

ИНСОЛЯЦИЯ В ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРОТАХ И СПЕЦИФИКА ЭВОЛЮЦИИ КРИОСФЕРЫ

Иванова А.А.¹, Смутьский И.И.²

Институт криосферы Земли ТьюмНЦ СО РАН, Россия;

¹AnAnIvanova@yahoo.com, ²JSmulsky@tmnsc.ru

Аннотация

В статье рассматривается инсоляция в эквивалентных широтах за год, летнее и зимнее полугодия. Разработаны алгоритм ее вычисления и программа ее расчета в среде MathCad. Рассмотрена эволюция инсоляции в эквивалентных широтах за 200 тыс. лет назад на разных широтах Земли. По величине отклонения от современной инсоляции установлено, что наибольшее смещение широтных поясов происходит в высоких широтах. Например, на широте 80° величина смещения достигает 19° для годовой инсоляции, в то время как для широт 65° и 45° максимальные смещения равны 7.6° и 0.41° соответственно.

INSOLATION IN EQUIVALENT LATITUDES AND CRYOSPHERE EVOLUTION SPECIFICITY

Ivanova A.A.¹, Smulsky J.J.²

Institute of Earth's Cryosphere TyumSC SB RAS, Russia;

¹AnAnIvanova@yahoo.com, ²JSmulsky@tmnsc.ru

Abstract

The article is devoted to insolation in equivalent latitudes for the year, summer and winter half-year. The algorithm of computation and the program of calculation in the environment of MathCad are developed. The evolution of insolation in equivalent latitudes for 200 thousand years ago at different latitudes of the Earth is considered. By the deviation value from contemporary insolation, it is established that the greatest displacement of latitudinal belts occurs in high latitudes. For example, at latitude of 80°, the displacement reaches 19° for an annual insolation, while for latitudes of 65° and 45° the maximum displacements are 7.6° and 0.41°, respectively.

1. Введение

Астрономическая теория ледниковых периодов основывается на изменении количества солнечного тепла или инсоляции во времени. Изменение инсоляции Земли происходит из-за эволюции орбитального и вращательного движений Земли. В результате нового решения этих проблем [1] получены значительные колебания инсоляции, которые объясняют эволюцию криосферы [2].

М. Миланкович [3] для анализа изменения инсоляции ввел летнюю инсоляцию в эквивалентных широтах I_s . Она измеряется в широте φ , на которой тепла в современную эпоху за летнее полугодие столько же, как и в рассматриваемую эпоху. Инсоляция в эквивалентных широтах позволяет эффективно анализировать климаты прошлого.

В настоящей работе введены инсоляции в эквивалентных широтах за год и за зимнее полугодие. С помощью трех видов инсоляций проанализирована структура климата за прошедшие 200 тыс. лет.

2. Алгоритм вычисления инсоляции в эквивалентных широтах

Астрономическая теория палеоклимата в эпоху со временем T дает распределение инсоляции, например, годовой Q_T по широте Земли φ . В качестве стандартной эпохи берется современная эпоха ($T = 0$, 30.12.1949 г.). По функциональной зависимости $Q_T(\varphi)$ для этой эпохи определяется обратная зависимость $\varphi(Q_T)$. Так как $Q_T(\varphi)$ – является дискретной функцией и нелинейной, то она интерполируется по трем точкам с помощью параболической зависимости. После нахождения $\varphi(Q_T)$ для стандартной эпохи можно определить инсоляцию в эквивалентных широтах так: $I_T = \varphi(Q_{Ts})$, где Q_{Ts} – рассчитанное изменение во времени инсоляции Q_T на какой-то широте. Так как

инсоляции за летнее и зимнее полугодия отличаются для разных полушарий, за стандартную инсоляцию берется инсоляция Северного полушария.

Обязательным условием выполнения алгоритма является монотонность функции. Все три вида инсоляции возрастают от Северного полюса к экватору и имеют каждый свои экстремумы. Разбиение на участке проведено с шагом $h = 2.5^\circ$. Годовая инсоляция Q_T монотонно убывает от экватора (0°) до северного полюса (90°), зимняя Q_w монотонно убывает от 2.5° до 90° , а летняя Q_s от 25° до 87.5° . Максимум тепла в летнее полугодие в современную эпоху приходится на тропические широты. Это происходит из-за величины угла наклона $\varepsilon = 23.44^\circ$ между плоскостью экватора и плоскостью орбиты Земли.

Алгоритм расчета инсоляции в эквивалентных широтах рассмотрим на примере годовой инсоляции. Обозначим значения годовой инсоляции на разных широтах как $Q_{T,n,i3}$ и $\varphi_{n,i3}$, где n – значок стандартной широты, $i3$ – индекс конкретного значения широты. Итак, имеется функциональная зависимость для стандартной годовой инсоляции $Q_{T,n,i3}(\varphi_{n,i3})$. Для определения стандартной широты, на которой инсоляция Q_T в эпоху T будет равна $Q_{T,n}$ в эпоху T_0 , необходимо использовать обратную зависимость $\varphi_{n,i3}(Q_{T,n,i3})$.

Так как зависимость $\varphi_{n,i3}(Q_{T,n,i3})$ для стандартной инсоляции дискретна, то инсоляция в эквивалентных широтах при любом значении удельной инсоляции Q_T находится с помощью параболической интерполяции

$$I_T = A_{iQ-1} \cdot Q_T^2 + B_{iQ-1} \cdot Q_T + C_{iQ-1}; \quad (1)$$

где iQ – индекс начала параболического участка аппроксимации.

Уравнения (1) представляют систему линейных алгебраических уравнений, в которых неизвестны группы по трем коэффициентам A_{i3} , B_{i3} и C_{i3} , где $i3$ – индекс конкретного значения широты. Составляем системы уравнений в трех точках $i3 - 1$, $i3$, $i3 + 1$, в результате их решения находим выражения для этих индексов:

$$A_{i3} = \frac{\frac{\varphi_{n,i3+2} - \varphi_{n,i3+1}}{Q_{T,n,i3+2} - Q_{T,n,i3+1}} - \frac{\varphi_{n,i3+1} - \varphi_{n,i3}}{Q_{T,n,i3+1} - Q_{T,n,i3}}}{Q_{T,n,i3+2} - Q_{T,n,i3}}; \quad (2)$$

$$B_{i3} = \frac{\varphi_{n,i3+2} - \varphi_{n,i3+1}}{Q_{T,n,i3+2} - Q_{T,n,i3+1}} - A_{i3} \cdot (Q_{T,n,i3+2} + Q_{T,n,i3+1}); \quad (3)$$

$$C_{i3} = \varphi_{n,i3+1} - A_{i3} \cdot (Q_{T,n,i3+1})^2 - B_{i3} \cdot Q_{T,n,i3+1}. \quad (4)$$

Индекс iQ в выражении (1) подбирается так, чтобы рассматриваемое в эпоху T значение инсоляции Q_T находилось между значениями $Q_{T,n,iQ-1}$ и $Q_{T,n,iQ}$.

По аналогичному алгоритму рассчитываются летняя I_s и зимняя I_w инсоляции в эквивалентных широтах. Как упоминалось ранее, они справедливы на монотонном участке изменения инсоляции по широте: летняя Q_s от 25° до 87.5° , зимняя Q_w от 2.5° до 90° .

Этот алгоритм реализован в среде MathCad. Программа использует файлы стандартной инсоляции за год и за летнее и зимнее полугодия, а также коэффициенты A , B и C . Полученные в Астрономической теории изменения инсоляции во времени пересчитываются в инсоляции в эквивалентных широтах.

3. Эволюция инсоляции в эквивалентных широтах за 200 тыс. лет

3.1. Годовая инсоляция в эквивалентных широтах

На рис. 1 показана эволюция годовой инсоляции в эквивалентных широтах за 200 тыс. прошедших лет. Вначале детально рассмотрим ее изменение на широте 65° . За 200

тыс. лет имеется 13 экстремумов годовой инсоляции в эквивалентных широтах: 7 максимумов и 6 минимумов. Шкала для инсоляции I_T перевернута. Меньшие значения идут вверх, а большие вниз. Поэтому максимумы кривой I_T соответствуют меньшим широтам, т.е. потеплениям, а минимумы – похолоданиям. В работе [2] эти экстремумы пронумерованы от O_I до I_{12} и названы инсоляционными периодами изменения климата. Экстремумы определены по инсоляции Q_s^{65N} за летнее полугодие. Экстремумы годовой инсоляции в эквивалентных широтах I_T происходят в те же эпохи, что и экстремумы Q_s^{65N} .

Начиная с эпохи $T = 0$ на широте 65° (рис. 1) наблюдается небольшой максимум I_T , инсоляция уменьшается всего на 0.184° в эпоху $T \approx 3$ т.л.н., т.е. происходит небольшое потепление. Далее происходит увеличение I_T и к эпохе $T = 15.28$ т.л.н. (I_1 на рис. 1) годовая инсоляция I_T увеличивается на три градуса, т.е. на широте 65° количество тепла за год поступает как на широте 68° . Таким образом, в эпоху $T = 15.28$ т.л.н. становится существенно холоднее по сравнению с современной эпохой. Это середина последнего ледникового периода.

При дальнейшем изменении годовая инсоляция в эквивалентных широтах уменьшается на 7.529° к моменту $T = 31.04$ т.л.н. (I_2 на рис. 1), т.е. на широте 65° с.ш. становится теплее, а тепла на широту поступает столько, сколько на широту 57.471° с.ш. в современную эпоху. Это существенное потепление климата. Оно определяет середину каргинского потепления в Западной Сибири.

После этого экстремума идет непрерывное увеличение годовой инсоляции I_T до величины 70.889° на широте 65° в эпоху $T = 46.44$ т.л.н., т.е. становится значительно холоднее. Произошло уменьшение годового количества тепла эквивалентное смещению географической широты на 5.889° . Это середина предпоследнего ледникового периода. Остальные экстремумы I_T на широте 65° происходят аналогично. В таблице 1 приведены величины экстремумов

$$\Delta I_{T\varphi} = I_{T\varphi} - \varphi^\circ. \quad (5)$$

Таблица 1. Величины экстремумов $\Delta I_{T\varphi}$ годовой инсоляции I_T за 200 т.л.н. на трех широтах $\varphi = 80^\circ, 65^\circ, 45^\circ$: IP – инсоляционный период, определенный по летней инсоляции, T – оптимумы годовой инсоляции, соответствующие эпохам IP . Положительные значения $\Delta I_{T\varphi}$ соответствуют похолоданиям, а отрицательные – потеплениям.

T , кур	-2.8	-15.28	-31.04	-46.44	-60.84	-73.32	-83.4	
IP	O_I	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	
φ	80°	-1.303	10.000	-19.186	10.000	-14.885	4.889	-9.561
	65°	-0.184	3.051	-7.529	5.889	-4.634	0.469	-2.168
	45°	-0.007	0.070	-0.349	0.112	-0.183	0.003	-0.097

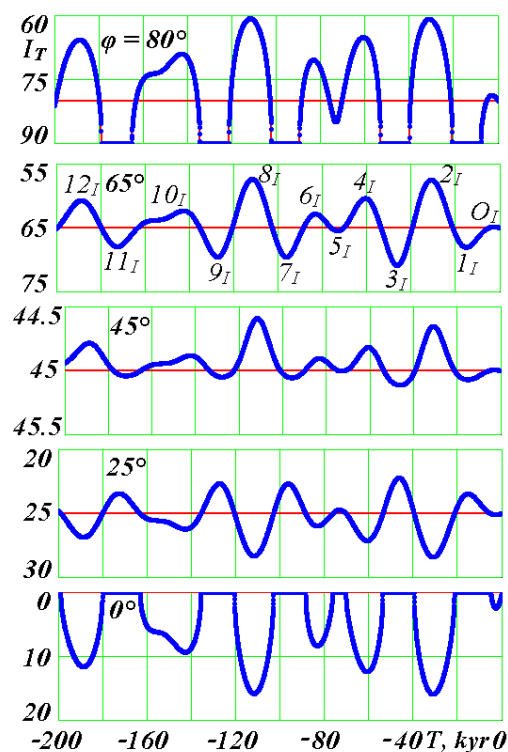
Продолжение таблицы 1

T , кур	-96.44	-111.84	-127.56	-142.8	-172.4	-189.12	
IP	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}	
φ	80°	10.000	-19.303	10.000	-11.023	10.000	-14.321
	65°	4.557	-7.627	4.564	-2.705	2.961	-4.306
	45°	0.055	-0.410	0.049	-0.119	0.041	-0.217

Максимальные амплитуды колебания для годовой инсоляции в эквивалентных широтах для 65° составляют: $\Delta I_{T\varphi} = 5.889^\circ$ для минимумов в момент времени $T_{min} = 46.44$ т.л.н. и $\Delta I_{T\varphi} = -7.529^\circ$ и $\Delta I_{T\varphi} = -7.627^\circ$ для максимумов $T_{max1} = 31.04$ т.л.н. и $T_{max2} = 111.84$ т.л.н.

На широте 80° с.ш. происходят такие же изменения годовой инсоляции в эквивалентных широтах, как на широте 65° с.ш., но с увеличением амплитуды колебаний (табл. 1). Во время наступления минимума годовая инсоляция I_T увеличивается до 90° с.ш., и на широте 80° с.ш. годовая инсоляция становится меньше, чем в современную эпоху на полюсе. Поэтому на графике проведены горизонтальные линии.

Рис. 1. Эволюция годовой инсоляции I_T в эквивалентных широтах за 200 тыс. лет на пяти широтах Северного полушария. Горизонтальной прямой линией приведена широта, к которой относится изменение инсоляции I_T . T – время в тыс. лет (кыг) от 30.12.1949 г., O_I, I_I, \dots, I_{12I} – оптимумы инсоляционных периодов.



На широте 45° с.ш. инсоляция I_T , как и на широте 80° изменяется софазно широте 65° с.ш., но с очень малыми амплитудами колебаний инсоляции I_T . Как видно из табл. 1, величины экстремумов $\Delta I_{T\phi}$ не превышают 0.5. Эти результаты подтверждают, что годовая инсоляция на широте 45° практически не меняется [2].

Для широты 25° с.ш. характерно обратное изменение годовой инсоляции в эквивалентных широтах, и, следовательно, каждому максимальному значению годовой инсоляции на широте 65° с.ш. соответствует минимальное на 25° с.ш., и, наоборот, минимумам соответствуют максимумы, наступающие в те же моменты.

Изменения по времени годовой инсоляции в эквивалентных широтах на широте 0° также происходят в противофазе с широтой 65° . В отличие от широты 25° максимумы I_T завершаются горизонтальными площадками. Максимальное количество тепла за год в современную эпоху приходится на экватор [2]. Горизонтальные площадки означают, что количество тепла в эти периоды на экватор поступает больше, чем в современную эпоху. А происходит это в моменты минимумов для широты 65° с.ш.

Такие же вычисления годовой инсоляции I_T были выполнены также для южного полушария, и установлено, что для него характерны абсолютно идентичные изменения годовой инсоляции в эквивалентных широтах, что и для северного полушария. Поэтому графики I_T для $80^\circ, 65^\circ, 45^\circ$ и 25° ю.ш. идентичны графикам рис. 1 для Северного полушария.

Для уточнения результатов были проведены построения графиков годовой инсоляции в эквивалентных широтах на других широтах Земли, отличающихся от широт на рис. 1. Выяснилось, что для высоких широт ($\phi \geq 45^\circ$) на всем протяжении времени характерны софазные изменения с широтой 65° , тогда как для низких характерны противофазные изменения с широтой 65° .

Таким образом в холодные инсоляционные периоды количества солнечного тепла за год на широты $\phi \geq 45^\circ$ поступает меньше, а на широты $\phi < 45^\circ$ – больше. А в теплые эпохи наоборот. Это справедливо как для Северного, так и для Южного полушарий. Как видно из табл. 1, чем больше широта, тем существеннее происходит изменение тепла за год.

3.2. Зимняя инсоляция в эквивалентных широтах

На рис. 2 показано изменение зимней инсоляции в эквивалентных широтах I_w за 200 т.л.н. На широте 65° с.ш. также нанесены оптимумы инсоляционных периодов $O_I, I_1, \dots, 12_I$. Оптимумы зимней инсоляции совпадают с ними, однако они находятся в противофазе колебаниям годовой I_T (рис. 1). Таким образом, на широте 65° в теплые периоды зимы холоднее, а в холодные периоды – теплее.

Как видно из рис. 2 за последние 200 тыс. лет было 6 максимумов и 7 минимумов зимней инсоляции I_w . Начиная с $T = 0$ зимняя инсоляция I_w немного возрастает до момента $T \approx 5$ т.л.н., затем уменьшается на 2.104° к моменту $T = 15.88$ т.л.н. Таким образом, зимы в последний ледниковый период были теплее современных: на широте 65° количества тепла зимой было как сейчас на широте 62.896° . Далее в теплую эпоху $T = 31.28$ т.л.н. $I_w = 70.149^\circ$, т.е. зима на широте 65° была как сейчас на широте 70° . В этом случае перепад $\Delta I_{w\varphi}$, вычисленный аналогично (5) составляет $\Delta I_{w\varphi} = 5.149^\circ$. В другие эпохи перепады $\Delta I_{w\varphi}$ приведены в табл. 2.

Таблица 2. Величины экстремумов $\Delta I_{w\varphi}$ зимней инсоляции I_w за 200 т.л.н. на трех широтах $\varphi = 80^\circ, 65^\circ, 45^\circ$: IP – инсоляционный период, T – оптимумы летней инсоляции

T , kyr	-4.16	-15.88	-31.28	-46.44	-60.8	-72.8	-83.4	
IP	O_I	I_1	2_I	3_I	4_I	5_I	6_I	
φ	80°	0.382	-0.002	3.017	-2.267	2.867	-0.520	3.141
	65°	0.378	-2.104	5.149	-5.900	4.272	-0.708	3.697
	45°	0.529	-2.081	7.472	-6.407	5.720	-0.892	4.591

Продолжение таблицы 2

T , kyr	-95.92	-110.8	-127.56	-144.88	-171.08	-190.36	
IP	7_I	8_I	9_I	10_I	11_I	12_I	
φ	80°	-2.453	2.131	0.973	1.579	-0.541	0.128
	65°	-5.091	4.307	-2.437	2.474	-1.533	1.777
	45°	-5.968	6.678	-1.712	3.320	-1.740	2.899

На широте 80° с.ш. изменения зимней инсоляции I_w подобны ее изменениям на широте 65° . При этом появляются дополнительные два экстремума. Оптимум инсоляционного периода 9_I расщепляется на два подоптимума, и появляется дополнительный оптимум между оптимумами 11_I и 12_I . На широте 65° эти события тоже имеются в зачаточной форме. Величины оптимумов $\Delta I_{w\varphi}$ на широте 80° приведены в таблице 2. Видно, что они примерно в два раза меньше, чем на широте 65° . Таким образом, на широте 80° зимы в теплые периоды также теплее, но в меньшей степени.

Следует отметить, разнообразие климатических условий. Наличие двух дополнительных экстремумов на широте 80° свидетельствует об этом. Например, во время оптимума 9_I на широте $\varphi = 65^\circ$ зимы были теплее современных на $\Delta I_{w\varphi} = 2.437^\circ$, а на широте $\varphi = 80^\circ$ - холоднее на $\Delta I_{w\varphi} = 0.973^\circ$. Подобная ситуация происходит и в промежутке между периодами 11_I и 12_I .

На широте 45° с.ш. инсоляция I_w (рис. 2) изменяется также как и на широте 65° . Как видно из табл. 2 величины экстремумов $\Delta I_{w\varphi}$ примерно такие же, однако, по сравнению с годовой инсоляцией I_T (см. табл. 1) диапазон колебания величины экстремумов с 0.4° увеличился до $6^\circ-7^\circ$. Таким образом, при неизменности годовой инсоляции на широте 45° , полугодовая инсоляция I_w сильно изменяется.

На широте 25° (рис. 2) инсоляция I_w изменяется аналогично инсоляции на широте 65° . Имеется отличие, как и на широте 80° , в период 9_I и между периодами 11_I и 12_I появляется дополнительный экстремум.

Рис. 2. Эволюция зимней инсоляции I_w в эквивалентных широтах за 200 тыс. лет на восьми широтах Земли. Горизонтальной прямой линией приведена широта, к которой относится изменение инсоляции I_w .

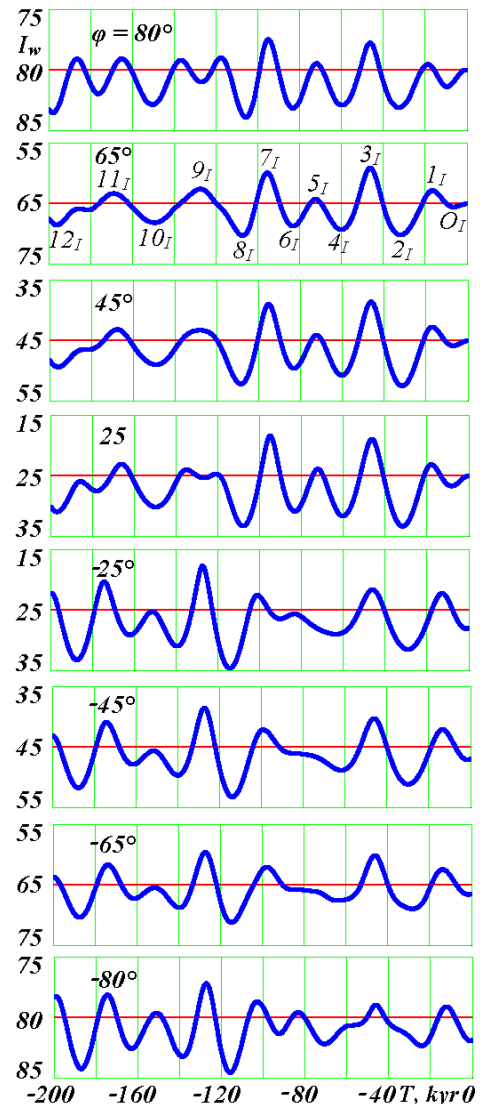
Зимняя инсоляция I_w (рис. 2) в Южном полушарии отличается более значительно от инсоляции Северного полушария. Уже в начале ($T \approx 0$) на широте $\varphi = -65^\circ$ оптимум голоцена O_I приходится не на $T \approx 5$ т.л.н., как на широте $\varphi = 65^\circ$, а сдвинут в современную эпоху, и инсоляция $I_w = 66^\circ$. То есть зима сейчас на этой широте холоднее, чем в Северном полушарии. Имеется также небольшой сдвиг по времени оптимумов 1_I , 2_I и 3_I . Их величина также меньше. Оптимумы 5_I и 6_I совсем вырождаются. Оптимумы 7_I , 8_I и 9_I имеют разные превышения $\Delta I_{w\varphi}$ и не совпадают по времени. Еще большее различие инсоляции I_w имеется после оптимума 9_I . Например, небольшой максимум в эпоху 10_I в Южном полушарии соответствует минимуму в Северном. Наибольшая величина экстремума на широте $\varphi = -65^\circ$ равна $-\Delta I_{w\varphi} = -5.4^\circ$ для оптимума 9_I , а наименьшая $-\Delta I_{w\varphi} = 2.2^\circ$ для оптимума 10_I .

Структура колебаний I_w на широте $\varphi = -65^\circ$ повторяется и на других широтах Южного полушария с теми же особенностями, что в Северном полушарии. На широте $\varphi = -80^\circ$ некоторые колебания усиливаются и появляются новые, а амплитуда всех колебаний почти в два раза меньше по сравнению с широтой $\varphi = -65^\circ$. На широте $\varphi = -45^\circ$ амплитуда немножко увеличивается по сравнению с широтой $\varphi = -65^\circ$, а на широте $\varphi = -25^\circ$ увеличение амплитуд еще больше.

3.3. Летняя инсоляция в эквивалентных широтах

В работе [2] на рис. 6 изображено изменение летней инсоляции I_s в эквивалентных широтах за 200 тыс. лет назад на восьми широтах: 80° ; 65° ; 45° ; 25° ; -25° ; -45° ; -65° ; -80° земного шара. Как и для годовой инсоляции, на рис. 1, на графиках летней инсоляции имеются горизонтальные участки. Верхние горизонтальные участки соответствуют моменту времени, когда инсоляция в эпоху T летом была больше чем в экваториальной зоне в современную эпоху, а нижние горизонтальные участки отмечают эпохи, когда летняя инсоляция была меньше чем в области полюсов.

На широте 65° (рис. 6, [2]) по горизонтальным участкам видно, что имеются две теплые эпохи при $T = -31.28$ и $T = -110.8$ тыс. лет и 5 холодных. На широтах 80° и 45° инсоляция I_s изменяется подобным образом. Отличие заключается в том, что на широте 80° длительность холодных периодов увеличивается и добавляется еще один при $T = -$



75 тыс. лет. На широте 45° нет холодных периодов с инсоляцией меньше, чем на полюсе. А теплые периоды с инсоляцией больше, чем на экваторе, становятся более продолжительными, и добавляется еще четыре теплых периода.

На широте 25° продолжительность теплых периодов еще больше увеличивается, а по сравнению с широтой 45° добавляется еще три теплых периода. А в холодные периоды значение инсоляции I_s не опускается ниже широты 45°. То есть, на широте 25° не бывает лета холодней, чем сейчас лето на широте 45°.

Таблица 3. Величины экстремумов $\Delta I_{s\varphi}$ летней инсоляции I_s за 200 т.л.н. на трех широтах $\varphi = 80^\circ, 65^\circ, 45^\circ$, обозначения как в табл. 2.

$T, \text{ kyr}$	-4.16	-15.88	-31.28	-46.44	-60.8	-72.8	-83.4	
IP	0_I	1_I	2_I	3_I	4_I	5_I	6_I	
φ	80°	-4.420	7.500	-55.000	7.500	-34.369	7.500	-21.708
	65°	-1.158	22.500	-40.000	22.500	-22.868	3.435	-12.320
	45°	-1.704	5.875	-20.000	15.538	-20.000	2.578	-20.000

Продолжение таблицы 3

$T, \text{ kyr}$	-95.92	-110.8	-127.56	-144.88	-171.08	-190.36	
IP	7_I	8_I	9_I	10_I	11_I	12_I	
φ	80°	7.500	-55.000	7.500	-22.781	7.500	-29.840
	65°	22.500	-40.000	22.500	-11.684	22.500	-15.960
	45°	14.466	-20.000	4.892	20.000	3.694	-20.000

4. Заключение

Выполненные исследования по эволюции инсоляции в эквивалентных широтах дают представление о смещении широтных поясов на Земле. Например, для Северного полушария, чем севернее находится широта, тем более значительные смещения в прошлом она претерпевала. Летняя инсоляция в эквивалентных широтах изменяется софазно с годовой инсоляцией, однако величины экстремумов в несколько раз больше. Зимняя инсоляция в эквивалентных широтах изменяется в противофазе с годовой. Это свидетельствует о более теплых зимах во время холодных периодов и более холодных зимах в эпохи теплых периодов.

Нам знакомо изменение климата по широте в современную эпоху. Оказывается, в другие эпохи климат изменяется по-другому. Лета могут быть существенно теплее современных, а зимы при этом – холоднее. А может быть наоборот: лета холоднее и существенно, а зимы – теплее. Оказывается, что может быть другая структура изменений по широтам. На широте 65° (период 9_I на рис. 2 и табл. 1) зима теплее, чем сейчас, а на широте 80° – холоднее. При этом каждый инсоляционный период может иметь свою структуру климатических изменений отличных от другого инсоляционного периода. Все эти особенности необходимо учитывать при анализе палеоклиматических свидетельств. Их невозможно интерпретировать с позиции современного понимания климата. Если это не учитывать, то эти свидетельства можно относить к различным временным эпохам, или, наоборот, по этим свидетельствам классифицировать эпохи ледниковыми, хотя в действительности они были теплыми.

5. Список литературы

1. Смутьский И.И. Эволюция оси Земли и палеоклимата за 200 тысяч лет. Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2016 – 228 с.
2. Смутьский И.И. Новые результаты по инсоляции Земли и их корреляция с палеоклиматом Западной Сибири в позднем плейстоцене // Геология и Геофизика, 2016, т. 57, № 7, с. 1393-1407.
3. Миланкович М. Палеоклиматическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М.-Л.: ГОНТИ, 1939. – 207 с.