

Среднегодовые палеотемпературы на поверхности Земли

И.И. Смульский (JSmulsky@mail.ru)

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Федеральный исследовательский центр, г. Тюмень

Аннотация. На основании среднеширотных температур Земли, полученных разными авторами, предложен обобщенный профиль годовой температуры в современную эпоху. Представлены профили годовой инсоляции Земли в экстремальные эпохи на интервале последних 50 тыс. лет. Введена среднеширотная поверхностная теплоемкость Земли, которая определена по широтному изменению температуры и инсоляции в современную эпоху и по временному изменению инсоляции. С помощью теплоемкости определены профили среднеширотных палеотемператур в три экстремальные эпохи. Приведены оценки локальных палеотемператур.

Ключевые слова: Среднеширотная температура, инсоляция, теплоемкость, палеотемпература, палеоклимат, ледниковые периоды.

1. Введение

Количество солнечного тепла за год, или, по-другому, годовая инсоляция по широте Земли изменяется от максимального значения на экваторе до минимального – на полюсах. Поэтому среднегодовая температура на поверхности Земли также изменяется от максимальной на экваторе до минимальной на полюсах. Распределение годовой инсоляции по поверхности Земли, зависящее от параметров ее орбитального и вращательного движений, точно рассчитывается [5]. Согласно Астрономической теории изменения климата [6] со временем параметры орбиты и оси вращения Земли изменяются, что приводит к изменению распределения тепла, а, следовательно, и температуры по ее поверхности. Поэтому, если будет известна зависимость годовой температуры от годовой инсоляции, то по рассчитанным изменениям последней в отдаленную эпоху, можно будет определить изменение температуры по поверхности Земли в эту эпоху.

2. Изменение среднегодовой температуры по поверхности Земли в современную эпоху

Герхард Крамм и др [11] проанализировали все работы, начиная с 1852 г., по определению распределения годовой температуры по широте Земли, привели их к одним и тем же стандартным величинам и представили на одном графике в виде зависимости температуры от широты $t(\varphi)$. На основании этих данных методом последовательных приближений мы определили обобщенный профиль среднегодовой температуры $t_{o,i}(\varphi)$, рис. 1 показанный точками на рис. 1.

Величина $t_{o,i}(\varphi)$ является средней по всем долготам среднегодовой температурой приземного слоя воздуха на широте φ , т.е. это – среднеширотная температура. В каждой конкретной местности на широте φ локальная среднегодовая температура $t_l(\varphi)$ отличается от $t_{o,i}(\varphi)$.

Среднеширотную температуру $t_{o,i}(\varphi)$ мы определили через 5° в 37 точках, т.е. $t_{o,i}(\varphi)$, где $i = 1, 2, \dots, I_f$; $I_f = 37$. Максимальное значение среднегодовой температуры равно $t_{o,17} = 26.71^\circ\text{C}$ на широте $\varphi_{17} = 10^\circ$. На Южном полюсе температура имеет минимальное значение $t_{o,37} = -31.12^\circ\text{C}$, в то время как на Северном полюсе $t_{o,1} = -25.3^\circ\text{C}$. Обобщенное распределение температуры $t_{o,i}$ будем относить к современной эпохе 30.12.1949 г. с юлианским днем $JD_0 = 2432280.5$.

Более удобным для применения являлось бы распределение температуры в виде непрерывной зависимости, выраженной простой функцией. Например, в статье [11] обсуждается формула Форбеса (Forbes) [8]:

$$t_F(\varphi) = A + B \cdot (\cos \varphi)^m + C \cdot n \cdot \cos(2 \cdot \varphi), \quad (1)$$

где $A = -10.8^{\circ}\text{C}$; $B = 32.9^{\circ}\text{C}$; $C = 21.2^{\circ}\text{C}$; $m = 1.25$. Эту формулу Форбес предложил для Северного полушария. При этом коэффициент $n = 1$, если поверхность Земли является сушей, а для Земли, полностью покрытой океаном, $n = 0$.

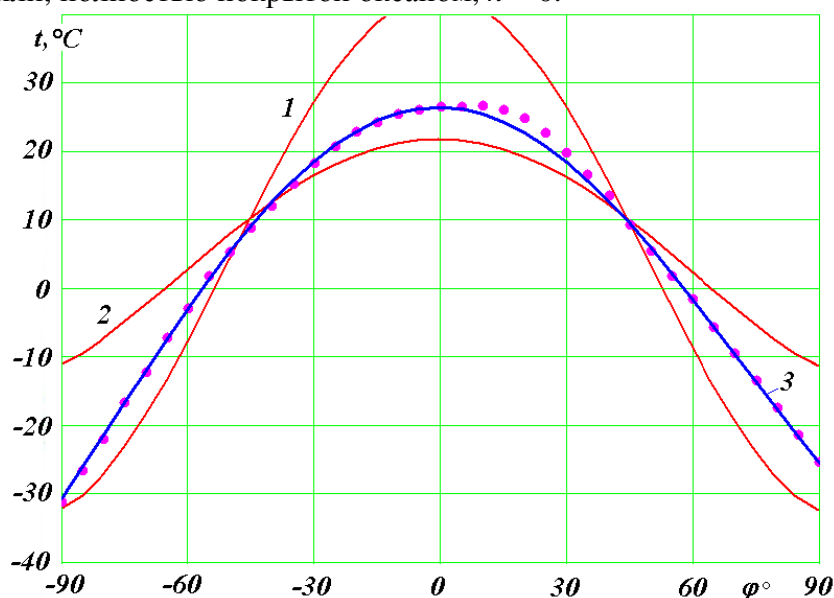


Рисунок 1 – Сравнение обобщенной среднегодовой температуры $t_{0,i}$ (точки) с зависимостями (1) Форбеса (Forbes) [7] (линии 1 и 2) и гармонической аппроксимацией (2) (линия 3): линия 1 представляет профиль температуры в предположении твердой поверхности Земли; линия 2 – поверхность Земли покрыта водой. $\varphi = 90^{\circ}$ – Северный полюс; $\varphi = -90^{\circ}$ – Южный полюс.

На рис. 1 линиями 1 и 2 приведены температуры Форбеса $t_F(\varphi)$ согласно (1). Для Земли, полностью покрытой сушей, т.е. при $n = 1$ и линия 1 на рис. 2, изменения температуры от полюсов до экватора в два раза больше, чем для Земли, покрытой океаном (линия 2). На широте 45° температуры у этих двух моделей температуры Земли совпадают между собой и со среднегодовой температурой $t_{0,i}$, обобщающей результаты наблюдения.

По аналогии с формулой (1), температура $t_{0,i}$ была нами аппроксимирована зависимостью, состоящей из двух гармоник:

$$t_{0a} = k_1 + k_2 \cdot \sin(k_3 \cdot \varphi + k_4) + k_5 \cdot \sin(k_6 \cdot \varphi + k_7), \quad (2)$$

Значения коэффициентов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значение коэффициентов годовой температуры (2)

k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
-48.841°C	47.840°C	0.12389	0.81818	40.602°C	1.2165	1.6566

На рис. 1 аппроксимирующая зависимость (2) показана линией 3. Среднее её отличие от индексированной годовой температуры $t_{0,i}$, составляет 0.44°C , а наибольшее равно 2°C на широте $\varphi = 20^{\circ}$. Из графика температуры $t_{0,i}$ на рис. 1 следует, что на широтах Северного полушария от 10° до 30° годовая температура на $1 - 2^{\circ}\text{C}$ выше по сравнению с теми же широтами Южного полушария. По-видимому, это обусловлено тем, что в Северном полушарии сушей занята большая часть поверхности Земли по сравнению с Южным полушарием. Аппроксимирующую зависимость (2) применялась нами для проверки различных вычислений.

Представленные Герхардом Краммом и др. [11] 15 зависимостей по широте φ среднегодовой температуры имеют некоторый разброс. Чтобы оценить достоверность этих зависимостей авторы [11] рассчитали по ним среднегодовые температуры Земли t_E и

полушарий: Северного (t_{NH}) и Южного (t_{SH}). Эти температуры изменяются в Северном полушарии (t_{NH}) от 12.5°C до 15.3°C, в Южном (t_{SH}) – от 10.9°C до 15.3°C и для Земли в целом (t_E) – от 11.7°C до 15°C.

Следует отметить, что современное значение средней температуры Земли принято 15°C. Согласно Герхарду Крамму и др. [11] это значение было предложено Ханном (Hann) [9] и Безольдом (Bezold) [14]-[15]. В работе [11] значение $t_E = 15^\circ\text{C}$ получено по данным Феррела (Ferrel) [7], и оно является наибольшим.

Современные средние температуры Земли и полушарий для интервала 1991 - 2018 г.г. получены тремя группами исследователей: 1) объединенными усилиями Метеобюро Хэдл-центра и Университета Восточной Англии (Ukmet Office Hadly Centre and University of East Climatic Reseach Unit) (HadCRU) [12] в виде набора HadCrut4; 2) Беркелей (Berkeley) набор [13]; 3) Институт космических исследований им. Годдарда в NASA (NASA Goddard Institute for Space Studdies) [10] в виде набора NASA GISS. В табл. 2 с ними сопоставлены температуры, рассчитанные нами по обобщенной температуре $t_{o,i}(\varphi)$. Как видно, они практически не отличаются от средней температуры Земли и полушарий, полученных современными авторами. Поэтому можно считать, что обобщенное распределение температуры по широте Земли $t_{o,i}$, основанное на всех имеющихся исследованиях, достоверно отображает широтное изменение температуры в современную эпоху.

Таблица 2

Средняя приземная температура Северного (t_{NH}) и Южного (t_{SH}) полушарий и Земли в целом (t_E) согласно работам современных авторов за период 1991-2018 гг. [11] и согласно обобщенному распределению температуры $t_{o,i}$.

№, п/п	Наборы данных	Среднегодовая приземная температура полушарий и Земли в °C		
		t_{NH}	t_{SH}	t_E
1	HadCRUT4	15.2	13.7	14.4
2	Berkeley	-	-	14.5
3	NASA GISS	15.2	13.7	14.5
4	По обобщенной температуре $t_{o,i}$	15.10	13.73	14.41

3. Распределение годовой инсоляции по широте Земли

Под инсоляцией Земли понимается количество тепла поступающего от Солнца на 1 м² земной поверхности за определенный период времени, например за летнее (Q_s) или зимнее (Q_w) полугодия или за год в целом (Q_T). В настоящей работе будет рассматриваться годовая инсоляции Q_T . Первый вариант астрономической теории изменения климата, созданной почти 100 лет назад Милутином Милановичем [2], не учитывал эволюцию вращательного движения Земли. Поэтому изменения инсоляции Земли в этом варианте не могли объяснить изменения палеоклимата [1], [3]. В новой астрономической теории [5] - [6] изменения инсоляции определялись с учетом эволюции вращательного движения Земли. Полученные в ней колебания инсоляции, как по амплитудам, так и по моментам наступления потеплений и похолоданий совпадают с соответствующими изменениями палеоклимата [4].

В работах [4] - [6] установлено, что в разные эпохи годовая инсоляции Q_T значительно изменяется по широте. Однако на широте 45° она практически неизменна и с точностью до 4-х знаков равна $Q_{T0}^{45} = 9.932 \cdot 10^6$ кДж/м². Поэтому величина Q_{T0}^{45} может быть принята за характеристику облучения Земли Солнцем. Следует отметить, что это значение Q_{T0}^{45} рассчитано при солнечной постоянной $J_0 = 2$ кал/(см²·мин) = 1.3956 кВт/м², которое было использовано М. Миланковичем.

В дальнейшем будем рассматривать годовую инсоляцию в безразмерных единицах $Q_{Ti} = Q_T / Q_{T0}^{45}$. На рис. 2 безразмерная годовая инсоляции Q_{Ti} показана для четырех эпох за последние 50 тыс. лет назад (т.л.н.): современной ($T = 0$ куг) и $T = -15.88, -31.28$ и 46.44 куг, где 1 куг – 1 тысяча лет. Последние три эпохи характеризуются тем, что в них были

существенные изменения климата. В эпоху 15.88 т.л.н. в Западной Сибири была середина Сарганского оледенения, 31.28 т.л.н. – максимум Каргинского теплого периода, а 46.44 т.л.н. – середина Ермаковского ледникового периода [4]. Эти события также происходили в Европе и в Северной Америке, но там они имеют другие названия. Как следует из графиков на рис. 2, величина Q_{Tu} в высоких широтах, в частности на полюсах, изменяется от 0.361 для очень холодного периода 46.44 т.л.н. до 0.748 для очень теплого периода 31.28 т.л.н., т.е. больше чем в два раза. На экваторе изменения количества тепла за год значительно меньше: от $Q_{Tu} = 1.306$ в теплую эпоху 31.28 т.л.н. до $Q_{Tu} = 1.388$ в ледниковый период 46.44 т.л.н.. Это изменение имеет обратное направление, т.е. в экваториальных широтах в холодные эпохи становится теплее. Как видим, основные изменения тепла проходят в высоких широтах.

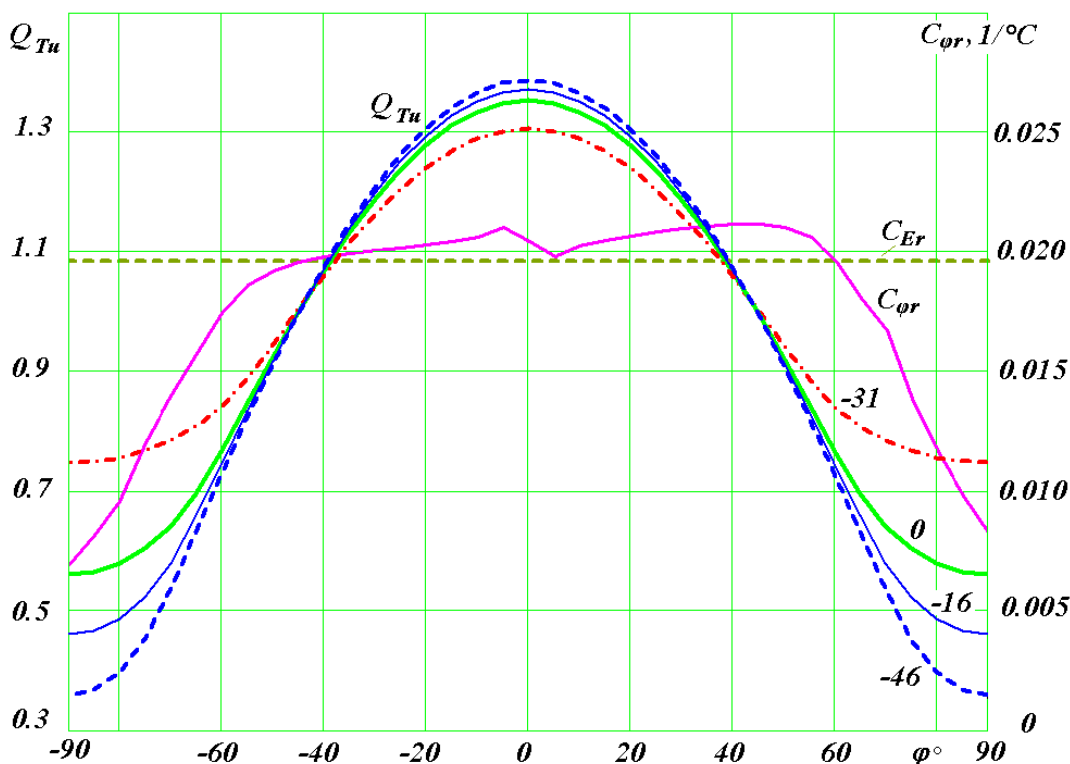


Рисунок 2 – Изменение по широте Земли ϕ безразмерной годовой инсоляции Q_{Tu} и относительной приповерхностной теплоемкости Земли $C_{\phi r}$ в $1/^\circ\text{C}$. Инсоляции Q_{Tu} , показанные числами: 0, -16, -31, -46, относятся к современной эпохе $T = 0$ кур и к трем экстремальным эпохам: $T = -15.88$, -31.28 и -46.44 кур, соответственно. 1 кур – 1 тысяча лет.

Таблица 3

Безразмерные удельные годовые инсоляции Земли Q_{TuE} и полушарий Q_{TuNH} и Q_{TuSH} и среднегодовые температуры на экваторе и на полюсах Земли в четыре эпохи T . Размерные инсоляции к Q_T отнесены к $Q_{T0}^{45} = 9.932 \cdot 10^6$ кДж/м².

T , кур	Инсоляции Земли и полушарий			Температура в $^\circ\text{C}$ на экваторе и полюсах		
	Q_{TuE}	Q_{TuNH}	Q_{TuSH}	0°	90°	-90°
0	1.108676	1.108627	1.108725	26.5	-25.3	-31.1
-15.88	1.108723	1.108670	1.108775	27.4	-37.4	-45.6
-31.28	1.108677	1.108634	1.108720	24.2	-2.65	-4.09
-46.44	1.108601	1.108546	1.108655	28.2	-49.7	-60.2

Приведенная на рис. 2 годовая инсоляция $Q_{Tu}(\varphi)$ представляет в безразмерном виде удельное количество солнечного тепла поступающего в течение года на единицу площади (1 м^2) Земли на широте φ . По инсоляции $Q_{Tu}(\varphi)$ были рассчитаны количества тепла для всей Земли (Q_{TuE}) и полушарий: Северного (Q_{TuNH}) и Южного (Q_{TuSH}). В табл. 3 они представлены для четырех эпох.

Как видно из табл. 3, удельная годовая инсоляция Земли Q_{TuE} практически одинакова для всех эпох. В современную эпоху $T = 0$ куг с точностью до 4-х десятичных знаков она равна $Q_{TuE0} = 1.1087$. То есть, безразмерная удельная годовая инсоляция Земли Q_{TuE0} составляет 1.1087 часть инсоляции на широте 45° , т.е. размерная удельная годовая инсоляция будет:

$$Q_{TE0} = 1.1087 \cdot Q_{T0}^{45}. \quad (3)$$

Удельная годовая инсоляция по полушариям для всех эпох практически не отличается от Q_{TuE0} , за исключением Северного полушария самой холодной эпохи 46.44 т.л.н. Она на 0.0002 меньше. Общее количество солнечного тепла за год в размерном виде по всей поверхности Земли $4\pi R_{Em}^2$ будет:

$$Q_{TEd} = 4\pi R_{Em}^2 \cdot Q_{TuE0} \cdot Q_{T0}^{45} = 5.6105 \cdot 10^{21} \text{ кДж/год}, \quad (4)$$

где $R_{Em} = 6367.5 \text{ км}$ – средний радиус Земли.

4. Теплоемкость поверхности Земли

Из физики известно, что приращение количества тепла ΔQ , подводимое к телу, приводит к повышению его температуры на величину Δt :

$$\Delta t = \Delta Q / (m \cdot C), \quad (5)$$

где m – масса тела;

C – удельная теплоемкость тела, т.е. теплоемкость на единицу его массы.

Зависимость (5) для температуры тела от количества тепла, подводимого к нему, используем в процессах инсоляции Земли. Так как годовое количество тепла $Q_T(\varphi)$ поступает неравномерно по широте Земли φ , то на каждой ее широте введем удельную теплоемкость поверхности Земли C_φ . Величина C_φ – это теплоемкость единицы поверхности Земли, например, 1 м^2 . Поэтому аналогично (5) можно считать, что в современную эпоху на широте $\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi$ за счет изменения количества тепла $Q_{T0}(\varphi_2)$ по сравнению с $Q_{T0}(\varphi_1)$ на широте φ_1 произойдет изменение температуры на величину

$$\Delta t_o = t_o(\varphi_2) - t_o(\varphi_1) = \frac{Q_{T0}(\varphi_2) - Q_{T0}(\varphi_1)}{C_{\varphi_1}}, \quad (6)$$

где индексом “1” в C_{φ_1} обозначен первый вариант теплоемкости.

Средняя по широте φ приповерхностная теплоемкость Земли C_{φ_1} обусловлена совокупностью физических, химических и географических свойств поверхности Земли на широте φ , к тому же осредненная по всем меридианам. Поэтому можно считать, что при неизменности этих свойств теплоемкость C_{φ_1} в другую эпоху будет такой же. Тогда среднегодовую температуру $t(\varphi)$ в эпоху T можно определить с помощью теплоемкости по современной температуре $t_{o,i}(\varphi)$ и изменению тепла $Q_T(\varphi) - Q_{T0}(\varphi)$ так:

$$t(\varphi) = t_{o,i}(\varphi) + \frac{Q_T(\varphi) - Q_{T0}(\varphi)}{C_{\varphi_1}}, \quad (7)$$

где $t_{o,i}(\varphi)$ – распределение температуры по широте φ в современную эпоху;

$Q_T(\varphi)$ – количество солнечного тепла, поступающего на Землю в эпоху T .

Согласно (6), в современную эпоху теплоемкость C_{φ_1} можно рассчитать с помощью разностей тепла $Q_{T0}(\varphi_2) - Q_{T0}(\varphi_1)$ и температуры $t_{o,i}(\varphi)$ на этих широтах так:

$$C_{\varphi_1} = \frac{Q_{T0}(\varphi_2) - Q_{T0}(\varphi_1)}{t_o(\varphi_2) - t_o(\varphi_1)}, \quad (8)$$

где приземная теплоемкость C_{φ_1} определяется на промежуточной широте $\varphi = 0.5(\varphi_1 + \varphi_2)$.

Далее будем рассматривать относительную теплоемкость

$$C_{\varphi r,i} = C_{\varphi_1,i} / Q_{T0}^{45}. \quad (9)$$

Индекс “r” в $C_{\varphi r,i}$ означает, что это – относительная величина. Измеряется она в $1/^\circ\text{C}$.

По формулам (8) – (9) был определен первый вариант теплоемкости $C_{\varphi r1,i}$, а по формуле (7) были рассчитаны профили температуры для трех эпох: $T = -15.88, -31.28$ и -46.44 куг. В высоких широтах $|\varphi| > 60^\circ$ профили температуры имеют недостатки. Поэтому во втором варианте теплоемкость $C_{\varphi r2}$ определялась по годовой инсоляции в эквивалентных широтах φ_e . Для определения φ_e годовой инсоляции отдаленной эпохи сопоставляется такая современная широта, на которую поступает такое же количество тепла. Всем широтам теплой эпохи $T = -31.28$ куг можно сопоставить современные широты, а, следовательно, и современные температуры, т.е. определить $t_{31}(\varphi_i)$ по $t_0(\varphi_{e,i})$. Тогда аналогично (8) - (9) приповерхностная теплоемкость по второму варианту запишется:

$$C_{\varphi r2,i} = \frac{Q_{Tu31}(\varphi_i) - Q_{Tu0}(\varphi_i)}{t_{31}(\varphi_i) - t_0(\varphi_i)}, \quad (10)$$

где $Q_{Tu31}(\varphi_i)$ и $t_{31}(\varphi_i)$ – безразмерная годовая инсоляция и температура в эпоху 31.28 т.л.н.

Таким образом, скорректированная приповерхностная теплоемкость Земли $C_{\varphi r,i}$ определяется выражениями (8) - (9) при $|\varphi| < 60^\circ$ и формулой (10) при $|\varphi| > 60^\circ$. Следует отметить, что при $|\varphi| < 60^\circ$ теплоемкость по второму варианту $C_{\varphi r2}$ мало отличается от $C_{\varphi r1}$.

Средняя по поверхности Земли приповерхностная теплоемкость будет $C_{Er} = 1.9633 \cdot 10^{-2} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. На рис. 2 профиль $C_{\varphi r} = C_{\varphi r,i}$ представлен сплошной линией. Теплоемкость C_{Er} приведена на рис. 1 пунктирной линией.

Приповерхностная теплоемкость в размерном виде $C_{\varphi,i}$ определяется умножением относительной теплоемкости $C_{\varphi r,i}$ на годовую инсоляцию Q_{T0}^{45} на широте $\varphi = 45^\circ$, т.е.

$$C_{\varphi,i} = C_{\varphi r,i} \cdot Q_{T0}^{45}. \quad (11)$$

С учетом (11) средняя по поверхности Земли теплоемкость в размерном виде будет

$$C_E = C_{Er} \cdot Q_{T0}^{45} = 1.95 \cdot 10^5 \text{ кДж/(м}^2 \text{ }^\circ\text{C)}. \quad (12)$$

5. Среднегодовые температуры в прошедшие эпохи

При относительной теплоемкости $C_{\varphi r}$ температура в любую эпоху T на широте φ согласно (7) и (9) запишется так:

$$t(T, \varphi) = t_0(\varphi) + \frac{Q_{Tu}(T, \varphi) - Q_{Tu0}(\varphi)}{C_{\varphi r}}, \quad (13)$$

где $Q_{Tu}(T, \varphi)$ – безразмерная годовая инсоляция в эпоху T на широте φ .

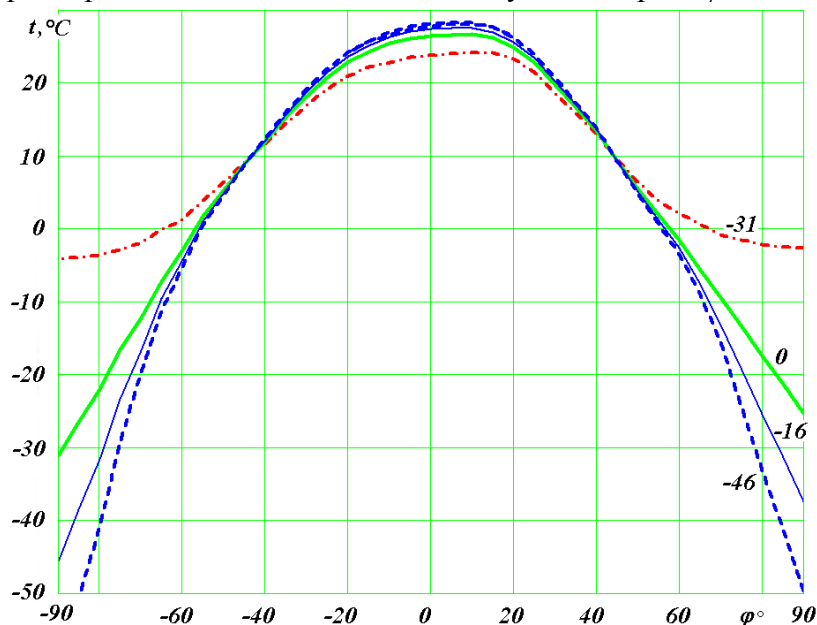


Рисунок 3 – Распределение по широте Земли φ среднегодовой приземной температуры t в $^\circ\text{C}$ для четырех эпох: профили температуры рассчитаны по поверхностной теплоемкости $C_{\varphi r}$ и годовой инсоляции Q_{Tu} (рис. 2).

Рассчитанные по формуле (13) профили температуры представлены на рис. 3 для четырех эпох. В таблице 3 приведены значения температур на экваторе и на полюсах для этих четырех эпох. В экваториальной области годовые температуры отличаются на 4°C. На широте 45° температуры не меняются. После $\varphi = 60^\circ$ различие профилей нарастает и на полюсах они отличаются на 50 - 60°C.

Из рис. 3 видно, что наибольшие отличия температур от современной эпохи наблюдаются в теплую эпоху 31.28 т.л.н. и в холодную эпоху 46.44 т.л.н. Расчеты годовой инсоляции за 20 м.л.н. показали [6], что ее колебания могут лишь немного превышать колебания инсоляции этих эпох. Поэтому профили годовой температуры -31 и -46 на рис. 3 практически являются предельными. Согласно расчетам инсоляции за будущие 200 тыс. лет [3], [6] наиболее теплый период будет через 93.6 тыс. лет, а наиболее холодный – через 103.1 тыс. лет. Однако изменение годовой инсоляции будет существенно меньше, чем в эпохи 31.28 т.л.н. и 46.44 т.л.н., соответственно. Поэтому будущие изменения температур будут также находиться внутри диапазона температур, показанных линиями -31 и -46.

6. Локальная среднегодовая палеотемпература

В современную эпоху на одной и той же широте φ локальная среднегодовая температура $t_{lo}(\varphi)$ может существенно отличаться от рассмотренной выше среднеширотной температуры. Например, на широте $\varphi = 57^\circ$ локальные среднегодовые температуры изменяются от 7°C до -7°C при среднеширотной $t_o = 0.4^\circ\text{C}$. Для современной эпохи введем разность локальной температуры над среднеширотной температурой

$$\Delta t_{lo}(\varphi) = t_{lo}(\varphi) - t_o(\varphi). \quad (14).$$

В предположении, что в другую эпоху геофизические характеристики местности существенно не изменятся, локальную среднегодовую температуру оценим с учетом этой разности

$$t_l(\varphi) = t(\varphi) + \Delta t_{lo}(\varphi). \quad (15)$$

Для местностей, на широтах городов Тюмени и Москвы, по профилю $t_{o,i}$ были определены среднеширотные температуры $t(\varphi)$ для четырех эпох (см. табл. 4). По данным Гидрометцентра России среднегодовые температуры на метеостанциях г. Тюмени и г. Москвы (ВДНХ) за 1961-1990 гг. равны 1.5°C и 5°C, соответственно. В табл. 4 они приведены как локальные температуры $t_{lo}(\varphi)$ в эпоху $T = 0$. По формуле (14) - (15) рассчитаны разности $\Delta t_{lo}(\varphi)$ и локальные температуры $t_l(\varphi)$ в три экстремальные эпохи. Как видно из табл. 4, локальные температуры $t_l(\varphi)$ выше среднеширотных температур $t(\varphi)$ на 1.1°C для г. Тюмени и на 3.7°C для г. Москвы. По-видимому, в данных примерах это отличие в большей степени обусловлено городскими выделениями тепла, а не геофизическими характеристиками местности. Поэтому для оценки локальных палеотемператур необходимо брать современную локальную температуру на тех метеостанциях, где отсутствуют техногенные источники изменения их температуры.

Таблица 4

Среднеширотные $t(\varphi)$ и локальные $t_l(\varphi)$ годовые палеотемпературы на широтах г. Тюмени и г. Москвы для четырех эпох.

T, куг	Температура в °C			
	Тюмень, $\varphi = 57.152199^\circ$		Москва, $\varphi = 55.75222^\circ$	
	$t(\varphi)$	$t_l(\varphi)$	$t(\varphi)$	$t_l(\varphi)$
0	0.42	1.5	1.31	5
-15.88	-0.43	1.08	0.59	4.28
-31.28	2.97	4.05	3.45	7.14
-46.44	-1.07	0.01	0.05	3.74

Заключение

1. На основании анализа результатов разных исследователей по приземной температуре предложен обобщенный профиль среднеширотной годовой температуры в современную эпоху.
2. Введена теплоемкость поверхности Земли, которая определена с помощью двух методов.
3. На основании теплоемкости по современной температуре и инсоляции Земли определены профили среднеширотной палеотемпературы в три экстремальные эпохи за 50 т.л.н.

Благодарности

Настоящая работа выполнялась в рамках госзадания Рег. № НИОКТР АААА-А17-117051850061-9.

Список литературы

1. *Большаков В.А., Каница А.П.* Уроки развития орбитальной теории палеоклимата / Вестник Российской Академии Наук. 2011, т. 81, № 7. С. 603-612.
2. *Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М.-Л.: ГОНТИ, 1939. 207 с.
3. *Смутьский И.И.* Анализ уроков развития астрономической теории палеоклимата / Вестник Российской Академии Наук, 2013. Т. 83. № 1. С. 31-39. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18448265>. doi:10.7868/S0869587313010118.
4. *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. <http://dx.doi.org/10.15372/GiG20160709>.
5. *Смутьский И.И.* Эволюция оси Земли и палеоклимата за 200 тысяч лет. – Saarbrücken, Germany: “LAP Lambert Academic Publishing”, 2016. – 228 с. ISBN 978-3-659-95633-1.
6. *Смутьский И.И.* Новая Астрономическая теория ледниковых периодов. – “LAP Lambert Academic Publishing, Riga, Latvia, 2018. – 132 с. ISBN 978-613-9-86853-7. <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/InfNwATLP.pdf>.
7. *Ferrel W.* Meteorological Researches. – Govt. Print. Off., Washington DC. 1877.
8. *Forbes J.D.* Inquiries about Terrestrial Temperatures / *Translation of the Royal Society of Edinburgh*, 1859, 22, 75-92.
9. *Hann J.* Handbuch der Klimatologie / Englehorn, Stuttgart. 1897.
10. *Hansen J., Ruedy R., Sato M. and Lo K.* Global Surface Temperature Change / *Reviews of Geophysics*, 2010, 48, RG4004. <https://doi.org/10.1029/2010RG000345>.
11. *Kramm G., Dlugi R., Berger M. and Molders N.* Meridional Distributions of Historical Zonal Averages and Their Use to Quantify the Global and Spheroidal Mean Near-Surface Temperature of the Terrestrial Atmosphere / *Natural Science*, 2020, 12, 80-124. doi: 10.4236/ns.2020.123012.
12. *Morice C.P., Kennedy J.J., Rayner N.A. and Jones P.D.* Quantifying Uncertainties in Global and Regional Temperature Change Using an Ensemble of Observational Estimates: The HadCRUT4 Data Set / *Journal of Geophysical Research–Atmospheres*, 2012, 117, D08101. <https://doi.org/10.1029/2011JD017187>.
13. *Rohde R., Muller R., Jacobsen R., Perlmuter S., Rosenfeld A., Wurtele J., Curry J., Wickham C. and Mosher S.* Berkeley Earth Temperature Averaging Process / *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*, 2013, 1, 13. <https://doi.org/10.4172/2327-4581.1000103>.
14. *Von Bezold W.* Über klimatologische Mittelwerthe für ganze Breitenkreise. – In: *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, Berlin, 1901, 1330-1343. <https://books.google.com/books?id=JdcAAAAAYAAJ>.
15. *Von Bezold W.* Über Strahlungsnormale und Mittellinien der Temperatur. – In: *Pernter, J.M., Von Hann, J. and Hellmann, G., Eds., Meteorologische Zeitschrift: Hann-Band zum vierzigjährigen Redaktionsjubiläum J. Hann's von Freunden und Kollegen gewidmet*, F. Vieweg, 1906, 279-287.