

## ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 551.583/551.581.1/551.524.2

# Определение средней широтной температуры путем линейной трансформации астрономической инсоляции

В.А. Тартаковский, Н.Н. Чередыко, В.Г. Максимов\*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический 10/3*

Поступила в редакцию 24.06.2019 г.

Сопоставляются ряды средней многолетней температуры, полученной на 927 метеорологических станциях Северного полушария, за период 1955–2014 гг. и известные данные об астрономической инсоляции для тех же интервала и локализации. Показано, что среднегодовую астрономическую инсоляцию как функцию широты, подвергнутую линейному преобразованию, следует рассматривать как среднюю широтную температуру. Обоснование этого результата осуществляется с помощью регрессии сопоставляемых данных и путем группировки метеостанций. Полученные оценки прироста среднеширотной температуры в период 1985–2014 гг. по сравнению с 1955–1984 гг., так же как вклад в температурную изменчивость составляющих — детерминируемой астрономической инсоляцией и определяемой стохастическими процессами в геосфере, не противоречат известным оценкам, что верифицирует введенную линейную трансформацию астрономической инсоляции.

*Ключевые слова:* астрономическая инсоляция, приземная температура, средняя широтная температура; astronomical insolation, surface temperature, mid-latitude temperature.

### Введение

Актуальным направлением в климатологии остается исследование трансформации в климатической системе солнечной энергии, инициирующей гидрометеорологические процессы. Это важно в связи с необходимостью выявления причин и механизмов изменений климата для поиска возможностей адаптации к ним населения и реализации предупреждающих мер.

На сегодняшний день недостаточно климатических феноменов, для которых найдена теоретическая поддержка и получены некоторые обобщения. В качестве интегрального индикатора изменения глобального климата приняты средняя глобальная и средние полушарные температуры [1, 2]. Эти характеристики используются для изучения реакций окружающей среды на климатические тенденции.

Анализ изменчивости глобальной и полушарных температур проводят на регулярной основе несколько научных групп: Институт космических исследований им. Годдарда в NASA (GISS) [3, 4], Национальный центр климатических данных в NOAA (NCDC) [5, 6], Метеобюро Хэдли-центра и Университет Восточной Англии (HadCRUT, CRUTEM) [7, 8]. Предоставляемые этими мировыми метеорологическими центрами оценки основаны на одних и тех же данных измерений приземной температуры, аккумулируемых в Глобальной исторической климато-

логической сети (GHCN); различаются используемые ими методы обработки и анализа.

Температурное поле непрерывно, но представлено данными отдельных метеостанций. При расчете средней полушарной и средней глобальной температур наибольшие проблемы обусловлены неоднородностью данных наблюдений, причины которой могут быть связаны с заменой измерительного оборудования и методик измерения, с изменением методов расчета средних температур, метеорологических сроков измерений, окружающих станцию условий, с переносом метеостанции. При расчете полушарных и глобальной средних температур необходимо учитывать плотность и конфигурацию сети метеостанций [4, 9]; наибольшая неопределенность возникает в регионах с малой плотностью их размещения. Для повышения достоверности оценок распределения средней температуры по земной поверхности применяется пространственное интерполирование температуры в узлы регулярной сетки [10]. Часто используются метод климатических аномалий [11, 12], объективный анализ [13], метод опорной станции [14]. При интерполяции поля данных центрируют, используя ряды аномалий, что в некоторой степени снимает проблему нестационарности реальных полей метеоэлементов [15].

Метод климатических аномалий основан на простом невзвешенном усреднении значений аномалий отдельных станций в каждой ячейке сетки размером  $5^\circ$  широты  $\times$   $5^\circ$  долготы. Аномалии вычисляют как отклонения исходных данных от нормы, которая реализуется в период 1961–1990 гг. [11, 16]. Этот метод применяется для получения базы данных

\* Валерий Абрамович Тартаковский (trtk@list.ru); Наталья Николаевна Чередыко (atnik3@rambler.ru); Виталий Григорьевич Максимов (vitaly00@inbox.ru).

CRUTEM. Предполагается, что области без наблюдений имеют температурную аномалию, равную средней аномалии полушария. В NCDC данные аномалий приземной температуры усредняются на такой же сетке, но за базовый принимается период 1901–2000 гг. [6].

В модели GISS средние полушарные значения температуры для суши получаются путем усреднения данных всех аномалий наземных станций в 80 приблизительно равных по площади ячейках [12]; то же самое для поверхности океана. За базовый принимают период 1951–1980 гг. Ячейки сетки, где данные отсутствуют, заполняются с помощью линейной пространственной интерполяции аномалий от одной или нескольких станций, которые расположены в пределах 1200 км, потому что температурные аномалии обычно крупномасштабны, особенно в средних и высоких широтах [4].

Интерполяция по методу объективного анализа [13] основана на линейных интерполяционных формулах Колмогорова–Винера. Данные интерполируются в заданные в декартовых координатах точки регулярной сетки по условию минимума среднеквадратичного отклонения при варьировании набора весовых коэффициентов, характеризующих статистическую структуру поля.

Результаты системных инструментальных наблюдений элементов климата доступны за короткий период. Но из опыта известно, что фундаментальной основой формирования климата является географическое распределение потоков приходящего солнечного излучения. Эта феноменология может быть взята за основу при расчетах глобальных и полушарных характеристик температурного поля, а также средних широтных температур [17], используя которые можно в дальнейшем рассчитывать полушарные и глобальные средние температуры.

Впервые среднеширотные температуры воздуха, средние температуры для полушарий и всего земного шара вычислил Л. Дове [18]. Для этого он использовал около 1100 станций, хотя некоторые части Земли оставались неучтенными. Классический способ вычисления средней широтной температуры через осреднение определенных по карте изотерм в точках, размещенных на соответствующей широте [19], дает очень приблизительные оценки, особенно в горной местности и над поверхностью океана. В [20] предложено вычислять средние широтные значения по данным температуры в узлах регулярной сетки на поверхности 1000 гПа для исключения влияния подстилающей поверхности.

Перспективный подход описан в [21–24], где сопоставлялись приходящая на Землю солнечная радиация и приземная температура. Инсоляция для интервала от 3000 г. до н.э. до 3000 г. н.э. рассчитывалась с помощью астрономических эфемерид [24], которые в основном детерминированы строением солнечной системы. Авторы [23] провели кусочно-полиномиальную аппроксимацию астрономической инсоляции на различных широтных интервалах, затем выполнили регрессию с данными приземной температуры. Они отмечают, что такая модифика-

ция инсоляции позволила отразить влияние подстилающей поверхности, парникового эффекта и механизмов теплообмена. В целом для Земли значения измеренной приземной температуры и модифицированной инсоляции совпали [23], их коэффициент корреляции как функций широты от 90° с.ш. до 90° ю.ш. был равен 0,942. В результате выполненных преобразований составляющие температуры, детерминированные астрономической инсоляцией и вызванные стохастикой геосферы, оказываются перемешанными. При этом кусочно-полиномиальная аппроксимация инсоляции отрезками полиномов различной степени вносит определенный произвол и лишает результат необходимой общности, а с точки зрения вычислений затрудняет построение расчетных алгоритмов.

Методы, используемые для расчетов средних глобальной, полушарных и широтных температур, не обеспечивают единственность решения, имеют ряд допущений, результаты получаются сходными, но неидентичными. Неравномерное распределение станций препятствует получению корректных однозначных оценок при усреднении данных. Неопределенность, связанная с полнотой и методикой учета данных температуры над морями и океанами, еще ждет своего разрешения. Кроме того, неясно как влияет на результат расположение интервала на временной оси и его длина.

В настоящей работе сопоставляются астрономическая инсоляция (входное воздействие) и приземная температура (результат на выходе) с целью нахождения их функциональной зависимости, которая поддерживала бы эмпирическое представление о рассматриваемых климатических процессах. Целесообразно получить аналитическое выражение обсуждаемой связи между инсоляцией и температурой, которая считается прямой и логичной [25], и предложить новый подход для вычисления средней широтной температуры как основы вычисления средних полушарных и глобальной температур. В настоящей работе покажем справедливость нашего утверждения (\*): подвергнутую линейному преобразованию среднегодовую астрономическую инсоляцию как функцию широты следует рассматривать как среднее значение средних многолетних температур на метеостанциях соответствующих широт для рассматриваемого временного периода.

Это утверждение обосновывается сопоставлением теоретического распределения астрономической инсоляции с данными измерений приземной температуры, применяются регрессия и группировка метеостанций.

## Описание данных

Средние значения астрономической инсоляции для тропического года представлены в базе данных на сайте [26]. Расчет проводился по методу, описанному в [27], использовались уточненные значения расстояния от Земли до Солнца, склонения и эклиптической долготы Солнца, взятые из модели

NASA DE-406 [24]. Вычисленные значения инсоляции нормировались на величину  $1412 \text{ Вт/м}^2$ , которая соответствует солнечной постоянной в точке перигелия и предположительно не меняется.

Для решения поставленной задачи среднегодовые значения инсоляции из исходной базы данных усреднялись по времени в пределах 60-летнего периода 1955–2014 гг. для широт от  $0$  до  $90^\circ$  с.ш. с шагом  $5^\circ$ . Затем эти значения интерполировались вдоль широты кубическим сплайном, чтобы была возможность вычислять значения среднегодовой инсоляции для местоположения каждой метеостанции. Для оценки приращений температуры использовались два последовательных 30-летних периода.

Значения инсоляции обозначим как  $s_n$ , где  $n = 1, 2, \dots, N$  – условный номер метеостанции,  $N = 927$  – количество метеостанций. Полученная астрономическая инсоляция является теоретической расчетной величиной и по определению зависит от широты; она может быть рассчитана для любой локализации точки наблюдения.

Ряды среднемесячной приземной температуры, измеренной за 1955–2014 гг. на 927 метеорологических станциях Северного полушария, предоставляются университетом Восточной Англии [7]. Отбирались станции, суммарный период отсутствия данных на которых не превышал 3% от числа рассмотренных среднемесячных значений. Чтобы соответствовать интервалам усреднения для инсоляции по тропическому году, средняя многолетняя температура  $t_n$  на каждой метеостанции получалась путем усреднения среднемесячных значений с марта 1955 до февраля 2015 г.

## Преобразование инсоляции в температуру

Выберем линейное преобразование для представления связи оценок астрономической инсоляции  $s_n$  и приземной температуры  $\hat{t}_n$  в форме:

$$\hat{t}_n = A s_n - B, \quad (1)$$

где неизвестные константы  $A$  и  $B$  подлежат определению.

Среднегодовая инсоляция  $s_n$  в (1) по своей природе является функцией широты. Так как  $A$  и  $B$  – константы, величина  $\hat{t}_n$  также зависит только от широты. Поскольку наблюдаемая температура дается в градусах Цельсия, размерность величин  $\hat{t}_n$ ,  $A$  и  $B$  такая же, имея в виду, что  $s_n$  – нормированная безразмерная величина.

Физический смысл  $\hat{t}_n$ , в соответствии с утверждением (\*), должен быть определен как среднее арифметическое значение для средних многолетних температур  $t_n$ . С этой целью применим метод наименьших квадратов. Теоретическая среднегодовая астрономическая инсоляция  $s_n$  будет использована как регрессионная кривая для данных наблюдений температуры на метеостанциях соответствующей широтной локализации.

Для выяснения влияния неравномерного распределения метеостанций по земной поверхности на оценку  $\hat{t}_n$  использовались натуральные и взвешенные данные; реализовано несколько вариантов минимизации среднеквадратичного отклонения:

$$\delta = \left( \frac{1}{N} \sum_n (t_n - \hat{t}_n)^2 \right)^{1/2}, \quad \delta_g = \left( \frac{1}{G} \sum_n (t_n - \hat{t}_n)^2 / g_n \right)^{1/2}. \quad (2)$$

Здесь  $G$  – число ячеек прямоугольной сетки;  $g_n$  – весовая функция, определенная как число метеостанций с какими-либо номерами  $n$  в пределах какой-либо ячейки этой сетки. Внутри ячейки величина  $g_n$  постоянна.

Рассмотрим некоторые свойства подобного взвешивания. Если, например, в каждой ячейке расположено одинаковое число метеостанций, даже с разными  $t_n$ , то весовая функция  $g_n$  для всех  $n$  внутри ячейки будет равна константе и  $G \times g_n = N$ , т.е. два выражения из (2) станут одинаковыми. Если размер ячейки уменьшается, тогда в пределе оба выражения из (2) также совпадут. Ячейка не учитывается в расчетах, если в нее не попадает ни одна метеостанция. Предлагаемая процедура взвешивания внутри ячейки сохраняет соотношения между температурами на различных метеостанциях и выравнивает вклад каждой ячейки в соответствии с числом станций внутри нее.

Использовались различные размеры ячейки сетки  $G$  для минимизации величины  $\delta_g$  (2). Размер ячейки  $5^\circ \times 5^\circ$  обычно применяется для оценки глобальных величин, а размер  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  более эффективен для региональных расчетов. Найденные для таких сеток значения  $A$  и  $B$  из (1), а также  $\delta$  занесены в табл. 1 и 2; взвешенные моменты  $\delta_g$  были значительно меньше  $\delta$ , но как промежуточные не приводятся.

Таблица 1

Трансформация инсоляции с использованием весов (сетка  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ )

Интервал, гг.	$A$	$B$	$\min(\delta)$ , °C	$\mu$ , °C	$R^2$ , %
1955–2014	227,654	39,673	4,18	$0,096 \pm 0,269$	84,6
1955–1984	229,538	40,475	4,21	$0,098 \pm 0,272$	84,6
1985–2014	225,769	38,872	4,15	$0,094 \pm 0,267$	84,6

Примечание. В табл. 1–3 коэффициенты  $A$  и  $B$  вычислены для астрономической инсоляции, нормированной на значение солнечной постоянной в точке перигелия; для средних разностей  $\mu$  приведены двухсторонние интервалы при доверительной вероятности 0,95.

Таблица 2

Трансформация инсоляции с использованием весов (сетка  $5^\circ \times 5^\circ$ )

Интервал, гг.	$A$	$B$	$\min(\delta)$ , °C	$\mu$ , °C	$R^2$ , %
1955–2014	228,243	39,993	4,19	$0,287 \pm 0,270$	84,6
1955–1984	230,136	40,796	4,22	$0,288 \pm 0,272$	84,7
1985–2014	226,351	39,190	4,16	$0,285 \pm 0,268$	84,5

Определялись средние разности между средними многолетними температурами на метеостанциях и трансформированной инсоляцией:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_n (t_n - \hat{t}_n). \quad (3)$$

Для этих средних (3) подсчитывался доверительный интервал при доверительной вероятности 0,95 (табл. 1–3). Относительный вклад  $\hat{t}_n$  в общую изменчивость температуры оценивался коэффициентом детерминации  $R^2$ .

Таблица 3

Трансформация инсоляции без применения весов

Интервал, гг.	A	B	min( $\delta$ ), °C	$\mu$ , °C	$R^2$ , %
1955–2014	225,030	39,005	4,18	0,000 ± 0,270	84,6
1955–1984	226,990	39,821	4,21	0,000 ± 0,272	84,7
1985–2014	223,069	38,189	4,15	0,000 ± 0,268	84,6

Расчеты проведены также для двух половинных временных интервалов. Подобно  $\hat{t}_n$ , рассчитывалась величина  $\hat{t}_{on}$  для интервала 1955–1984 гг. и  $\hat{t}_{en}$  — для 1985–2014 гг. Как и в случае полного интервала, минимизировались моменты из (2). Различные оценки разности этих величин:  $\hat{t}_{en} - \hat{t}_{on}$  на каждой станции с номером  $n$  занесены в табл. 4.

Таблица 4

Прирост средней широтной температуры (°C) на метеостанциях в 1985–2014 гг. по сравнению с 1955–1984 гг. Первая строка рассчитана без применения весов

Размер ячейки, град	$\langle \hat{t}_{en} - \hat{t}_{on} \rangle$	min( $\hat{t}_{en} - \hat{t}_{on}$ )	max( $\hat{t}_{en} - \hat{t}_{on}$ )
—	0,775	0,479	1,135
2,5 × 2,5	0,779	0,495	1,125
5 × 5	0,779	0,493	1,126

## Результаты и обсуждения

Результаты минимизации моментов второго порядка (2)  $\delta$  и  $\delta_g$  отличаются незначительно (табл. 1–3). То же самое реализуется для коэффициентов детерминации  $R^2$ , рассчитанных для ситуаций, отображенных на рис. 1 и 2. Коэффициенты  $R^2$  показывают, что в 1955–2014 гг., так же как и в половинные временные периоды, астрономическая инсоляция определяла приблизительно 85% температурной изменчивости, а стохастические гео-сферные процессы — около 15%.

С использованием известных значений средней температуры приповерхностного слоя Земли (288 К) и его эффективной температуры (249 К) [28] в [23] рассчитано соотношение факторов инсоляционного и парникового эффектов в формировании термического режима Земли (86,46 и 13,54% соответственно). Эти значения не противоречат рассчитанным здесь коэффициентам детерминации.

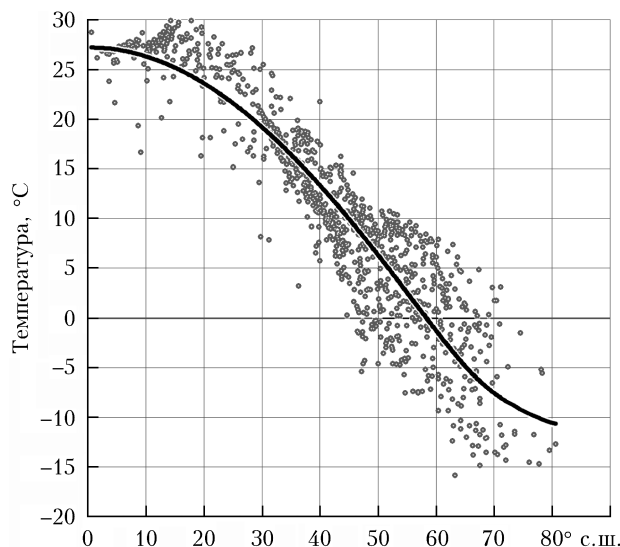


Рис. 1. Оценка средней широтной температуры. Точки — распределение по широте средней многолетней температуры  $t_n$  на 927 метеостанциях в Северном полушарии за период с 1955 по 2014 г.; черная линия — оценка средней широтной температуры  $\hat{t}_n$ , полученная путем преобразования астрономической инсоляции  $s_n$ ; весовая функция не использовалась

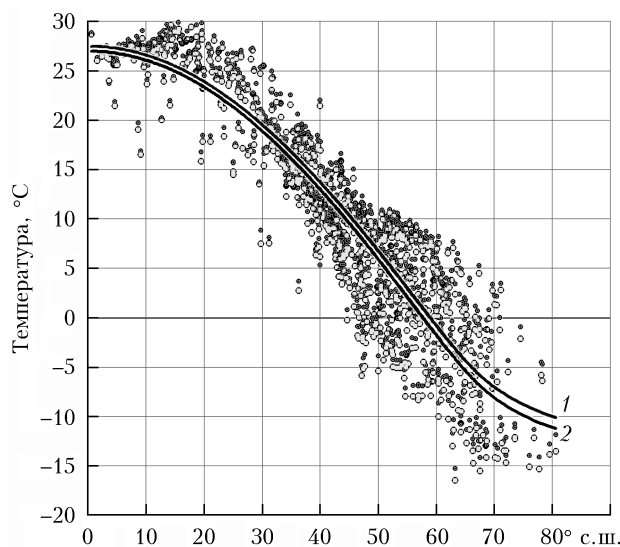


Рис. 2. Прирост средней широтной температуры. Периоду с 1985 по 2014 г. соответствует кривая 1 и темные точки для средних многолетних температур, периоду с 1955 по 1984 г. — кривая 2 и светлые точки; весовая функция не использовалась

Из анализа рис. 1 следует, что неравномерное расположение точек не позволяет провести непосредственное усреднение  $t_n$ . При этом на графике, исходя из возможной симметрии облака точек относительно величины  $\hat{t}_n$ , видно, каких значений температура недостает для улучшения ее оценки, что может способствовать оптимизации сети метеостанций. С другой стороны, величина  $\hat{t}_n$ , полученная из теоретических представлений для астрономической инсоляции  $s_n$  путем регрессии измеренных температур  $t_n$ , определена в пределах полушария как непрерывная

монотонная функция широты и является средним значением для  $t_n$  вследствие того, что значение средних разностей  $\mu$  (3) оказалось нулевым для данных без применения весов (табл. 3) и близким к нулю в остальных случаях (табл. 1, 2) с приемлемыми доверительными интервалами. Наблюдается сходимость значений средних разностей  $\mu$  к нулю при уменьшении размеров ячеек сетки.

Результаты регрессии и взвешенной регрессии для  $\mu$  и  $\delta$  отличаются незначительно. Этот факт не удивителен, так как, в соответствии с моментом  $\delta$  и коэффициентом детерминации  $R^2$  (табл. 1–3), инсоляция имеет преобладающее влияние на температуру по сравнению со стохастическими процессами в приземном слое. Выбор  $\hat{t}_n$ , характеризующей все полушарие, уже ограничивает возможности существенного изменения момента  $\delta$  при любом способе его минимизации.

Изменение коэффициентов линейной трансформации  $A$  и  $B$  для различных временных периодов приводит к заметному относительному изменению функций  $\hat{t}_{on}$  и  $\hat{t}_{en}$  (см. рис. 2). Оценки разностей этих величин отличаются для различных методов минимизации  $\delta$  не более чем на сотые доли градуса Цельсия. Это позволяет использовать  $\hat{t}_{on}$  и  $\hat{t}_{en}$  для оценки прироста температуры. Результаты оценки потепления (см. табл. 4) соответствуют известным данным об изменении глобальной температуры [29]. Там же и в ряде других работ отмечается, что наибольшие темпы потепления характерны для высоких широт. На рис. 2 видно, что максимальные расхождения кривых средних широтных температур, построенных для разных периодов, наблюдаются на широтах выше  $65^\circ$  с.ш.

Таким образом, в период 1955–2014 гг. известная модель астрономической инсоляции  $s_n$  [21–23], средняя широтная температура  $\hat{t}_n$  (1) и данные наблюдений температуры  $t_n$  [7] соответствуют друг другу в смысле утверждения (\*). Иными словами, результат найденной трансформации инсоляции (1) следует рассматривать в качестве средней широтной температуры. В области приемлемости доверительных интервалов для средних разностей (3) есть основания считать справедливой эту оценку и при расширении сети наблюдений.

## Заключение

В рамках принятой модели астрономической инсоляции, на основе данных наблюдений температуры на 927 метеостанциях Северного полушария в период с 1955 по 2014 г. и полученных оценок можно утверждать, что среднюю широтную температуру следует оценивать, применяя линейную трансформацию астрономической инсоляции, при этом средние разности трансформированной астрономической инсоляции и средних многолетних температур по всем широтам близки к нулю с малым 95% доверительным интервалом. Определенная таким способом средняя широтная температура соответствует опыту, является квазистабильной и может рассматриваться как элемент климата.

Рассчитан вклад в температурную изменчивость двух составляющих – детерминируемой астрономической инсоляцией и определяемой стохастическими процессами в геосфере. Получена оценка прироста средней широтной температуры в 1985–2014 гг. по сравнению с 1955–1984 гг. Результаты расчетов не противоречат известным оценкам, что верифицирует предложенную линейную трансформацию. Найденная аналитическая взаимосвязь, имманентная климатической системе, должна стать предметом дальнейших исследований.

Линейная трансформация астрономической инсоляции в температуру содержит константы, определяемые путем минимизации отклонений реальных значений средней многолетней температуры от образованного теоретического распределения астрономической инсоляции по широтам. Предложенные оценки средней широтной температуры позволяют определять и уточнять ее в любой зоне, на любой широте по мере получения дополнительных данных наблюдений.

Работа выполнена в рамках государственной темы НИОКТР № АААА-А17-117013050030-1.

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 62 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 194 с.
3. GISS Surface Temperature Analysis [Electronic resource]. URL: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (last access: 1.12.2018).
4. Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. Global surface temperature change // Rev. Geophys. 2010. V. 48. DOI: 10.1029/2010RG000345.
5. Global Average Anomalies [Electronic resource]. URL: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/anomalies/index.htm> (last access: 1.12.2018).
6. Smith T.M., Reynolds R., Peterson T.C., Lawrimore J. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880–2006) // J. Climatol. 2008. V. 21. P. 2283–2296. DOI: 10.1175/2007JCLI2100.1.
7. Архив Университета Восточной Англии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metoffice.gov.uk>, <http://www.cru.uea.ac.uk> (дата обращения: 1.06.2017).
8. Jones P.D., Lister D.H., Osborn T.J., Harpham C., Salmon M., Morice C.P. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010 // J. Geophys. Res. 2012. V. 117, iss. D5. DOI: 10.1029/2011JD017139.
9. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Смирнов В.Д. О пространственном осреднении в задачах мониторинга климата // Проблемы экологич. мониторинга и моделир. экосистем. 2013. Т. XXV. С. 42–71.
10. Vose R.S., Wuertz D., Peterson T.C., Jones P.D. An intercomparison of trends in surface air temperature analyses at the global, hemispheric and grid-box scale // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. DOI: 10.1029/2005GL023502.
11. Jones P., New M., Parker D.E., Martin S., Rigor I.G. Surface air temperature and its changes over the past 150 years // Rev. Geophys. 1999. V. 37. DOI: 10.1029/1999RG900002.
12. Jones P.D., Wigley T.M.L. Estimation of global temperature trends: What's important and what isn't //

- Clim. Change. 2010. V. 100. P. 59–69. DOI: 10.1007/s10584-010-9836-3.
13. Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 242 с.
  14. Hansen J.E., Lebedeff S. Global trends of measured surface air temperature // J. Geophys. Res. 1987. V. 92. P. 13345–13372.
  15. Дмитриев В.Г. Об одной особенности оптимальной (и других видов линейной) интерполяции гидрометеорологических процессов и полей // Навигация и гидрография. 1995. Вып. 1. С. 99–101.
  16. Jones P.D., Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001 // J. Climate. 2003. V. 16. P. 206–223.
  17. Будыко М.И. О происхождении ледниковых эпох // Метеорол. и гидрол. 1968. № 11. С. 17–19.
  18. Dove H.W. Die Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche der Erde: Erläutert durch Isothermen, Thermische Isomalien und Temperaturcurven. Berlin: Dietrich Reimer Verlag, 1852. 65 s.
  19. Хромов С.П., Петросянци М.А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 1994. 520 с.
  20. Закусилов В.П., Задорожная Т.Н., Белкин Р.А. Особенности долгого распределения климатических показателей температуры воздуха на различных широтных зонах Северного полушария // Взаимосвязь науки и общества: проблемы и перспективы. 2018. С. 26–30.
  21. Fedorov V.M., Grebennikov P.B. Calculation of long-term averages of surface air temperature based on insolation data // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2017. V. 53, N 8. P. 757–768.
  22. Федоров В.М. Корреляционный анализ инсоляции Земли и аномалии приповерхностной температуры // Уч. записки РГГМУ. 2016. № 45. С. 151–166.
  23. Федоров В.П., Гребенников П.Б. Расчет климатической нормы приповерхностной температуры воздуха на основе инсоляции // Геофизич. процессы и биосфера. 2017. Т. 16, № 1. С. 5–24. DOI: 10.21455/GPB2017.1-1.
  24. The JPL HORIZONS on-line solar system data and ephemeris computation service provides access to key solar system data and flexible production of highly accurate ephemerides for solar system objects [Electronic resource]. URL: <http://ssd.jpl.nasa.gov> (last access: 1.12.2018).
  25. Монин А.С. Вращение Земли и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 112 с.
  26. Солнечная радиация и климат Земли [Электронный ресурс]. URL: <http://www.solar-climate.com/sc/bd01.htm> (дата обращения: 1.12.2018).
  27. Федоров В.М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. М.: Физматлит, 2018. 232 с.
  28. Семенов С.М. Парниковый эффект: открытие, развитие концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений // Фунд. и прикл. климатология. 2015. Т. 2. С. 103–126.
  29. Изменения климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Т.Ф. Стокер, Д. Цинь, Платтнер, М.Б. Тигнор, С.К. Аллен, Д. Бошунг, А. Науэлс, Ю. Ся, В. Бекс, П.М. Мидглей (ред.). Кембридж, Нью-Йорк, США: Cambridge University Press, 2013. 222 с.

*V.A. Tartakovsky, N.N. Cheredko, V.G. Maksimov.* **Calculation of mid-latitude temperature by linear transformation of astronomical insolation.**

The series of long-term average temperatures obtained at 927 weather stations of the Northern hemisphere from 1955–2014 are compared with the known data on astronomical insolation for the same intervals and localizations. It is shown that the average annual astronomical insolation as a function of latitude subjected to linear transformation should be considered as the average value of long-term average temperatures at weather stations of the corresponding latitudes for the period under consideration, i.e., like mid-latitude temperature. The justification of this result is carried out by regression of the compared data and by grouping the weather stations. The estimates of the increase in the mid-latitude temperature in the period 1985–2014 are compared with those in 1955–1984. The contributions to the temperature variability of the components, determined by astronomical insolation and by stochastic processes in the geosphere, do not contradict well-known estimates, which verifies the introduced linear transformation of astronomical insolation.