	- 23	- 46
187,5	+ 380	+ 288	+ 181	+ 57	- 99	- 292	- 313	- 250	- 187	- 130	- 98	- 95
190	+ 206	+ 126	+ 34	- 70	- 204	- 375	- 132	- 85	- 41	- 9	- 10	- 46
195	- 798	- 781	- 747	- 701	- 666	- 642	+ 870	+ 821	+ 740	+ 624	+ 457	+ 230
198,5	- 1143	- 1072	- 972	- 851	- 725	- 590	+ 1189	+ 1098	+ 967	+ 801	+ 588	+ 322
200	- 1061	- 989	- 890	- 771	- 642	- 504	+ 1097	+ 1009	+ 887	+ 732	+ 537	+ 297
205	- 63	- 40	- 13	+ 18	+ 56	+ 106	+ 42	+ 28	+ 15	+ 5	+ 5	+ 15
209,6	+ 541	+ 540	+ 527	+ 508	+ 500	+ 506	- 602	- 574	- 522	- 443	- 324	- 158
210	+ 539	+ 541	+ 531	+ 516	+ 514	+ 525	- 603	- 576	- 525	- 447	- 327	- 158
215	- 70	- 11	+ 55	+ 129	+ 226	+ 353	+ 7	- 25	- 49	- 60	- 42	- 10
220	- 1006	- 905	- 775	- 620	- 444	- 241	+ 1000	+ 901	+ 775	+ 627	+ 462	+ 277

220,8	- 1031	- 937	- 816	- 672	- 510	- 327	+ 1038	+ 941	+ 815	+ 664	+ 489	+ 285
225	+ 609	+ 615	+ 611	- 600	- 605	- 629	+ 687	+ 659	+ 604	+ 515	+ 376	+ 179
230	+ 134	+ 27	+ 94	- 229	- 410	- 595	- 61	- 38	+ 83	+ 104	+ 73	- 21
232,4	+ 170	+ 64	+ 55	- 190	- 367	- 642	+ 595	+ 3	+ 45	+ 72	+ 49	+ 31
235	- 91	- 160	- 234	- 317	- 432	- 585	+ 186	+ 214	+ 225	+ 214	+ 154	+ 39
240	- 702	- 674	- 642	- 601	- 567	- 541	+ 751	+ 708	+ 637	+ 537	+ 392	+ 199
242,2	- 729	- 679	- 610	- 526	- 436	- 339	+ 752	+ 692	+ 607	+ 501	+ 368	+ 204
245	+ 615	+ 554	+ 476	- 382	- 276	- 154	+ 612	+ 552	+ 476	+ 385	+ 284	+ 169
250	- 169	- 99	- 18	+ 72	+ 190	+ 339	+ 103	+ 62	+ 25	- 2	+ 1	+ 37
255	- 35	+ 2	+ 43	+ 88	+ 150	+ 230	- 6	- 25	- 39	- 44	- 32	- 4
256,5	- 51	- 25	+ 5	+ 38	+ 82	+ 138	+ 165	+ 10	- 2	- 10	- 7	- 11
260	- 157	- 149	- 137	- 122	- 107	- 93	+ 438	+ 154	+ 136	+ 113	+ 83	+ 44
265	- 402	- 394	- 378	- 356	- 339	- 328	+ 741	+ 414	+ 374	+ 316	+ 231	+ 116
270	- 673	- 664	- 643	- 612	- 593	- 586	+ 763	+ 702	+ 636	+ 538	+ 395	+ 195
270,7	- 693	- 684	- 661	- 630	- 609	- 602	+ 741	+ 723	+ 655	+ 554	+ 406	+ 201
275	- 518	- 534	- 542	- 547	- 571	- 617	+ 599	+ 579	+ 535	+ 460	+ 336	+ 154
280	+ 37	+ 16	- 74	- 139	- 226	- 340	+ 23	+ 49	+ 68	+ 75	+ 53	- 1
281,8	+ 134	+ 86	+ 30	- 43	- 115	- 218	+ 90	+ 62	- 34	- 4	- 11	- 31
285	- 10	- 21	- 33	- 46	- 64	- 88	+ 24	+ 29	+ 31	+ 30	+ 21	+ 5
290	- 691	- 601	- 489	- 360	- 205	- 23	+ 662	+ 585	+ 492	+ 390	+ 288	+ 186
292,7	- 846	- 731	- 589	- 425	- 228	+ 7	+ 805	+ 708	+ 593	+ 469	+ 346	+ 227
295	- 710	- 601	- 467	- 312	- 123	+ 105	+ 659	+ 572	+ 472	+ 367	+ 272	+ 189
300	+ 71	+ 98	+ 126	+ 156	+ 199	+ 259	+ 112	+ 121	+ 122	+ 193	+ 81	+ 25
303,1	+ 307	+ 276	+ 238	+ 192	+ 141	+ 82	- 306	- 276	- 238	- 193	- 142	- 85
305	+ 176	+ 131	+ 77	+ 17	- 60	- 156	+ 142	+ 111	- 81	- 55	- 42	- 44
310	- 674	- 683	- 680	- 672	- 682	- 713	+ 764	+ 733	+ 672	+ 575	+ 420	+ 198
313,4	- 948	- 926	- 885	- 831	- 787	- 757	+ 1032	+ 974	+ 877	+ 740	+ 541	+ 273
315	- 864	- 849	- 816	- 770	- 739	- 720	+ 946	+ 895	+ 808	+ 682	+ 500	+ 250
320	- 122	- 167	- 215	- 267	- 343	- 444	+ 192	+ 206	+ 208	+ 192	+ 139	+ 44

Таблица I. (продужење)
 Секуларне промене распореда сунчеве топлоте на површини Земље.
 Јужна хемисфера

Хивале година Пре 180 по Хр.	Летња полугодина					Зимска полугодина						
	Географска ширина (Јужна)											
	25°	35°	45°	55°	65°	75°	25°	35°	45°	55°	65°	75°
323,3	+ 130	+ 81	+ 26	- 37	- 118	- 221	- 87	- 57	- 30	- 10	- 10	- 30
325	+ 57	+ 26	- 8	- 46	- 98	- 162	- 27	- 9	+ 5	+ 10	+ 10	- 11
330	- 42	+ 9	+ 27	+ 69	+ 124	- 195	+ 7	- 10	+ 24	- 22	- 22	+ 7
332,8	- 650	- 557	- 443	- 311	- 153	+ 37	+ 613	+ 536	+ 447	+ 351	+ 260	+ 173
335	- 547	- 468	- 370	- 257	- 122	+ 41	+ 514	+ 450	+ 373	+ 292	+ 217	+ 146
340	- 77	- 71	- 61	- 51	- 38	- 24	+ 78	+ 71	+ 61	+ 50	+ 37	+ 21
342,1	- 8	- 19	- 29	- 41	- 57	- 79	+ 21	+ 26	+ 28	+ 27	+ 19	+ 4
345	- 178	- 186	- 191	- 196	- 208	- 229	+ 208	+ 203	188	+ 163	+ 118	+ 53
350	- 640	- 630	- 607	- 575	- 554	- 542	+ 702	+ 665	601	+ 508	+ 372	+ 185
350,9	- 662	- 750	- 625	- 592	- 568	- 555	+ 725	+ 686	619	+ 524	+ 383	+ 191
355	415	- 431	- 441	- 449	- 473	- 516	+ 483	469	435	+ 375	+ 274	+ 124
359,9	- 10	- 43	- 79	- 118	- 172	- 242	+ 51	+ 66	+ 75	+ 74	+ 53	+ 8
360	- 9	- 40	- 76	- 115	- 169	- 240	+ 49	+ 63	+ 72	+ 71	+ 51	+ 8
365	- 331	- 297	- 254	- 203	- 143	- 74	+ 328	+ 296	+ 254	+ 206	+ 151	+ 91
369,6	- 645	- 556	- 447	- 319	- 166	+ 15	+ 613	+ 538	+ 450	+ 355	+ 262	+ 173
370	- 641	- 551	- 439	- 309	- 153	+ 32	+ 606	+ 531	+ 442	+ 348	+ 257	+ 172

375	- 221	- 162	- 94	- 15	+ 83	+ 207	+ 175	+ 137	+ 98	+ 64	+ 50	+ 54
379,7	+ 84	+ 91	+ 98	+ 104	+ 116	+ 133	- 102	- 102	- 96	- 84	- 61	- 26
380	+ 80	+ 86	+ 92	+ 98	+ 107	+ 123	- 97	- 96	- 90	- 79	- 57	- 25
385	- 386	- 386	- 378	- 366	- 362	- 368	+ 431	+ 411	+ 374	+ 318	+ 233	+ 113
389,6	- 694	- 689	- 670	- 643	- 628	- 629	+ 769	+ 731	+ 663	+ 563	+ 415	+ 202
390	- 692	- 690	- 674	- 650	- 642	- 649	+ 769	+ 733	+ 667	+ 566	+ 415	+ 202
395	- 328	- 363	- 395	- 428	- 483	- 564	+ 409	+ 408	+ 388	+ 341	+ 248	+ 102
399,2	- 147	- 192	- 240	- 291	- 366	- 468	+ 219	+ 232	+ 233	+ 212	+ 154	+ 51
400	- 160	- 203	- 247	- 295	- 366	- 462	+ 231	+ 243	+ 241	+ 218	+ 159	+ 54
405	- 422	- 403	- 374	- 338	- 304	- 270	+ 448	+ 417	+ 372	+ 310	+ 227	+ 120
407,7	- 440	- 394	- 333	- 262	- 180	- 85	+ 434	+ 390	+ 333	+ 269	+ 198	+ 121
410	- 348	- 287	- 213	- 128	- 22	+ 105	+ 314	+ 268	+ 216	+ 165	+ 122	+ 91
415	- 97	- 36	+ 33	+ 110	+ 213	+ 344	+ 34	+ 1	- 27	- 42	- 29	+ 18
415,5	- 92	- 33	+ 34	+ 110	+ 209	+ 338	+ 31	1	- 28	- 43	- 29	+ 16
420	- 307	- 237	- 154	- 59	+ 58	+ 206	+ 258	+ 209	+ 159	+ 113	+ 85	+ 77
424	- 544	- 485	- 412	- 324	- 223	- 106	+ 536	+ 481	+ 412	+ 332	+ 245	+ 149
425	- 556	- 505	- 438	- 359	- 271	- 170	+ 559	+ 506	+ 438	+ 356	+ 253	+ 153
430	- 227	- 262	- 295	- 332	- 387	- 467	+ 296	+ 301	+ 289	+ 258	+ 187	+ 72
433,6	+ 7	- 73	- 160	- 256	- 388	- 562	+ 89	+ 127	+ 151	+ 153	+ 109	+ 12
435	- 3	- 86	- 175	- 275	- 411	- 589	+ 103	+ 142	+ 166	+ 167	+ 119	+ 15
440	- 593	- 602	- 601	- 595	- 607	- 638	+ 674	+ 647	+ 594	+ 508	+ 372	+ 175
444	- 903	- 870	- 809	- 733	- 661	- 591	+ 966	+ 902	+ 804	+ 671	+ 492	+ 258
445	- 881	- 833	- 762	- 675	- 587	- 496	+ 924	+ 857	+ 758	+ 629	+ 461	+ 249
450	- 91	- 78	- 61	- 41	- 17	+ 11	+ 85	+ 74	+ 61	+ 48	+ 35	+ 25
454,8	+ 428	+ 428	+ 419	+ 406	+ 402	+ 408	- 477	+ 456	- 414	- 353	- 258	- 125
455	+ 430	+ 431	+ 423	+ 412	+ 410	+ 419	- 481	- 460	- 419	- 357	- 261	- 125
460	- 117	- 80	- 37	+ 12	+ 74	+ 155	+ 452	+ 414	+ 40	+ 22	+ 18	+ 27
465	- 441	- 408	- 363	- 310	- 253	- 188	+ 465	+ 414	+ 362	+ 298	+ 219	+ 123
465,4	- 419	- 375	- 322	- 265	- 203	- 203	+ 465	+ 427	+ 373	+ 308	+ 226	+ 126

Таблица I. (продужење)
 Секуларне промене распореда сунчеве топлоте по површини Земље
 Јужна хемисфера

Хиљаде година пре 1800 по Хр	Летња полугодина					Зимска полугодина						
	Географска ширина (Јужна)											
	25°	35°	45°	55°	65°	75°	25°	35°	45°	55°	65°	75°
470	-397	-387	-370	-347	-329	-316	432	+407	+367	+309	+227	+114
475	+356	+273	+178	68	72	243	298	-241	-183	-130	-98	-90
475,6	+364	+280	+181	68	74	250	304	-247	-188	-132	-99	-91
480	-206	-243	-278	-316	-374	-455	274	+281	+271	+243	+176	+66
485	-990	-932	-848	-746	-642	-532	+1034	+956	+844	+699	+513	+279
486,1	-978	-914	-825	-717	-604	-481	+1014	+934	+822	+679	+499	+274
490	-547	-500	-438	-366	-284	-193	554	+504	+438	+358	+263	+152
495	+123	+133	+141	+149	+164	+187	149	+148	+138	+121	+88	-37
497,1	+158	+169	+177	+184	+199	+223	189	-186	-174	-151	-110	-48
500	-17	+14	+50	+88	+142	+210	20	34	46	49	35	1
505	-474	-415	-341	-256	-154	34	457	+406	+342	+273	+202	+128
508,2	-583	-544	-490	-425	-356	-281	604	+556	+488	+403	+296	+163
510	-550	-531	-499	-461	-425	-395	591	+554	+495	+416	+305	+158
515	-422	-443	-457	-469	-501	-552	496	+484	+450	+389	+285	+127
520	-319	-339	-353	-367	-397	-444	380	+373	+348	+302	+221	+96
525	-151	-173	-193	-215	-249	-298	194	+197	+189	+168	+121	+47

525,3	142	162	182	203	236	283	183	185	178	158	115	45
530	138	130	118	105	90	74	144	134	118	98	72	38
535	564	483	383	267	128	40	531	464	386	303	225	151
537,8	762	671	556	422	264	79	740	658	558	446	329	207
540	727	646	543	422	281	118	713	638	544	438	322	198
545	14	23	32	43	59	79	27	30	31	30	22	6
548,5	363	306	236	155	57	63	336	291	239	185	137	96
550	320	260	188	106	5	121	285	240	191	145	108	83
553	634	624	599	568	545	533	695	658	594	502	367	183
559	1188	1125	1036	924	804	696	1251	1160	1030	856	628	336
560	-1170	-1110	-1022	-914	-811	-694	1233	1146	1016	845	620	331
565	132	150	167	185	213	255	169	171	164	145	105	42
569,4	566	511	440	357	262	153	565	511	440	358	263	156
570	557	508	442	365	278	180	562	510	442	360	265	154
575	390	323	242	149	34	106	354	302	246	188	140	103
579,7	1061	920	747	544	302	15	1014	893	751	595	435	285
580	1054	914	740	537	295	9	1007	888	744	589	435	284
585	285	242	190	129	55	33	266	232	191	150	111	75
590	326	252	165	65	61	216	275	223	169	121	91	82
590,3	321	246	157	56	71	229	267	216	162	114	86	80
595	344	380	412	446	501	583	427	426	404	356	258	106
600	867	849	814	767	731	709	946	894	807	681	498	250