

**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ**

---

УДК 551.52

**КОНТРАСТНОСТЬ ГОДОВЫХ ИНСОЛЯЦИОННЫХ ТЕМПЕРАТУР И  
ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА\***

**Федоров В.М.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Российская Федерация  
e-mail: [fedorov.msu@mail.ru](mailto:fedorov.msu@mail.ru)*

На основе связи широтного распределения годовой инсоляции и приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) рассчитаны годовые инсоляционные температуры на период с 1900 по 2016 гг. Показано, что многолетние изменения ПТВ определяются многолетними изменениями контрастности инсоляционных температур и инсоляционной контрастностью. Многолетние изменения инсоляционной контрастности обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражают многолетние изменения меридионального градиента инсоляции. Меридиональным градиентом инсоляции регулируется меридиональный перенос тепла в системе океан – атмосфера. Показано, что инсоляционная контрастность линейно связана с наклоном оси вращения Земли. Из этого следует, что многолетнее увеличение аномалии ПТВ и наблюдаемое глобальное потепление климата, в основном, определяются естественными причинами, и связаны с уменьшением наклона оси вращения Земли.

Представлена общая схема механизма изменения температурного режима Земли и полушарий. Определено, что при увеличении контрастности инсоляционных температур температурная контрастность в северном полушарии уменьшается, а в южном полушарии увеличивается.

**Ключевые слова:** инсоляция, инсоляционные температуры, приповерхностная температура воздуха, контрастность температур, тенденции.

**Введение**

Проблема изменения климата и, прежде всего его температурного режима, в настоящее время становится одной из важнейших проблем человеческой цивилизации. Эта проблема затрагивает многие сферы жизни человека и общества: здоровья, психологические, социально – экономические и политические аспекты. Этим определяется особая научная актуальность проблемы, связанной с изменением климата, причинами изменений и последствий этих изменений. Вопрос о причинах наблюдаемого глобального потепления является ключевым в исследованиях климатических изменений и прогнозировании изменении климата (Монин, 1982; Кондратьев, 1987, 1992; Монин, Шишков, 2000).

Известно, что основным источником энергии климатической системы Земли является лучистая энергия Солнца. Солнечной радиацией определяется радиационный и тепловой баланс Земли (Будыко, 1968; Монин, Шишков, 1979; Кондратьев, 1980). На поверхности Земли лучистая энергия частично отражается и поглощается, трансформируясь в тепловую энергию, а также в потенциальную и кинетическую энергию водных и воздушных масс. Дальнейшее перераспределение тепла в

---

\* Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой «Геоэкологический анализ и прогноз динамики криолитозоны Российской Арктики» (№ АААА-А16-116032810055-0).

климатической системе Земли (в атмосфере и океане) связано с механизмами теплообмена: меридиональным переносом тепла, теплообменом в системе океан – материк, связанного с реверсивной сезонной сменой областей холода и тепла, теплообменом в системе океан – атмосфера и др. (Шулейкин, 1953).

С XX века отмечается тенденция повышения глобальной приповерхностной температуры воздуха (ПТВ). Широко распространено мнение о том, что основной причиной потепления глобального климата является «парниковый» эффект, связанный, главным образом, с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенным фактором (Climate Change, 2013). В то же время, не подвергается сомнению то, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в генезисе климата. Кроме того, известно, что основным парниковым газом является водяной пар. При отмечаемом глобальном потеплении увеличивается испарение и содержание водяного пара в атмосфере. Содержание водяного пара в атмосфере на 3–4 порядка превышает содержание CO<sub>2</sub> связанного с деятельностью человека. Приблизительно  $\frac{3}{4}$  длинноволновой радиации удерживается в атмосфере водяным паром и только около 0,4% двуокисью углерода антропогенного происхождения. Таким образом, солнечная радиация и парниковый эффект планеты (связанный в основном с содержанием водяного пара в атмосфере) являются главными климатообразующими факторами. В динамике этих факторов следует и искать причины изменений современного глобального климата Земли (Федоров, 2018).

Целью работы является определение связи многолетних изменений приповерхностной температуры воздуха Земли и полушарий с многолетними изменениями контрастности инсоляционной температуры (ТКИ) и инсоляционной контрастности (ИК) в глобальном масштабе.

### **Методика исследований**

Проведен расчет годовой приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) на основе данных инсоляции. Основная задача, связанная с расчетами годовой инсоляционной приповерхностной температуры воздуха, – определение влияния инсоляции и ее изменений, определяемых небесно-механическими процессами (орбитальным движением Земли и изменением, влияющих на инсоляцию Земли, характеристик этого движения), на формирование и изменение годовых ПТВ Земли и полушарий. Таким образом, из общей совокупности влияющих на термическое состояние климатической системы Земли факторов выделяется и исследуется инсоляционный фактор, определяется его роль в формировании и изменении глобальных годовых ПТВ, отражающих состояние и динамику термического режима климатической системы Земли.

В качестве исходных климатических данных при расчетах принимались средние для широтных зон значения ПТВ за базовый период 1961–1990 гг., приведенные в массиве абсолютных температур университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли (Jones, et al., 1999; Jones, et al., 2001; Brohan, et al., 2006; Jones, et al., 2012; Temperature data...) (табл. 1). Климатическая норма ПТВ за период 1961–1990 гг. отражает свойственные ей характеристики парникового эффекта, солнечной активности и механизмов теплообмена, участвующих в формировании среднемесячной и среднегодовой температуры и ее распределении механизмами теплообмена по широтам и сезонам. Однако при расчетах годовых инсоляционных ПТВ в прошлое и будущее учитывались только изменения инсоляции (приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации). Изменение парникового эффекта, солнечной активности и механизмов теплообмена (меридиональный перенос тепла, теплообмен между океаном и атмосферой и др.) за пределами климатической нормы 1961–1990 гг. не учитывалось.

Таблица 1.

Распределение годовых норм ПТВ (Temperature data...) и инсоляции (Солнечная радиация и ...) по широтным зонам (среднее за период с 1961 по 1990 гг.)

Географическая широта, град.	Северное полушарие		Южное полушарие	
	ПТВ, °С	Инсоляция, Дж/м <sup>2</sup>	ПТВ, °С	Инсоляция, Дж/м <sup>2</sup>
0–5	26,15	1,316E+10	25,97	1,315E+10
5–10	26,35	1,307E+10	25,77	1,307E+10
10–15	26,42	1,289E+10	24,91	1,289E+10
15–20	25,66	1,262E+10	23,77	1,262E+10
20–25	24,03	1,226E+10	22,25	1,226E+10
25–30	21,27	1,182E+10	20,25	1,182E+10
30–35	17,09	1,131E+10	17,79	1,131E+10
35–40	13,62	1,072E+10	15,02	1,072E+10
40–45	10,07	1,008E+10	11,55	1,008E+10
45–50	6,16	9,376E+09	7,85	9,376E+09
50–55	3,12	8,637E+09	4,31	8,637E+09
55–60	0,48	7,879E+09	0,92	7,878E+09
60–65	-4,60	7,135E+09	-3,35	7,135E+09
65–70	-8,83	6,494E+09	-10,76	6,494E+09
70–75	-12,09	6,058E+09	-24,68	6,058E+09
75–80	-15,14	5,763E+09	-34,66	5,763E+09
80–85	-16,73	5,576E+09	-38,96	5,576E+09
85–90	-17,07	5,485E+09	-46,18	5,485E+09

Расчитанные для 5-ти градусных широтных зон земного эллипсоида (без учета атмосферы) значения инсоляции (Солнечная радиация и...) (средние за период с 1961 по 1990 гг.) сопоставлялись с климатической нормой ПТВ за период 1961–1990 гг. (рис. 1, табл. 1).

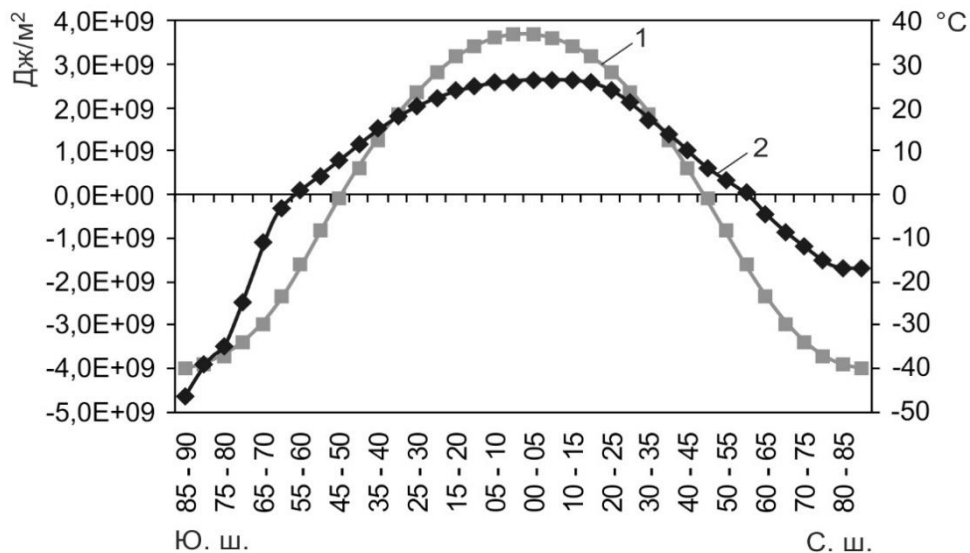


Рис. 1. Распределение инсоляции относительно среднего для 5-ти градусной широтной зоны значения (1) и абсолютных значений ПТВ (2) по широтным зонам (среднее за период с 1961 по 1990 гг.) (Солнечная радиация и...)

Распределение ПТВ по широтным зонам характеризуется тесной корреляционной связью с распределением приходящей на земной эллипсоид солнечной радиации (рис. 1). Коэффициент корреляции (R) климатической нормы ПТВ (1961–1990 гг.) и приходящей солнечной радиации по всему широтному диапазону (90°с.ш. – 90°ю.ш.) характеризуется значением 0,942, для северного полушария – 0,997, для южного полушария – 0,942.

Уравнения регрессии определялись на основе раздельной аппроксимации трех широтных диапазонов Земли (так достигалась оптимальная аппроксимация). Для аппроксимации годовых значений ПТВ в диапазоне широтных зон от 85°–90° с.ш. до 10°–15° с.ш. использовался полином 6-й степени. В диапазоне от 5°–10° с.ш. до 55°–60° ю.ш. и в диапазоне от 60°–65° ю.ш. до 85°–90° ю.ш. – полиномы 3-й степени.

Значения коэффициента детерминации (R2) оказались всех трех широтных диапазонов равным 0,99. Это согласуется с результатами сопоставления рассчитанных по данным наблюдений и осредненных по полушарию и за год изменений планетарного радиационного баланса, связанных с облачностью. Оказалось, что имеет место практически полная компенсация. То есть, при глобальном масштабе усреднения влияние облаков на радиационный режим мало (Мохов, 1982). Широтные диапазоны аппроксимации отражают неоднородную структуру подстилающей поверхности Земли в полушариях (различные соотношения континентов и океанов в полушариях, ледовый континент Антарктида), проявляющуюся в характере связи приповерхностной температуры воздуха с инсоляцией (Fedorov, Grebennikov, 2017).

По полученным полиномиальным уравнениям регрессии для 5-ти градусных широтных зон по данным инсоляции (Солнечная радиация и ...) были рассчитаны (учитывающие только изменение инсоляции) годовые значения ПТВ для периода с 1900 по 2016 гг.

Исходными астрономическими данными для расчетов инсоляции были склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (координатного времени – СТ) и всемирного корректируемого времени (UT) (Giorgini, et al., 1996; NASA, Jet Propulsion ...). Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80 – Geodetic Reference System, 1980) с длинами полуосей равными 6378137 м (большие) и 6356752 м (малая). В общем виде алгоритм расчетов можно представить выражением:

$$I_{nm}(\varphi_1, \varphi_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left( \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \left( \int_{-\pi}^{\pi} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha \right) d\varphi \right) dt, \quad (1)$$

где  $I$  – проходящая солнечная радиация за элементарный  $n$ -й фрагмент  $m$ -го тропического года (Дж);  $\sigma$  – площадной множитель ( $\text{м}^2$ ), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал  $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$  – площадь бесконечно малой трапеции – ячейки эллипсоида;  $\alpha$  – часовой угол,  $\varphi$  – географическая широта, выраженные в радианах;  $H$  – высота поверхности эллипсоида относительно поверхности Земли (м);  $\Lambda(H, \varphi, t, \alpha)$  – инсоляция в заданный момент в заданном месте поверхности эллипсоида ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ),  $t$  – время (с). Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1°, по широте 1°, по времени 1/360 часть продолжительности тропического года (Climate Change, 2013). Значение солнечной постоянной (среднее многолетнее значение TSI) принималось равным 1361  $\text{Вт}/\text{м}^2$  (Jones, et al., 2012). Изменение активности Солнца не учитывалось (Федоров, 2018, 2019а; Federov, 2013; Fedorov, Grebennikov, 2017).

Рассчитанные значения инсоляции для 5-ти градусных широтных зон для периода с 1900 по 2016 гг. использовались в полученных уравнениях регрессии в качестве аргумента. Расчет инсоляционной температуры полушарий и Земли состоял в следующем. По уравнениям регрессии и данным инсоляции рассчитывались средние (для выбранной нормы) значения температуры для 5-ти градусных широтных зон (табл. 1). Эти значения умножались на средний косинус широты каждой зоны ( $\cos \varphi$ ). Затем (делением на 18 – число широтных зон в полушарии) находилось среднее для 5-ти градусной широтной зоны значение для полушария, которое затем делилось на среднее по всем широтным зонам полушария значение  $\cos \varphi$  ( $\cos 45^\circ$ ). При расчете, таким образом, учитывается изменение площади широтной зоны в зависимости от географической широты и кривизны поверхности. Так рассчитывалась инсоляционная

температура полушарий. Для Земли инсоляционная температура рассчитывалась как среднее по полушариям (Rudolf, Scheider, 2004).

Рассчитанная с использованием уравнений регрессии по данным инсоляции годовая норма ПТВ для периода с 1961 по 1990 гг. составляет  $13,97^{\circ}\text{C}$  для Земли,  $14,54^{\circ}\text{C}$  для северного и  $13,40^{\circ}\text{C}$  для южного полушария. По данным архива абсолютных температур, нормы ПТВ (фактические нормы) на интервале с 1961 по 1990 гг. составляют для Земли –  $13,97^{\circ}\text{C}$ , для северного полушария –  $14,59^{\circ}\text{C}$ , для южного –  $13,36^{\circ}\text{C}$ . Разность между фактическими и рассчитанными значениями составила  $0,003$  для Земли,  $0,044$  – для северного полушария и  $-0,04$  – для южного полушария (ошибки аппроксимации).

Рассчитанные, с учетом изменения только инсоляционного фактора (изменений инсоляции, определяемых небесно-механическими процессами), годовые ПТВ названы нами годовыми инсоляционными температурами. Таким образом, инсоляционная ПТВ – это приповерхностная температура воздуха при стационарной и неизменной по составу атмосфере. Инсоляционные ПТВ отражают роль только инсоляционного фактора, учитывают парниковый эффект, солнечную активность, механизмы теплообмена и состояние климатической системы характерные для нормы 1961–1990 гг., и не учитывают предшествующие и дальнейшие изменения солнечной активности, парникового эффекта (связанного с составом атмосферы) и механизмов теплообмена. В связи с тем, что основным источником энергии гидрометеорологических процессов является приходящая от Солнца радиация, теоретическая оценка радиационного фактора формирования и многолетних изменений ПТВ, отражающей состояние термического режима современного глобального климата, представляется важной.

### Результаты исследований и их обсуждение

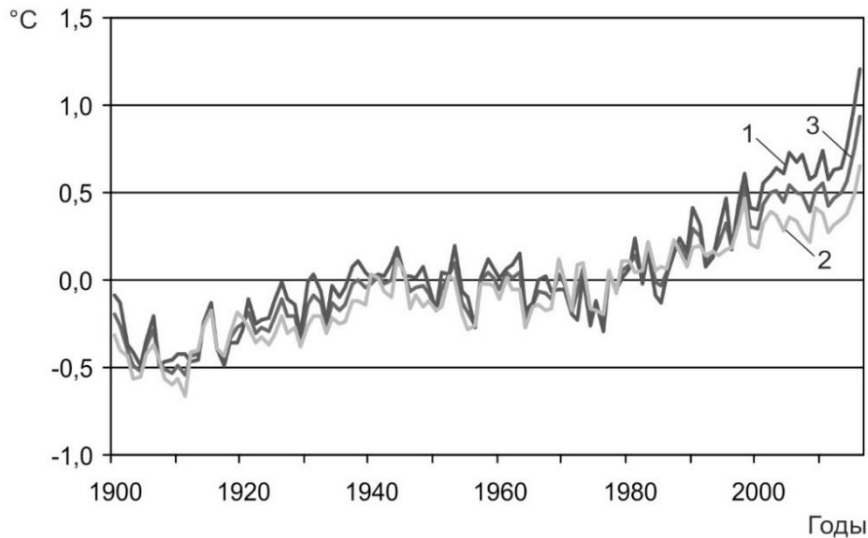
По найденным уравнениям регрессии (Fedorov, Grebennikov, 2017) рассчитывались годовые инсоляционные ПТВ для каждого года в интервале с 1900 по 2016 гг., обеспеченном достоверными метеоданными (Jones, et al., 1999; Jones, et al., 2001; Brohan, et al., 2006; Jones, et al., 2012; Climatic Research Unit ...). Также рассчитывались абсолютные значения годовой ПТВ (для полушарий и Земли). Эти расчеты выполнялись алгебраическим сложением значений аномалии ПТВ, представленных в массиве HadCRUT4 (Met Office Hadley ...), с рассчитанной по массиву абсолютных температур нормой ПТВ для базового периода 1961–1990 гг.

В северном полушарии в среднем фактические ПТВ превышают инсоляционные температуры. В южном полушарии, наоборот, фактические ПТВ в среднем уступают инсоляционным температурам. Вычитанием из фактических значений ПТВ (для периода с 1900 по 2017 гг.) соответствующих значений инсоляционной ПТВ находилась разность между абсолютными значениями фактической и инсоляционной ПТВ. Полученные значения разности фактической и инсоляционной ПТВ сравнивались с данными аномалии ПТВ (Climatic Research Unit ...), представленными в массиве HadCRUT4 (рис. 2).

Оказалось, что аномалия ПТВ (рис. 2) и разность фактических и инсоляционных ПТВ корреляционно тесно связаны (коэффициент корреляции равен  $0,999$ ). Вычитанием рассчитанной разности фактических и инсоляционных ПТВ из соответствующих фактических значений аномалии ПТВ (рис. 2) (Climatic Research Unit ...) были получены характеристики их различий. Для Земли расхождение в среднем составляет  $-0,003^{\circ}\text{C}$ , для северного полушария  $-0,044^{\circ}\text{C}$ , для южного полушария  $0,04^{\circ}\text{C}$ .

Рассчитанная для периода 1961–1990 гг. инсоляционная норма ПТВ в южном полушарии превышает фактическую норму ПТВ этого периода на  $0,04^{\circ}\text{C}$ . В северном полушарии она уступает ей на  $0,044^{\circ}\text{C}$ . Фактическая норма ПТВ Земли оказалась на  $0,003^{\circ}\text{C}$  выше рассчитанной для нее инсоляционной нормы. Таким образом, среднее

расхождение между фактическими значениями аномалии ПТВ и разностью фактических и инсоляционных ПТВ совпадает по абсолютным значениям с отмеченными выше ошибками аппроксимации. Изменение знака в разности фактических значений аномалии ПТВ и разности фактических и инсоляционных ПТВ (относительно отмеченных при аппроксимации нормы 1961 – 1990 гг.) связано с тем, что инсоляционные ПТВ северного полушария и Земли слабо уменьшаются, а инсоляционные ПТВ в южном полушарии в период с 1900 по 2016 гг. слабо увеличиваются.



**Рис. 2.** Изменение аномалии ПТВ по данным HadCRUT4 (Climatic Research Unit ...); 1 – северное полушарие, 2 – южное полушарие, 3 – Земля

В среднем по модулю значения фактической аномалии ПТВ составляют  $0,234^{\circ}\text{C}$ ,  $0,254^{\circ}\text{C}$  и  $0,238^{\circ}\text{C}$  для Земли, северного и южного полушария соответственно. Средние для интервала (1900–2016 гг.) аномалии ПТВ составляют для северного полушария  $+0,048^{\circ}\text{C}$ , для южного полушария  $-0,063^{\circ}\text{C}$ , для Земли  $-0,007^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, средние значения аномалии ПТВ в полушариях имеют противоположные по знаку значения.

Рассчитывалась контрастность годовых инсоляционных температур (ТКИ) как разность годовых инсоляционных ПТВ в экваториальной ( $0^{\circ}$ – $5^{\circ}$ ) и полярной ( $85^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ) зонах. Температурная контрастность (ТКИ) в северном полушарии (рис. 3) увеличивается с 1900 г. по 2016 г. от  $43,44^{\circ}\text{C}$  до  $43,48^{\circ}\text{C}$  (на  $0,04^{\circ}\text{C}$ , или на  $0,09\%$ ). В южном полушарии ТКИ увеличивается от  $70,73^{\circ}\text{C}$  до  $70,87^{\circ}\text{C}$  (увеличение составляет  $0,14^{\circ}\text{C}$ , или  $0,20\%$ ). То есть, увеличение ТКИ в период с 1900 по 2016 гг. в южном полушарии почти в 3,5 раза превышает увеличение ТКИ в северном полушарии.

Представленные на рис. 2 временные ряды фактической аномалии ПТВ имеют высокую положительную корреляцию (вероятность  $0,99$ ) с соответствующими временными рядами годовых значений ТКИ. В северном полушарии коэффициент корреляции ( $R$ ) равен **0,794**, в южном полушарии **0,869**. Для Земли (ТКИ находилось как среднее по полушариям)  $R$  равен **0,843**. Сходные значения коэффициента корреляции характерны и для рядов разности фактической и инсоляционной годовой ПТВ и ТКИ. Они имеют значения  $R$ , равные **0,794** и **0,871** и **0,844** соответственно. Следовательно, изменения аномалии ПТВ во времени определяются изменением ТКИ (рассчитанной по инсоляции и являющейся аналогом меридионального градиента инсоляции), что подтверждается тесной и положительной корреляционной связью между ними.

Проведен корреляционный анализ рядов фактической годовой ПТВ и аномалии ПТВ в диапазоне от 1900 до 2016 гг. с приходящей солнечной радиацией и инсоляционной контрастностью (ИК) (табл. 2). Под инсоляционной контрастностью

(ИК) нами понимается разность годовой инсоляции в широтном диапазоне  $0^{\circ}$ – $45^{\circ}$  и в широтном диапазоне  $45^{\circ}$ – $90^{\circ}$  в полушариях. Эта величина отражает разность инсоляции в области, являющейся источником тепла и инсоляции в области стока тепла. ИК обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает изменение меридионального градиента инсоляции (Федоров, 2018).

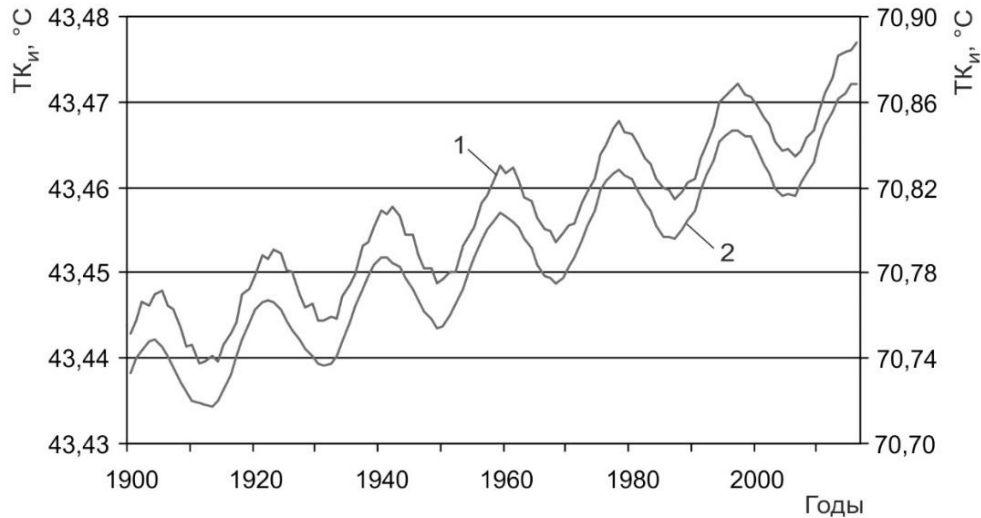


Рис. 3. Изменение ТК<sub>г</sub> в северном (1) и южном (2) полушарии

Таблица 2.  
Значения коэффициента корреляции годовой инсоляции, ИК и ТК<sub>г</sub> с годовой ПТВ и аномалией ПТВ

	Фактическая ПТВ			Аномалия ПТВ		
	Земля	СП	ЮП	Земля	СП	ЮП
Инсоляция	0,003	0,010	-0,001	0,003	0,010	-0,001
ИК	<b>0,835</b>	<b>0,786</b>	<b>0,856</b>	<b>0,835</b>	<b>0,786</b>	<b>0,856</b>
ТК <sub>г</sub>	<b>0,843</b>	<b>0,794</b>	<b>0,869</b>	<b>0,843</b>	<b>0,794</b>	<b>0,869</b>

Во временных рядах фактической ПТВ, ее аномалии и инсоляции Земли и полушарий связь не обнаруживается ( $R < 0,01$ ). Одновременно отмечается тесная положительная связь временных рядов фактической годовой ПТВ, ее аномалии и инсоляционной контрастности (табл. 2).

Средние значения аномалии фактических ПТВ имеют противоположные значения в северном и южном полушарии. Это указывает на то, что механизм меридионального переноса тепла по-разному проявляется и, влияет на температурный режим в полушариях. То есть, эффекты от перераспределения приходящего от Солнца тепла, определяемого меридиональным переносом тепла, в полушариях имеют существенные различия.

Меридиональный перенос тепла (МПТ) осуществляется как регулярным переносом в ОЦА (общая циркуляция атмосферы) – ячейки Хэдли (Гадлея), Ферреля, полярная ячейка, так и вихревыми образованиями (тропические и внетропические циклоны) (Федоров, 2018, 2019б). Из-за большей неоднородности подстилающей поверхности в северном полушарии там, в значительно большей степени, чем в относительно однородном южном полушарии, МПТ осуществляется тропическими и внетропическими циклонами. Кроме того, как показывают выполненные ранее исследования (Федоров, 2018, 2019б), увеличение меридионального градиента инсоляции (которым регулируется МПТ) отмечается в зимние полугодия в полярных ячейках, а в летние полугодия она снижается. Увеличение годового меридионального градиента инсоляции (переноса тепла) отмечается в областях локализации

циркуляционных ячеек Хэдли и Ферреля. Неоднородность подстилающей поверхности в полушариях характеризуется соотношением площади континентов и океанов. В северном полушарии 39,3% его площади приходится на сушу и 60,7% на океан, в южном полушарии площадь суши составляет – 19,1%, площадь океана 80,9%. Так ежегодное количество тропических циклонов в северном полушарии (северная Атлантика и северо-западная часть Тихого океана) в среднем составляет около 60. В южном полушарии тропических циклонов значительно меньше – 6–8 (Федоров, 2018). В южном полушарии меридиональный перенос тепла блокируется мощным западно-восточным переносом «ревущие сороковые», существование которого связано с однородностью полушария и высоким меридиональным градиентом температуры (значительно превышающим меридиональный градиент температуры в северном полушарии). Так же МПТ в южном полушарии блокируется циркумполярным антарктическим течением. Поэтому, несмотря на более высокие значения меридиональных градиента температуры (и  $TK_{И}$ ) в южном полушарии, эффект меридионального переноса тепла здесь выражен слабее, чем в северном полушарии.

Многолетние изменения фактической ПТВ (ее аномалии) не связано с изменением инсоляции, но тесно связано с изменением  $TK_{И}$  и ИК. При этом отмечается линейная связь  $TK_{И}$  и ИК (рис. 4).

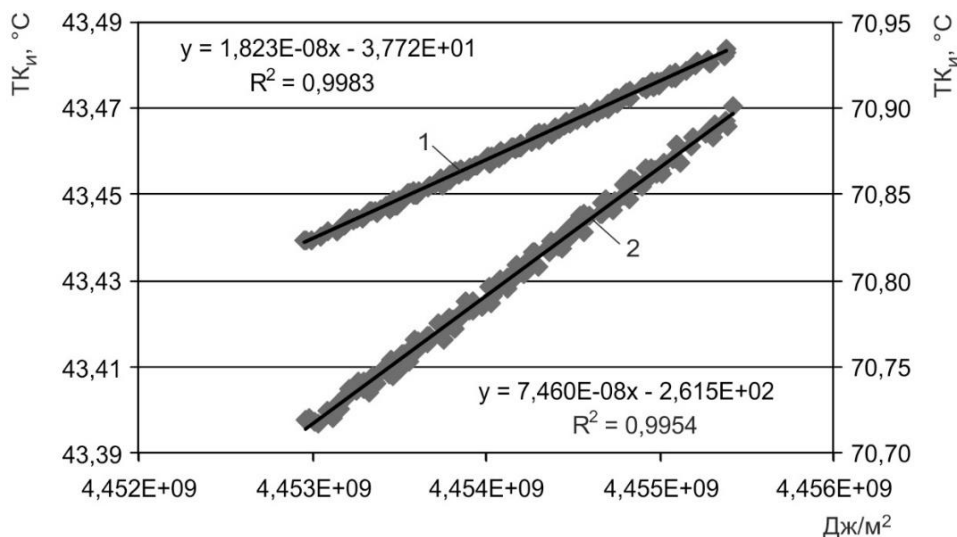


Рис. 4. Связь  $TK_{И}$  и ИК в северном (1) и южном (2) полушарии

Многолетние изменения фактической ПТВ, аномалии ПТВ и разности фактической и инсоляционной ПТВ (по сути равной аномалии ПТВ) тесно связаны с многолетними изменениями  $TK_{И}$  и ИК, которые линейно связаны между собой. Из этого следует, что многолетние изменения аномалии ПТВ, в основном определяются многолетними изменениями ИК. Показатель инсоляции (ИК), обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает изменение меридионального градиента инсоляции на ВГА. ИК линейно связана с изменением наклона оси вращения Земли (Федоров, 2018, 2019а, 2019б; Федоров, Костин, 2019). Поскольку солнечная радиация является основным источником энергии гидрометеорологических процессов, отмеченные корреляционные связи следует считать и причинно – следственными.

Как следует из проведенного анализа годовые инсоляционные ПТВ уменьшаются, но увеличивается температурная контрастность ( $TK_{И}$ ). Анализ изменения фактических годовых ПТВ в областях, являющихся источниками ( $0^{\circ}$ – $45^{\circ}$ ) и стока ( $45^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ) тепла показывает, иной характер распределения фактических ПТВ (массив HadCRUT4 (Met Office Hadley ...)). Для фактических ПТВ (в отличие от инсоляционных ПТВ) в период с 1900 по 2016 гг. отмечается тенденция к увеличению.



Оценка распределения фактических ПТВ проводилась по данным с 1960 года, которые признаются наиболее достоверными в массиве HadCRUT4. Этот период имеет меньше пропусков данных как по месяцам, так и по 5-ти градусным широтным зонам, чем представленный в массиве более ранний период. По данным массива рассчитывались годовые значения глобальной ПТВ для областей, являющихся источником ( $0^{\circ}$ – $45^{\circ}$  широты) и стоком ( $45^{\circ}$ – $90^{\circ}$  широты) тепла в каждом полушарии. Расчеты для этих областей выполнялись аналогично расчетам годовых инсоляционных ПТВ для полушарий. Однако, в этом случае среднегодовые температуры находились для «половинок» каждого полушария. Полученные для широтных зон среднегодовые значения ПТВ умножались на средние для 5-ти градусных широтных зон косинусы широты. Затем находилось среднее для 5-ти градусной широтной зоны (по 9-ти зонам) значение, которое делилось на косинус  $22,5^{\circ}$  для расчетов температуры в области источника тепла и на косинус  $62,5^{\circ}$  при расчетах температуры в области стока тепла (Rudolf, Scheider, 2004).

Из анализа полученных результатов следует, что фактические годовые ПТВ в северном полушарии увеличиваются как в области являющейся источником тепла, так и в области стока тепла. Также в северном полушарии на протяжении этого периода уменьшается температурная контрастность годовых фактических ПТВ ( $TK_{\Phi}$ ) – разность годовых фактических ПТВ в экваториальной ( $0^{\circ}$ – $5^{\circ}$ ) и полярной ( $85^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ) зонах полушария. Это связано с тем, что в северном полушарии увеличение ПТВ в области стока тепла превосходит увеличение ПТВ в области источника тепла. В южном полушарии наблюдается несколько иная картина. Фактические годовые ПТВ также увеличиваются как в области источника тепла, так и в области стока тепла. Однако, температурная контрастность здесь, в отличие от северного полушария увеличивается. Это связано с тем, что увеличение ПТВ в области источника тепла превосходит увеличение ПТВ в области его стока. Отмечается высокая корреляционная связь многолетних изменений фактической годовой ПТВ с многолетними изменениями годовой ИК в северном полушарии. В области источника тепла  $R$  равен 0,827. В области стока тепла – 0,841. В южном полушарии соответствующие значения  $R$  равны 0,876 и 0,307.

Из сравнения результатов расчетов годовых инсоляционных ПТВ с полученными данными следует, что фактические ПТВ в северном полушарии изменяются в противофазе с инсоляционными ПТВ. Также в противофазе изменяются  $TK_{И}$  и  $TK_{\Phi}$ . Годовые значения инсоляционной ПТВ уменьшаются, а значения фактической ПТВ увеличиваются (как в области источника, так и в области стока тепла). Годовая  $TK_{И}$  увеличивается в северном и южном полушарии. Годовая  $TK_{\Phi}$  уменьшается в северном полушарии и увеличивается в южном. В северном полушарии годовая ИК (линейно связанная с  $TK_{И}$ ), таким образом, увеличивается, а температурная контрастность между областями являющимися источником и стока тепла сокращается (из-за усиления меридионального переноса тепла, определяемого увеличением меридионального градиента инсоляции или ИК линейно связанной с наклоном оси вращения). В южном полушарии фактические ПТВ слабо увеличиваются в области источника и стока тепла, но  $TK_{\Phi}$  возрастает (при возрастании и  $TK_{И}$ ). Это определяется тем, что в южном полушарии эффект меридионального переноса тепла (МПТ) выражен слабее, чем в северном полушарии. Это, как отмечалось выше, связано с блокирующим зональным переносом («ревущие сороковые»), циркумполярным антарктическим течением, наличием ледового континента Антарктида и океаничностью южного полушария, небольшим числом тропических циклонов.

Увеличение ПТВ в области источника тепла является следствием увеличения прихода солнечной радиации в эту область (Федоров, 2018, 2019а). Увеличение ПТВ в областях стока является следствием усиления меридионального переноса тепла

(Федоров, 2019а, 2019б, 2019в). При этом МПТ (при сходной годовой инсоляции и ИК) имеет существенные полушарные различия, которые связаны с отмеченными полушарными отличиями в климатической системе Земли. В общем, изменение полушарных температур, вероятно, определяется соотношением меридионального температурного градиента или разностью температур экватор – полюс ( $TK_{\phi}$ ) и меридионального градиента инсоляции, обобщенной (по областям источника и стока тепла) характеристикой которого является ИК. ИК линейно связана с  $TK_{\psi}$ . Следовательно, меридиональный перенос тепла (и температурные режим полушарий и Земли), в основном, определяется соотношением  $TK_{\psi}$  и  $TK_{\phi}$ . В настоящее время меридиональным градиентом инсоляции (МГИ или ИК) определяется меридиональный перенос тепла (МПТ) и, в основном, многолетние изменения ПТВ. Однако со временем, при ослаблении МГИ это соотношение может измениться, прежде всего, в северном полушарии, где меридиональный градиент температуры уменьшается. Отмечаемое для северного полушария уменьшение перепада температур экватор – полюс может способствовать снижению скорости генерации и уменьшению общего числа вихрей в атмосфере (Мохов и др., 1992). Следствием этого может быть понижение ПТВ в северном полушарии. Для определения характеристик и хронологии возможного понижения ПТВ в северном полушарии необходимо физико-математическое моделирование климатических процессов. Необходимость моделирования определяется, во-первых, разнородностью компонентов климатической системы. Во-вторых, сложностью и многообразием связей (прямых и обратных) между компонентами системы. В-третьих, постоянным изменением состояний как отдельных компонентов, так и климатической системы в целом, в пространстве и во времени. В-четвертых, изменением во времени и в пространстве связей между компонентами климатической системы. Однако, радиационные блоки существующих физико-математических моделей климата нуждаются в модернизации (Федоров, 2019а).

В общем виде механизм изменения температурного режима Земли и полушарий можно представить схемой (рис. 5).

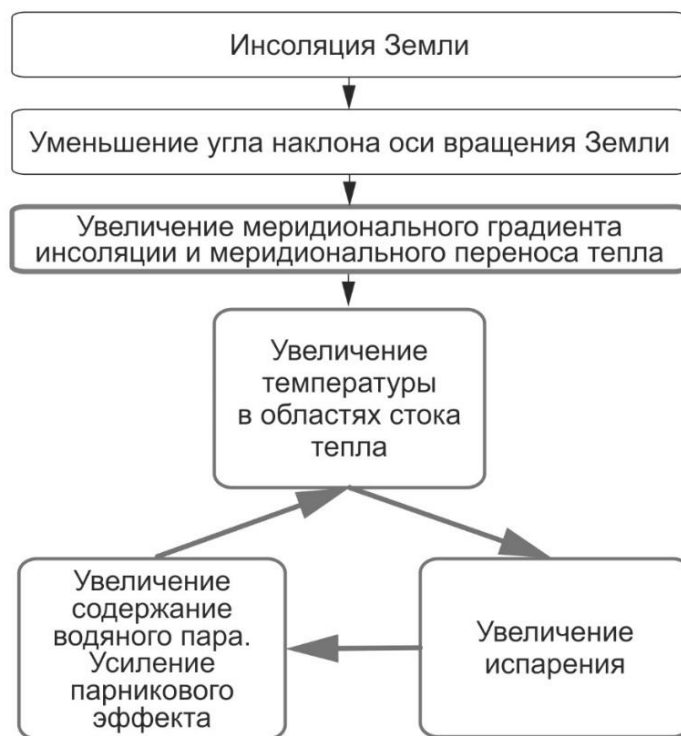


Рис. 5. Принципиальная схема радиационного теплообмена в атмосфере

Три связанных нижних блока в схеме представляют собой климатический детектор, приводящий к усилению глобального потепления. Кроме того, процесс потепления усиливается и обратными положительными связями из-за сокращения площади морских льдов и ледников и уменьшения планетарного альбеда. Повышение температуры в областях стока тепла связано не только с меридиональным переносом тепла (явное тепло), но и с процессами конденсации водяного пара в атмосфере (скрытое тепло) при меридиональном движении воздушных масс.

Схема подтверждается отмеченными тесными связями ПТВ с ТК<sub>и</sub> и ИК, тесными связями ИК с углом наклона оси вращения и логикой климатических знаний. Схема может быть использована в качестве понятийного алгоритма в физико-математических моделях климата.

### Заключение

Инсоляционные годовые ПТВ отличаются от фактических годовых ПТВ на величину аномалии ПТВ. Многолетние изменения аномалии ПТВ, отражающие многолетние изменения глобального климата (его температурного режима), в основном, определяются многолетними изменениями ТК<sub>и</sub> и ИК. Иными словами, изменение глобальной температуры в XX столетии и в настоящее время определяется распределением приходящей солнечной радиации по широтам – инсоляционной контрастностью.

Многолетние изменения инсоляционной контрастности обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражают многолетние изменения меридионального градиента инсоляции. Меридиональным градиентом инсоляции регулируется меридиональный перенос тепла в системе океан – атмосфера (МПТ) (Федоров, 2018, 2019б, 2019в). ТК<sub>и</sub> линейно связана с ИК. Инсоляционная контрастность, в свою очередь, линейно связана с наклоном оси вращения Земли (Федоров, 2018). Из этого следует, что многолетние изменения (увеличение) аномалии ПТВ и наблюдаемое глобальное потепление климата, в основном, определяются естественными причинами и связаны с уменьшением наклона оси вращения Земли.

### Список литературы

1. Будыко М.И. Радиационные факторы современных изменений климата // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1968. – № 5. – С. 36–41.
2. Кондратьев К.Я. Радиационные факторы современных изменений глобального климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 279 с.
3. Кондратьев К.Я. Глобальный климат и его изменения. – Л.: Наука, 1987. – 232 с.
4. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. – СПб.: Наука, 1992. – 359 с.
5. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 408 с.
6. Монин А.С. Введение в теорию климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 246 с.
7. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физ. Наук. – 2000. – Т. 170. – № 4. – С. 419–445.
8. Мохов И.И. О влиянии облачности на энергетический баланс климатической системы // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 8. – С. 34–39.
9. Мохов И.И., Мохов О.И., Петухов В.К., Хайруллин Р.Р. Влияние глобальных климатических изменений на вихревую активность в атмосфере // Известия АН СССР, физика атмосферы и океана. – 1992. – Т. 28. – № 1. – С. 11–26.
10. Солнечная радиация и климат Земли. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.solar-climate.com>. (17.08.2019).
11. Фёдоров В.М. Проблема меридионального переноса тепла в астрономической теории климата // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. – Т. 18. – № 3. – С. 117–128.

DOI:10.21455/GPB1019.3-8.

12. Федоров В.М. Солнечная радиация и климат Земли. – М.: Физматлит, 2018. – 232 с.
13. Федоров В.М. Вариации инсоляции Земли и особенности их учета в физико-математических моделях климата // Успехи физических наук. – 2019. – Т. 189. – № 1. – С. 33–46. DOI: 10.3367/UFNr.2017.12.038267.
14. Федоров В.М., Костин А.А. Вычисление инсоляции Земли для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э // Процессы в геосредах. – 2019. – № 2. – С. 254–262
15. Федоров В.М. Многолетние изменения в переносе лучистой энергии на верхней границе атмосферы // Процессы в геосредах. – 2019. – № 1 (19). – С. 107–111.
16. Шулейкин В.В. Физика моря. – М.: АН СССР, 1953. – 990 с.
17. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 // J. Geophys. Res. – 2006. – V. 111. – D12106. DOI: 10.1029/2005JD006548.
18. Climate Change. Chapter 8. Anthropogenic and natural radiative forcing. – 2013. – P. 659–740.
19. Climatic Research Unit (University of East Anglia) and Met Office. Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature>. (17.08.2019).
20. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year // Doklady Earth Sciences. – 2013. – V. 451. – Part 1. – P. 750–753. DOI: 10.1134/S1028334X13070015.
21. Fedorov V.M., Grebennikov P.B. Calculation of long-term averages of surface air temperature based on insolation data // Izvestya atmospheric and oceanic. – 2017. – V. 53. – № 8. – P. 757–768. DOI: 10.1134/S0001433817080047.
22. Giorgini J.D., Yeomans D.K., Chamberlin A.B., Chodas P.W., Jacobson R.A., Keesey M.S., Lieske J.H., Ostro S.J., Standish E.M., Wimberly R.N. JPL's On-Line Solar System Data Service // Bulletin of the American Astronomical Society. – 1996. – V. 28(3). – P. 1158.
23. 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. – D05127. DOI: 10.1029/2011JD017139.
24. Jones P.D., New M., Parker D.E., Martin S., Rigor I.G. Surface air temperature and its variations over the last 150 years // Reviews of Geophysics. – 1999. – V.37. – P. 173–199. DOI:10.1029/1999RG900002.
25. Jones P.D., Osborn T.J., Briffa K.R., Folland C.K., Horton B., Alexander L.V., Parker D.E., Rayner N.A. Adjusting for sampling density in grid-box land and ocean surface temperature time series // J. Geophys. Res. – 2001. – V. 106. – P. 3371–3380. DOI:10.1029/2000JD900564
26. Met Office Hadley Centre observations datasets. Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/data/current/download.html>. (17.08.2019).
27. NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://ssd.jpl.nasa.gov>. (17.08.2019).
28. Temperature data (HadCRUD4, CRUTEM4) Climatic Research Unit global temperature. – Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/absolute.nc> (17.08.2019).
29. Rudolf B., Scheider U. Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations // Proceedings IPWG. – Monterey, 2004. – P. 1 – 14.

**CONTRAST OF ANNUAL INSOLATION TEMPERATURES AND TENDENCIES OF  
LONG TERM VARIATIONS OF SURFACE AIR TEMPERATURE**

**Fedorov V.M.**

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

*e-mail: [fedorov.msu@mail.ru](mailto:fedorov.msu@mail.ru)*

Based on the relationship between the latitudinal distribution of annual insolation and the near-surface air temperature (ST), the annual insolation temperatures from 1900 to 2016 are calculated. It is shown that long-term changes in ST are determined by long-term changes in the contrast of insolation temperatures and insolation contrast. Long-term changes in insolation contrast (summarized in the areas of heat source and sink) reflect long-term changes in the meridional gradient of insolation. The meridional gradient of insolation regulates the meridional heat transfer in the ocean-atmosphere system. It is shown that insolation contrast is linearly related to the tilt of the Earth's rotation axis. It follows that the long-term increase in the ST anomaly and the observed global climate warming are mainly determined by natural causes and are associated with a decrease in the inclination of the Earth's rotation axis.

The general scheme of the mechanism for changing the temperature regime of the Earth and the hemispheres was presented. It is determined that when the contrast of insolation temperatures increases, the temperature contrast in the Northern hemisphere decreases, while in the Southern hemisphere it increases.

**Keywords:** insolation; insolation temperatures; surface air temperature; contrast of temperatures; tendencies.

Федоров  
Валерий  
Михайлович

Кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник,  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени  
М.В. Ломоносова», e-mail: [fedorov.msu@mail.ru](mailto:fedorov.msu@mail.ru)

*Поступила в редакцию 23.01.2020 г.*