

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ОТКЛИКОВ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА МНОГОЛЕТНЮЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНСОЛЯЦИИ ЗЕМЛИ

В.М. Фёдоров¹

Исследуются временные отклики изменчивости годовой и месячной приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) на многолетнюю изменчивость годовой и месячной инсоляции Земли. Показано, что многолетняя изменчивость месячной аномалии ПТВ Земли в среднем на 65,5 % определяется многолетней изменчивостью годовой ИК Земли (на 53,7 % в Северном и на 71,7 % в Южном полушарии). Минимальные оценки связи отмечаются для января, максимальные для мая. В период с мая по июль (при положении Земли вблизи афелия) многолетняя изменчивость месячной аномалии ПТВ Земли в среднем на 75,0 % определяется многолетней изменчивостью месячной ИК Земли. В период с декабря по февраль значения коэффициента детерминации заметно снижаются (Земля в это время находится вблизи перигелия орбиты) и в среднем составляют 56,4 %. В летнее полугодие в Южном полушарии многолетней изменчивостью месячной ИК в среднем определяется 68,9 % многолетней изменчивости месячной аномалии ПТ, в Северном – 60,5 %. Многолетней изменчивостью инсоляции в зимнее полугодие в Южном полушарии в среднем определяется 74,5 % многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ, в Северном – всего 46,3 %.

Из анализа пространственно-временных связей ПТВ и инсоляции Земли следует, что изменения глобального климата Земли определяются естественными причинами. Важнейшей из них является изменение наклона оси вращения и связанное с этим усиление межишротного теплообмена (усиление работы «тепловой машины первого рода»). В связи с полученными результатами, представления об антропогенном факторе изменения глобального климата не представляются убедительными.

Ключевые слова: инсоляция Земли, солярный климат, приповерхностная температура воздуха, корреляционный анализ, временная изменчивость.

THE ANALYSIS OF TIME RESPONSES OF THE NEAR-SURFACE AIR TEMPERATURE (NSAT) TO THE PERENNIAL VARIABILITY OF THE EARTH'S SOLAR IRRADIANCE

V.M. Fedorov, PhD

Lomonosov Moscow State University (The Faculty of Geography), Moscow, Russia

The article gives some information on the global and regional responses of the near-surface air temperature (NSAT) to the perennial variability of the Earth's solar irradiance. It is shown that the long-term variability of the Earth's monthly NSAT anomaly is 65.5 % on average determined by the long-term variability of the annual infrared radiation (IR) of the Earth (by 53.7 % in the Northern and 71.7 % in the Southern Hemisphere). Minimal evaluation estimates are marked for January, the maximum is determined for May. In the period from May to July (when the Earth is located near the aphelion), the long-term

¹ Фёдоров Валерий Михайлович – к.г.н., в.н.с. географического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова, *fedorov.msu@mail.ru*.

variability of the Earth's monthly NSAT anomaly is 75.0 % on average depends on the long-term variability of the monthly Earth's IR. In its turn, from December till February the values of the determination coefficient are dramatically reduced (when the Earth is situated near the orbit perihelion). The value of the determination coefficient during this period is 56.4 % on average. In the summer half-year in the Southern Hemisphere, the long-term variability of the monthly IR is determined on average by 68.9 % of the perennial variability of the monthly NSAT anomaly, in the Northern one it makes up 60.5 %. Long-term variability of insolation in the winter half-year in the southern hemisphere is determined on average by 74.5 % of the perennial variability of the monthly anomaly of the PTV, in the North it is only 46.3 %. Thus, according to the spatio-temporal relations between NSAT and solar irradiance the global Earth's climate changes are determined by natural causes. The main natural agent is variations of the Earth's axial inclination, which are closely connected with intensification of inter-latitude heat exchange, boosting of natural heat engine. The human factor of this change, according to this, does not seem to be convincing.

Keywords: solar irradiance, solar climate, near-surface air temperature (NSAT), correlation analysis, time variability.

Введение. Проблема изменения современного глобального климата и, прежде всего, его температурных характеристик представляется актуальной для современной науки и практики [15]. Эта проблема определяется необходимостью прогнозирования последствий климатических изменений для природной среды и общества. Наиболее важным в проблеме исследования и прогнозирования изменений климата является вопрос о причинах, вызывающих эти изменения [4, 5, 9].

Климат – это состояние природной системы, которое характеризуется осреднёнными по времени для некоторого района (или Земли в целом) гидрометеорологическими, почвенно–биологическими и другими показателями. Важнейшей характеристикой климата является температурный режим, определяющий многие особенности жизни населения и окружающей природной среды. Приповерхностная температура воздуха (ПТВ) и температура поверхности Мирового океана (ТПО) характеризуют термическое состояние климатической системы Земли, которое в основном определяется приходящей от Солнца лучистой энергией и парниковым эффектом планеты. Изменения глобальной температуры являются важнейшим показателем изменения климата.

Солнечная радиация – основной источник энергии, определяющий радиационный и тепловой баланс Земли [2–6, 8, 9]. С широтными особенностями распределения солнечной радиации связано расположение климатических поясов (широтная зональность). В древности Гиппархом (древнегреческий астроном, географ и математик II-го века до н. э.) было дано объяснение годовой смене климатических сезонов. Эта смена объяснялась изменением угла падения солнечных лучей, связанным с орбитальным движением Земли и наклоном оси её вращения². Кроме этого, отмечаются межгодовые и многолетние изменения климата, причины которых пока однозначно не определены.

Приходящая к Земле лучистая энергия испытывает изменения как во времени, так и в пространстве. В регулировании поступления солнечной радиации к Земле и распределении её по земной поверхности (солярийный климат Земли) выделяются два механизма, имеющие различную физическую природу. Один механизм связан с изменением активности Солнца. Другой определяется небесно-механическими процес-

² «Климат» в переводе с греческого языка означает «наклон».

сами, изменяющими элементы земной орбиты (расстояние Земля – Солнце, продолжительность тропического года и др.), наклоном оси вращения и связанными с ними изменениями в инсоляции Земли. Именно этот механизм учитывается в данной работе. В перераспределении тепла в климатической системе Земли (в атмосфере и океане) участвуют механизмы межширотного теплообмена («тепловая машина первого рода»), теплообмена в системе океан – материк, связанного с реверсивной сезонной сменой областей холода и тепла («тепловая машина второго рода»), в системе океан – атмосфера и др. [14]. Важным фактором в регулировании термического режима Земли является состав атмосферы (прежде всего, содержание H_2O), определяющий роль парникового эффекта и его изменения [1, 7, 9].

В XX веке отмечена тенденция повышения глобальной приповерхностной температуры, однако причины этого однозначно не определены [16]. Широко распространено мнение о том, что основной причиной изменения глобального климата является «парниковый» эффект, связанный, главным образом, с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенным фактором [15]. В то же время, не подвергается сомнению то, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в генезисе климата.

На исследование причин изменения климата направлен ряд международных научных программ, например, координируемые Международным советом научных союзов, ЮНЕСКО и Всемирной метеорологической организацией Всемирная климатическая программа и Всемирная программа исследования климата. Повышенное внимание в настоящее время уделяется исследованиям изменения аномалии ПТВ в связи с усилением парникового эффекта планеты [15]. В то же время вопросы изменения аномалии ПТВ в связи с пространственными и временными вариациями инсоляции исследованы ещё недостаточно.

Основная задача работы – определение влияния инсоляции и её пространственно-временных изменений, связанных с небесно-механическими процессами, на формирование и изменение аномалии ПТВ, отражающей современное состояние и динамику термического режима климатической системы Земли. Пространственные аспекты этой задачи рассмотрены в работе [13]. В данной статье анализируются временные аспекты связи ПТВ с инсоляцией и инсоляционной контрастностью (ИК). Проведённый анализ, таким образом, позволяет получить полную картину изменчивости связи ПТВ и инсоляции как в пространстве, так и во времени.

В качестве исходных данных использовались значения аномалии ПТВ, приведённые в массиве HadCRUT4 университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. HadCRUT4 – это трёхмерный массив месячных значений аномалии ПТВ (относительно нормы 1961–1990 гг.) с разрешением по пространству 5×5 градусов. Нами рассматривался период достоверных данных с 1900 по 2014 гг. [13, 16]. По этому массиву рассчитывались средние годовые, полугодовые и месячные значения аномалии ПТВ для Земли, полушарий и пяти градусных широтных зон. Данные по инсоляции ($Дж/м^2$) рассчитывались автором совместно с А.А. Костиным [10–12].

Анализ многолетней изменчивости месячных ПТВ с годовой инсоляцией и ИК Земли. Проведён анализ многолетних изменений месячной аномалии ПТВ Земли и полушарий в связи с многолетней изменчивостью годовой инсоляции и инсоляционной контрастности Земли и полушарий. При этом первый месяц тропического года сопоставлялся с апрелем календарного года, второй с маем месяцем и т. д.

Обнаружена невысокая отрицательная связь многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью годовой инсоляции Земли. Значе-

ние коэффициента корреляции (R) в среднем для месяца составляет $-0,467$, находясь в пределах от $-0,417$ до $-0,512$. Тесная положительная связь в многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ обнаружена с годовой ИК Земли (рис. 1). Инсоляционная контрастность – это разность между инсоляцией области, являющейся источником тепла (0° – 45°), и инсоляцией области стока тепла (45° – 90°) в полушарии (для Земли ИК определяется как среднее по полушариям).

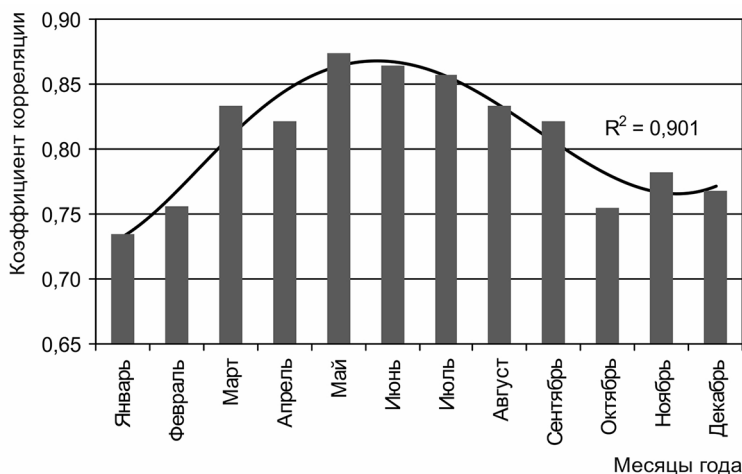


Рис. 1. Годовой ход коэффициента корреляции многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ Земли и многолетней изменчивости годовой ИК Земли.

Значение R изменяется в годовом ходе от $0,734$ до $0,874$, в среднем составляя $0,808$. При этом в летнее для Северного полушария полугодие в среднем значения R ($0,845$) превышают значения, полученные для зимнего полугодия ($0,771$). Для Северного

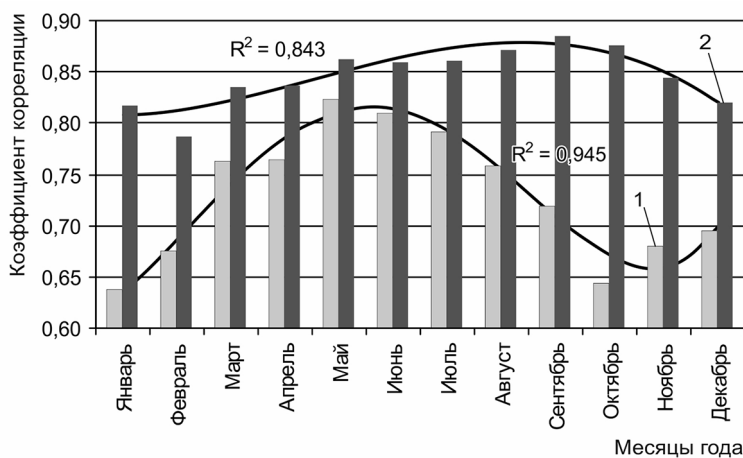


Рис. 2. Годовой ход коэффициента корреляции между многолетней изменчивостью месячной аномалии ПТВ Северного (1) и Южного (2) полушария и многолетней изменчивостью годовой ИК соответствующего полушария.

полушария также обнаруживается слабая отрицательная связь в многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ и многолетней изменчивости годовой инсоляции полушария. Значения R изменяются в годовом ходе от -0,353 до -0,405, в среднем составляя -0,405. Связь с многолетней изменчивостью годовой ИК полушария высокая и положительная (рис. 2).

Значение R в годовом ходе в Северном полушарии изменяется в интервале от 0,638 до 0,823 при среднем значении, равном 0,730.

В Южном полушарии также отмечается невысокая отрицательная связь многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ полушария с многолетней изменчивостью годовой инсоляции полушария. При среднем значении R , равном -0,447, в годовом ходе он изменяется в пределах от -0,388 до -0,531. Также проявляется высокая положительная связь многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ Южного полушария с многолетней изменчивостью годовой ИК полушария (см. рис. 2). Значения R изменяются в годовом ходе от 0,787 до 0,885; среднее значение составляет 0,846.

Проведённый анализ также показывает, что связь многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ в полушариях в годовом ходе определяется многолетней изменчивостью летней для полушария ИК. Таким образом, годовой ход R , рассчитанный на основе многолетней изменчивости годовой ИК полушария (рис. 2), совпадает с годовым ходом R , рассчитанным на основе многолетней изменчивости летней ИК полушария. Связь многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ в полушариях с многолетней изменчивостью зимней в полушариях ИК по абсолютным значениям R совпадает со значениями R , полученными для летней ИК полушария. Однако значения R , рассчитанные на основе зимней ИК, имеют отрицательный знак. Таким образом, многолетняя изменчивость месячных значений аномалии ПТВ Земли и полушарий в годовом ходе определяется многолетней изменчивостью годовой и летней для полушария ИК (табл. 1).

Из полученной оценки следует, что многолетняя изменчивость месячной аномалии ПТВ Земли в среднем на 65,5 % определяется многолетней изменчивостью годовой ИК Земли. Минимальные оценки связи отмечаются для января, максимальные – для мая.

Таблица 1. Оценка влияния ИК полушарий и Земли в целом (R^2) на многолетнюю изменчивость месячной аномалии ПТВ

Месяцы года	Земля	Северное полушарие	Южное полушарие
Январь	0,539	0,407	0,668
Февраль	0,572	0,456	0,619
Март	0,695	0,581	0,697
Апрель	0,675	0,584	0,700
Май	0,763	0,677	0,744
Июнь	0,747	0,657	0,738
Июль	0,735	0,626	0,741
Август	0,694	0,575	0,760
Сентябрь	0,675	0,517	0,784
Октябрь	0,570	0,415	0,767
Ноябрь	0,611	0,462	0,714
Декабрь	0,589	0,483	0,673
Среднее	0,655	0,537	0,717

Анализ многолетней изменчивости месячных значений ПТВ с соответствующими месячными значениями инсоляции и ИК. При анализе многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ и многолетней изменчивости соответствующей месячной инсоляции Земли связь между ними не обнаружена. Однако обнаружена связь в многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ с изменчивостью месячной инсоляции полушарий (рис. 3).

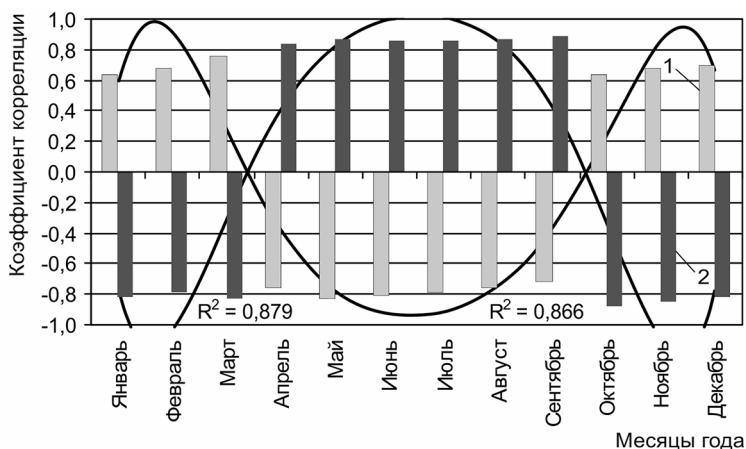


Рис. 3. Годовой ход связи (R) многолетних изменений месячных значений аномалии ПТВ с изменениями соответствующих месячных значений инсоляции в полушариях: 1 – Северное, 2 – Южное полушария.

Положительная корреляция месячной аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью месячной инсоляции отмечается в зимние для полушарий полугодия, отрицательная – в летние. При этом в Северном полушарии в зимнее полугодие R изменяется от 0,635 до 0,758, при среднем значении, равном 0,679. В Южном полушарии в зим-

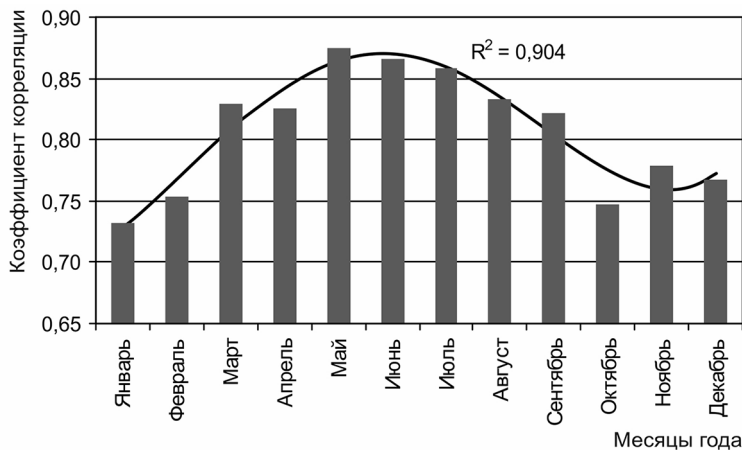


Рис. 4. Годовой ход коэффициента корреляции многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ и многолетней изменчивости месячной ИК.

нее для него полугодие значения R существенно выше. Они изменяются в пределах от 0,838 до 0,885, в среднем составляя 0,863.

Обнаружена связь многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью соответствующих месячных значений инсоляционной контрастности для Земли и полушарий (рис. 4). При этом ИК Земли рассчитывалась на каждый месяц по разности суммарной инсоляции областей 0° – 45° и 45° – 90° в каждом полушарии (области источника и стока тепла). Затем усреднением полушарных значений находилось среднее для Земли месячное значение ИК.

Связь многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью месячной ИК Земли в течение года положительная и высокая. Значения R меняются в течение года от 0,732 до 0,874. Среднее значение R составляет 0,807. В летнее для Северного полушария полугодие в среднем отмечаются более высокие значения R (0,846), чем в зимнее (0,768). При расчёте полугодовых ИК для отдельных месяцев учитывалось пространственное смещение областей источника и стока тепла в полушариях. При этом использовалась схема, приведенная в табл. 2.

Таблица 2. Схема пространственных соотношений областей источника и стока тепла в полушариях в годовом ходе (в градусах широты)

Месяцы года	Северное полушарие		Южное полушарие	
	Источник тепла	Сток тепла	Источник тепла	Сток тепла
Январь	00–30	30–90	00–60	60–90
Февраль	00–35	35–90	00–55	55–90
Март	00–40	40–90	00–45	45–90
Апрель	00–45	45–90	00–35	35–90
Май	00–50	50–90	00–35	35–90
Июнь	00–55	55–90	00–30	30–90
Июль	00–60	60–90	00–30	30–90
Август	00–55	55–90	00–35	35–90
Сентябрь	00–45	45–90	00–40	40–90
Октябрь	00–35	35–90	00–45	45–90
Ноябрь	00–35	35–90	00–50	50–90
Декабрь	00–30	30–90	00–55	55–90

Положительная связь многолетней изменчивости месячных ИК с многолетней изменчивостью месячной аномалии ПТВ отмечается в летние для полушарий полугодия, отрицательная – в зимние (с инсоляцией наоборот) (рис. 5, табл. 3).

Значения коэффициента корреляции в Северном полушарии в летнее полугодие изменяются в пределах от 0,719 до 0,822. Среднее для месяца значение R составляет 0,777. В Южном полушарии в летнее для него полугодие значения R заметно выше, чем в Северном. Здесь значения R находятся в пределах от 0,787 до 0,875, при среднем для месяца значении R , равном 0,830. Таким образом, тесная положительная связь многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ и многолетней изменчивости месячной ИК отмечается в летние для полушарий полугодия, при этом в Южном полушарии эта связь выражена сильнее (табл. 3).

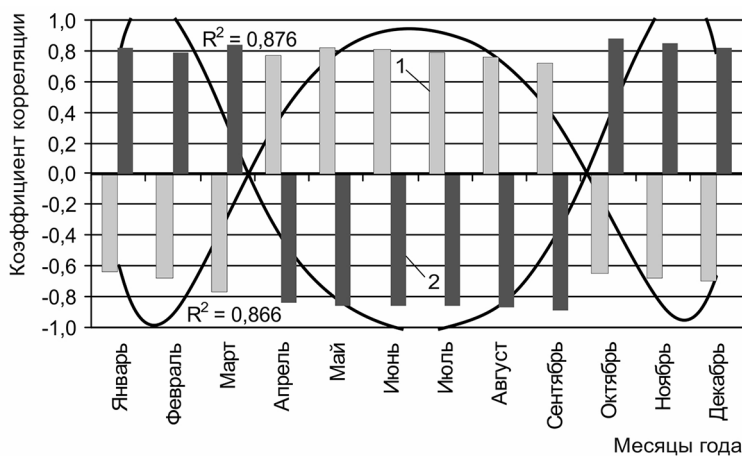


Рис. 5. Годовой ход R многолетней изменчивости месячных значений ИК и соответствующих месячных значений аномалии ПТВ: 1 – Северное, 2 – Южное полушария.

Таблица 3. Оценка вклада (R^2) многолетней изменчивости месячной инсоляции и ИК в изменчивость месячной аномалии ПТВ

Месяцы года	Инсоляция		Инсоляционная контрастность		
	Северное полушарие	Южное полушарие	Северное полушарие	Южное полушарие	Земля
Январь	0,407			0,667	0,536
Февраль	0,453			0,619	0,568
Март	0,574			0,696	0,689
Апрель		0,703	0,584		0,681
Май		0,746	0,677		0,764
Июнь		0,738	0,656		0,750
Июль		0,742	0,625		0,737
Август		0,759	0,573		0,693
Сентябрь		0,783	0,516		0,675
Октябрь	0,404			0,766	0,558
Ноябрь	0,459			0,714	0,607
Декабрь	0,482			0,673	0,588
Среднее	0,463	0,745	0,605	0,689	0,654

Таким образом, в целом для Земли многолетние изменения месячной аномалии ПТВ в среднем на 65,5 % определяются многолетними изменениями инсоляционной контрастности в соответствующие месяцы. В период с мая по июль (при положении Земли вблизи афелия) многолетняя изменчивость месячной аномалии ПТВ в среднем на 75,0 % определяется многолетней изменчивостью месячной ИК Земли. В период с декабря по февраль значения коэффициента детерминации заметно снижа-

ются (Земля в это время находится вблизи перигелия орбиты) и в среднем составляют 56,4 %.

В многолетней изменчивости годовой аномалии глобальной ПТВ (общей за год для Земли и полушарий, то есть при уменьшении пространственного и временного разрешения) Земли в целом, Северного и Южного полушария значения коэффициента корреляции с соответствующими значениями ИК увеличиваются и составляют для Земли 0,835, Северного полушария – 0,785, Южного полушария – 0,857. При сглаживании ИК (по 21-летнему скользящему среднему) R принимает значения 0,888, 0,833 и 0,914, соответственно. Именно эта многолетняя изменчивость глобальной температуры [15, 16] вызывает озабоченность МГЭИК³, и её понижение является основной целью Парижского соглашения по климату. Многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ Земли, Северного и Южного полушарий определяется многолетней изменчивостью ИК на 78,9 %, 69,4 % и 83,5 %, соответственно. Таким образом, антропогенные возможности влияния на изменение (понижение) аномалии глобальной ПТВ существенно ограничиваются.

Закключение. Проведённый анализ показывает, что многолетняя изменчивость месячной аномалии ПТВ Земли в среднем на 65,5 % определяется многолетней изменчивостью годовой ИК Земли. Минимальные оценки связи отмечаются для января, максимальные для мая. В Северном полушарии многолетняя изменчивость месячной аномалии ПТВ в среднем на 53,7 % определяется многолетней изменчивостью годовой (или летней) ИК полушария. В Южном полушарии многолетняя изменчивость месячной аномалии ПТВ на 71,7 % в среднем определяется многолетней изменчивостью годовой (или летней) ИК полушария. Положительная корреляция месячной аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью месячной инсоляции отмечается в зимние для полушарий полугодия. Положительная связь многолетней изменчивости месячных ИК с многолетней изменчивостью месячной аномалии ПТВ отмечается в летние для полушарий полугодия, отрицательная – в зимние (с инсоляцией наоборот).

Таким образом, в целом для Земли многолетние изменения месячной аномалии ПТВ в среднем на 65,5 % определяются многолетними изменениями инсоляционной контрастности в соответствующие месяцы. В период с мая по июль (при положении Земли вблизи афелия) многолетняя изменчивость месячной аномалии ПТВ в среднем на 75,0 % определяется многолетней изменчивостью месячной ИК Земли. В период с декабря по февраль значения коэффициента детерминации заметно снижаются (Земля в это время находится вблизи перигелия орбиты) и в среднем составляют 56,4 %.

В летнее полугодие в Южном полушарии многолетней изменчивостью месячной ИК в среднем определяется 68,9 % многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ. В Северном полушарии в летнее полугодие многолетней изменчивостью месячной ИК в среднем определяется 60,5 % многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ. Многолетней изменчивостью инсоляции в зимнее полугодие в Южном полушарии в среднем определяется 74,5 % многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ. В Северном полушарии в зимнее полугодие всего 46,3 % многолетней изменчивости месячной аномалии ПТВ определяется многолетней изменчивостью месячной инсоляции.

Поскольку солнечная радиация является основным источником тепла на Земле, найденные корреляционные связи являются и причинно-следственными. Найденные

³ МГЭИК – Межправительственная группа экспертов по изменению климата.

связи в основном отражают известные тенденции изменения солярного климата Земли в настоящее время: усиление широтной контрастности и сглаживание сезонных различий [11, 12]. Для современного солярного климата характерно сокращение поступления радиации в летние полугодия и увеличение в зимние. С тенденциями этих характеристик солярного климата Земли связаны найденные соотношения многолетней изменчивости аномалии ПТВ и многолетней изменчивости инсоляции и ИК в пространстве и во времени. Отмеченные достаточно высокие характеристики связи глобальной аномалии ПТВ и ИК с увеличением пространственного и временного разрешения в целом снижаются в связи с увеличением влияния местных факторов на формирование многолетних региональных и сезонных термических условий.

Ранее получена оценка связей в пространстве [13]. Из анализа пространственно-временных связей ПТВ и инсоляции Земли следует, что *изменения глобального климата Земли определяются естественными причинами*. Важнейшей из них является изменение наклона оси вращения и связанное с этим усиление межширотного теплообмена (усиление работы «тепловой машины первого рода») [12, 14]. Представления об антропогенном факторе изменения глобального климата в связи с полученными результатами не представляются убедительными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 11–26.
2. Будыко М.И. Радиационные факторы современных изменений климата // Известия АН СССР. Сер. географ. 1968. № 5. С. 36–41.
3. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 351 с.
4. Кондратьев К.Я. Радиационные факторы современных изменений глобального климата. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 279 с.
5. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. СПб.: Наука, 1992. 359 с.
6. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 260 с.
7. Малинин В.Н., Гордеева С.М. Изменчивость влагосодержания атмосферы над океаном по спутниковым данным // Исследование Земли из Космоса. 2015. № 1. С. 3–11.
8. Монин А.С. Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 246 с.
9. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физических наук. 2000. Т. 170, № 4. С. 419–445.
10. Фёдоров В.М. Периодические возмущения и малые вариации солярного климата Земли // Доклады РАН. 2014. Т. 457, № 2. С. 222–225.
11. Фёдоров В.М. Пространственные и временные вариации солярного климата Земли в современную эпоху // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14, № 1. С. 5–22.
12. Фёдоров В.М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. М.: Физматлит, 2017. 192 с.
13. Фёдоров В.М. Анализ пространственных откликов приповерхностной температуры воздуха на многолетнюю изменчивость инсоляции Земли // Жизнь Земли. 2017. Т. 39, № 3. С. 245–262.
14. Шулейкин В.В. Физика моря. М.: АН СССР, 1953. 990 с.
15. Электронный ресурс Международной группы экспертов по изменению климата (<http://www.ipcc.ch/>).
16. Электронный ресурс Университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>).

REFERENCES

1. Alekseev G.V. The manifestation and amplification of global warming in the Arctic region. *Fundamental'naja i prikladnaja klimatologija*. **1**, 11–26 (2015) (in Russian).
2. Budyko M.I. Radiation factors of current climate change. *Izvestija AN SSSR. Serija geograficheskaja*. **5**, 36–41 (1968) (in Russian).
3. Budyko M.I. *The past and future climate*. 351 p. (Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980) (in Russian).
4. Kondrat'ev K.Ja. *Radiation factors of modern global climate changes*. 279 p. (Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980) (in Russian).
5. Kondrat'ev K.Ja. *Global climate*. 359 p. (S.-Peterburg: Nauka, 1992) (in Russian).
6. Lorenc Je.N. *The origin and theory of the global atmospheric circulation*. 260 p. (Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970) (in Russian).
7. Malinin V.N., Gordeeva S.M. The variability of the atmospheric water vapor content over ocean from satellite data. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. **1**, 3–11 (2015) (in Russian).
8. Monin A.S. *Introduction to the theory of climate*. 246 p. (Leningrad: Gidrometeoizdat, 1982) (in Russian).
9. Monin A.S., Shishkov Ju.A. Climate as a problem of physics. *Uspehi fizicheskikh nauk*. **170** (4), 419–445 (2000) (in Russian).
10. Fedorov V.M. Periodic perturbations and small variations of the solar climate of the Earth. *Doklady RAN*. **457** (2), 222–225 (2014) (in Russian).
11. Fedorov V.M. Spatial and temporal variations of the solar climate of the Earth in the modern era. *Geofizicheskie processy i biosfera*. **14** (1), 5–22 (2015) (in Russian).
12. Fedorov V.M. *Insolation of the Earth and current climate change*. 192 p. (Moskva: Fizmatlit, 2017) (in Russian).
13. Fedorov V.M. Analysis of spatial responses of near-surface air temperature on the long-term variability of the Earth's insolation. *Zhizn' Zemli*. **39** (3), 245–262 (2017) (in Russian).
14. Shulejkin V.V. *Physics of the sea*. 990 p. (Moskva: AN SSSR, 1953) (in Russian).
15. *International Panel on Climate Change* (<http://www.ipcc.ch/>).
16. *University of East Anglia and Hadley Centre (UK Met Office)* (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>).