

ЖИЗНЬ ЗЕМЛИ

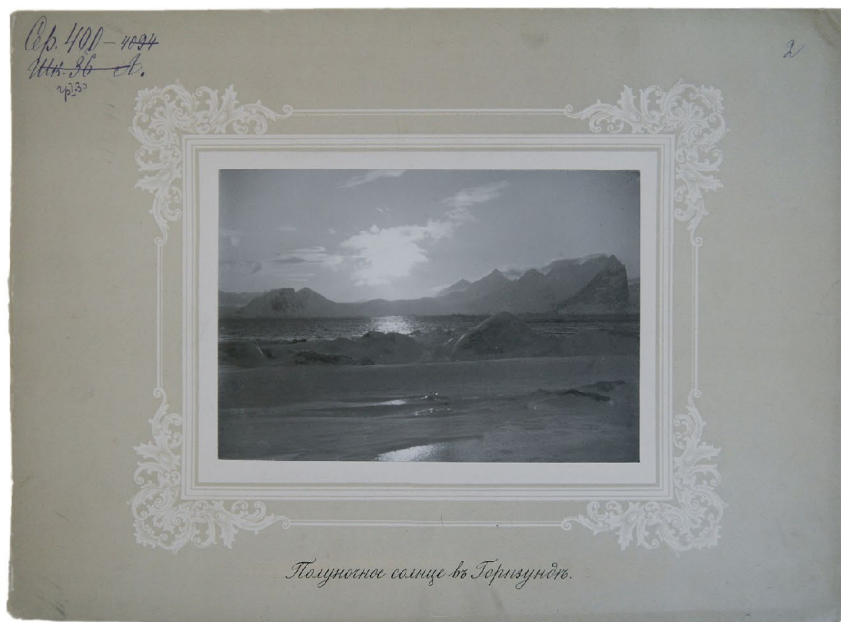
ISSN 0514-7468



39 (3) 2017



ИСТОРИЯ РОССИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ФОТОАРХИВА
МУЗЕЯ ЗЕМЛЕВЕДЕНИЯ МГУ: ШПИЦБЕРГЕН
(см. с. 296–310)



Полуночное солнце в заливе Горнзунд.



Русские зимовщики 1899/1900 г.



ЖИЗНЬ ЗЕМЛИ

ISSN 0514-7468

2017
Т. 39, № 3

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Выходит 4 раза в год
Издаётся с 1961 года

Редакционный совет:

В.А. Садовничий (председатель Совета), А.В. Смуров (зам. председателя Совета),
Н.А. Абакумова, А.П. Бужилова, М.И. Бурлыкина, И.Л. Ган, С.А. Добролюбов,
М.В. Калякин, Н.С. Касимов, М.П. Кирпичников, А.И. Клюкина, А.С. Орлов,
В.Е. Подольский, Д.Ю. Пушаровский, Н.Г. Рыбальский, В.В. Снакин, А.А. Федя-
нин, Э.И. Черняк, С.А. Шоба

Редакционная коллегия:

А.В. Смуров (гл. редактор), В.В. Снакин (зам. гл. редактора), Л.В. Алексеева
(отв. секретарь), Е.П. Дубинин, А.В. Иванов, В.В. Козодёров, Н.Н. Колотилова,
Е.С. Полковникова, Л.В. Попова, А.П. Садчиков, С.А. Слободов, В.Р. Хрисанов,
П.А. Чехович



ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2017

Адрес редакции:

119991, Москва, Ленинские Горы, МГУ,
Музей землеведения;
Тел.: +7 (495) 939-14-15; +7 (495) 939-12-21;
e-mail: zhizn_zemli@mail.ru
www: zhizn zemli.mes.msu.ru



**ZHIZN
ZEMLI**

ISSN 0514-7468

2017
V. 39 (3)

[THE LIFE OF THE EARTH]

It turns out 4 times a year
Published since 1961

INTERDISCIPLINARY SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

Editorial council:

V.A.Sadovnichy (Council Chairman), A.V.Smurov (deputy Chairman),
N.A.Abakumova, A.P.Buzhilova, I.L.Gan, M.I.Burlykina, S.A.Dobrolyubov,
M.V.Kalyakin, N.S.Kasimov, M.P.Kirpichnikov, A.I.Klyukina, A.S.Orlov,
V.E.Podolsky, D.Y.Pushcharovsky, N.G.Rybalskiy, V.V.Snakin, A.A.Fedyanin,
E.I.Chernyack, S.A.Shoba

Editorial team:

A.V.Smurov (Ch. Editor), V.V.Snakin (deputy Ch. Editor), L.V.Alekseeva
(Resp. Secretary), E.P.Dubinin, A.V.Ivanov, V.V.Kozoderov, N.N.Kolotilova,
E.S.Polkovnikova, L.V.Popova, A.P.Sadchikov, S.A.Slobodov, V.R.Khrisanov,
P.A.Chekhovich



PUBLISHING
Moscow State University
2017

Editorial address:

119991, Moscow, Leninskiye Gory, MGU,
Earth Science Museum;
Tel.: +7 (495) 939-14-15; 7 (495) 939-12-21;
e-mail: zhizn_zemli@mail.ru
www: zhizn zemli.mes.msu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР

Фёдоров В.М. Анализ пространственных откликов приповерхностной
температуры воздуха на многолетнюю изменчивость инсоляции Земли 245

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ МУЗЕОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Крупина Н.И., Присяжная А.А. Монографические палеонтологические
коллекции – часть общего мирового научного и культурного наследия 263

Иванов О.П., Винник М.А. Стенд «Климат» в экспозиции Музея
землеведения «Земля во Вселенной» 269

МУЗЕЙНАЯ ПЕДАГОГИКА

**Кирилина Е.М., Исаев В.С., Кошурников А.В., Аманжуров Р.Т.,
Гришакина Е.А., Шиманов А.А.** Палеонтологические материалы
Воркутинской инженерно-геокриологической практики геологического
факультета МГУ 278

Грибок М.В. Картографирование образа мира в представлении
старшеклассника (на основе анализа текста школьного учебника географии) 286

ИСТОРИЯ НАУКИ

Алексеева Л.В., Джобадзе Т.Ф. История России по материалам
фотоархива Музея землеведения МГУ: Шпицберген 296

**Козодёрв В.В., Ливеровская Т.Ю., Любченко О.В., Мякокина О.В.,
Никитина О.Г., Ромина Л.В.** Научное наследие Е.Д. Никитина 311

АКТУАЛЬНАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

Снакин В.В. Вымирание видов 321

ХРОНИКА. СОБЫТИЯ

Презентация «Национального атласа Арктики» (В.Р. Хрисанов) 338

Всероссийский научно-практический семинар «Инновационные
формы и методы работы музеев учреждений профессионального
образования» (О.Г. Почекина, М.М. Пикуленко) 339

X Всероссийская научно-практическая конференция «Стратегическое
развитие музея как центра науки, культуры, образования», Сыктывкар,
1–3 июня 2017 г. (Медиацентр VERBUM) 342

Экспедиция «Гагаринский плавучий университет-2017» (И.А. Исаев) 344

Соколы-сапсаны в МГУ (Т.Г. Смурова) 347

145 лет со дня рождения Алексея Алексеевича Борисяка (Е.М. Кирилишина, С.В. Молошиников)	348
170 лет со дня рождения палеонтолога Владимира Онуфриевича Ковалевского (1842–1883) (Л.В. Алексеева)	350
Потери науки: Евгений Дмитриевич Никитин (22.06.1939–15.05.2017)	352
КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ	354
TABLE OF CONTENTS	357

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР

УДК 3+502.52+55

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОТКЛИКОВ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА МНОГОЛЕТНЮЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНСОЛЯЦИИ ЗЕМЛИ

В.М. Фёдоров¹

Исследуются глобальные и региональные отклики многолетней изменчивости приповерхностной температуры воздуха на изменчивость инсоляции Земли. Показано, что изменчивость годовой приповерхностной температуры Земли и полушарий в основном определяется многолетней изменчивостью инсоляционной контрастности (ИК) Земли, связанной с изменением наклона оси её вращения. Многолетняя изменчивость приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) для Земли на 81,4 % (для северного полушария на 74,7, для южного полушария на 83,7 %) определяется многолетней изменчивостью ИК Земли и полушарий.

При увеличении пространственного разрешения отмеченные связи ослабевают в связи с усилением роли местных факторов, формирующих региональные термические режимы. В южной полярной области (55° ю. ш. – 90° ю. ш.) ослабление связи определяется влиянием Антарктиды, в северной полярной области (80° с. ш. – 90° с. ш.) – влиянием Арктики (суммарно это влияние проявляется на 9,9 % площади Земли). Без учёта Арктики и Антарктики, многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ (на 90,1 % площади Земли) на 53,9 % определяется многолетней изменчивостью ИК.

В летние в полушариях полугодия многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ в значительной степени определяется ИК, в зимние полугодия – инсоляцией. В зимнее для Южного полушария полугодие многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ (без учёта Антарктики) на 59,9 % определяется многолетней изменчивостью зимней инсоляции. В зимнее для Северного полушария (без учёта Арктики) полугодие многолетней изменчивостью инсоляции в среднем определяется 39,9 % многолетней изменчивости зимней аномалии ПТВ. В летнее для Южного полушария полугодие многолетней изменчивостью ИК в среднем определяется 52,5 % изменчивости летней аномалии ПТВ. В летнее для

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

Северного полушария полугодие изменчивостью ИК определяется 48,1 % много-летней изменчивости летней аномалии ПТВ.

Таким образом, изменения глобального климата Земли определяются естественными причинами, важнейшей из которых является изменение наклона оси вращения и связанное с этим усиление межширотного теплообмена, усиление работы «тепловой машины первого рода». Представления об антропогенном факторе изменения глобального климата в связи с полученными результатами не представляются убедительными.

Ключевые слова: инсоляция Земли, солярный климат, приповерхностная температура воздуха, корреляционный анализ, глобальные и региональные отклики.

THE ANALYSIS OF THE SPATIAL RESPONSES OF NEAR-SURFACE AIR TEMPERATURE TO THE LONG-TERM VARIABILITY OF SOLAR IRRADIANCE

V.M. Fedorov, PhD

Lomonosov Moscow State University (The Faculty of Geography)

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. The variation of the annual NSAT is mainly determined by the perennial variability of the irradiance contrast (IC) of the Earth, which, in its turn, relates to variations of the Earth's axial inclination. On average 81.4 % of the long-term variability of NSAT on Earth is determined by the perennial variability of IC of the Earth (for the northern hemisphere this coefficient makes up 74.7 %, for the southern hemisphere it equals 83.7 %).

With the extension of spatial resolution these links weaken due to the increasing role of local factors, forming regional temperature regimes. In the South Polar Region (55° S – 90° S) the weakening of the links is determined by the influence of the Antarctica. In its turn, the Arctic affects the North Polar Region (80° N – 90° N). Totally, this effect is observed over 9.9 % of the Earth's surface. Excluding the Arctic and Antarctica, the perennial variability of the annual anomaly of NSAT (over 90.1 % of the Earth's surface) is explained by the long-term variability of the Earth's solar irradiance.

In the summer half-year in the hemispheres the long-term variability of the semi-annual anomaly of NSAT is mainly determined by IC, while in the winter half-year the main factor of influence is solar irradiance. In the winter half-year in the Southern Hemisphere, 59.9 % of the perennial half-year variability of the NSAT anomaly (except the Antarctica) is determined by long-term variability of winter solar irradiance. In the winter half-year in the Northern Hemisphere (except the Arctic), the long-term variability of solar irradiance determines on average 39.9 % of the long-term variability of the winter NSAT anomaly. In the summer half-year in the Southern Hemisphere, on average 52.5 % of the variability of the summer NSAT anomaly is determined by the long-time variability of IC, while in the Northern Hemisphere this coefficient equals 48.1 %.

Thus, the changes of the global climate of the Earth 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 the 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, global and regional responses.

Введение. Солнечная радиация является основным источником энергии, определяющим радиационный и тепловой баланс Земли [1–3]. Лучистая энергия Солнца является основным источником энергии гидрометеорологических и многих других процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, на земной поверхности. Энергия Солнца является важнейшим фактором развития жизни на Земле, обеспечивающим необходимые для жизни термические условия и фотосинтез. Поэтому анализ связи многолетней изменчивости инсоляции Земли и её термического режима имеет важное значение для исследования происходящих в географической оболочке Земли процессов, причин формирования и изменения глобальных и региональных климатических условий существования жизни на планете.

В отличие от немногих известных расчётов инсоляции (приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной энергии), охватывающих диапазон высокочастотных вариаций [5–7, 18], наш метод расчёта учитывает эллипсоидальную форму Земли и изменение продолжительности периода её обращения вокруг Солнца [4, 8–12, 14]. Несмотря на имеющиеся результаты расчётов инсоляции с большим временным и пространственным разрешением и очевидность значимости солярного фактора, связи инсоляции и приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) исследованы недостаточно.

Основной целью работы является определение и анализ связи многолетних изменений аномалии ПТВ относительно климатической нормы 1961–90 гг. с инсоляцией Земли (Дж/м²) в пространственном (широтном) диапазоне.

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 1961–90 гг.) с разрешением по пространству 5 на 5 градусов. Нами рассматривался период достоверных данных с 1900 по 2014 гг. [13]. По этому массиву рассчитывались средние годовые, полугодовые и месячные значения аномалии ПТВ для Земли, полушарий и 5-ти градусных широтных зон. Данные по инсоляции (Дж/м²) рассчитывались автором совместно с А.А. Костиным [4, 14].

Методика расчёта инсоляции. Расчёты приходящей солнечной радиации выполнялись по данным астрономических эфемерид [15, 16] для всей поверхности Земли (без учёта атмосферы) в интервале с 3000 г. до н. э. по 2999 г. н. э. Исходными астрономическими данными для расчётов инсоляции были склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (среднего солнечного) и всемирного корректируемого времени (истинного солнечного). Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80 – Geodetic Reference System, 1980) с длинами полуосей, равными 6378 137 м (большие) и 6356 752 м (малые). В общем виде алгоритм расчётов 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 – приходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ – площадной множитель (м²), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал, $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$ – площадь бесконечно малой трапеции – ячеей-

ки эллипсоида; α – часовой угол, φ – 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 (Вт/м^2), t – время (с). Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1° , по широте 1° , по времени $1/360$ часть продолжительности тропического года [9]. Значение солнечной постоянной (среднее многолетнее значение TSI) принималось равным 1361 Вт/м^2 [4, 18]. Изменение активности Солнца не учитывалось. По результатам расчётов сформирована общедоступная база данных приходящей солнечной энергии во все широтные зоны Земли (протяжённостью в 5 градусов) за каждый астрономический месяц каждого года для периода от 3000 г. до н. э. до 2999 г. н. э. [14]. Эти данные использовались в качестве исходных значений инсоляции.

Многолетняя изменчивость инсоляции Земли и глобальной ПТВ. В результате корреляционного анализа обнаружена связь в многолетней изменчивости аномалии ПТВ Земли и полушарий с инсоляционной контрастностью (ИК). Для полушарий ИК рассчитывалась как разность солнечной энергии, приходящей в широтную область 0° – 45° и 45° – 90° (каждого полушария) за год. Для Земли в качестве ИК принималось среднее годовое значение инсоляционной контрастности, полученное для полушарий. ИК рассчитывалась по полученным нами значениям инсоляции Земли [4, 14].

Многолетняя изменчивость инсоляционной контрастности определяется изменением угла наклона оси вращения Земли в результате прецессии и нутации [9–12]. Изменение инсоляционной контрастности линейно связано с изменением угла наклона оси вращения Земли (рис. 1). Коэффициент корреляции на интервале от 1850 до 2050 гг. составляет $-0,998$.

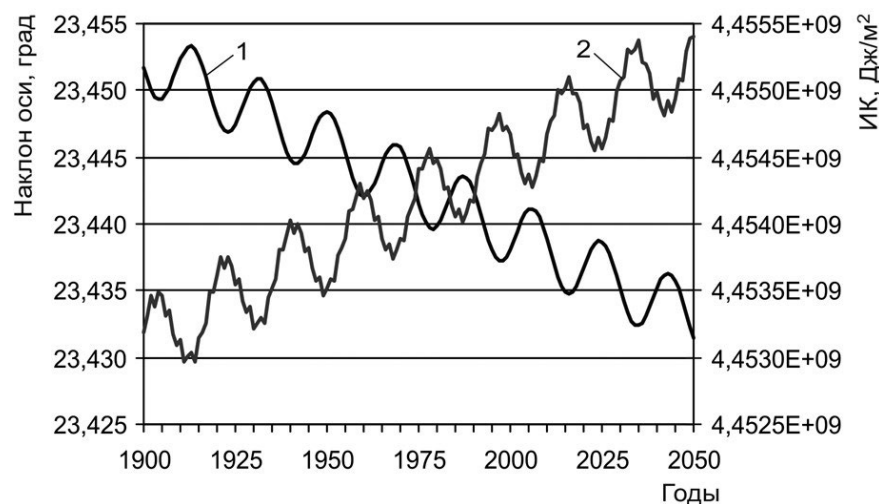


Рис. 1. Многолетняя изменчивость угла наклона оси вращения (1) и инсоляционной контрастности (2) Земли.

В связи с тем, что отмечаемая в инсоляции и ИК 19-летняя вариация [4, 14] в климатической системе глобально не проявляется, применялось сглаживание инсоляции и ИК по 21-летнему скользящему среднему. Многолетняя изменчивость в рядах ИК и

угла наклона оси на 83,0 % и 85,3 % соответственно определяется трендами. При сглаживании по 21-летнему скользящему среднему изменчивость в рядах ИК и наклона оси на 99,8 % и 99,9 %, соответственно, связана с трендами.

В исходных рядах изменчивость ПТВ Земли и полушарий также в основном определяется трендами (рис. 2). Коэффициент детерминации (R^2) показывает долю изменчивости ПТВ, определяемую трендом (полином второй степени).

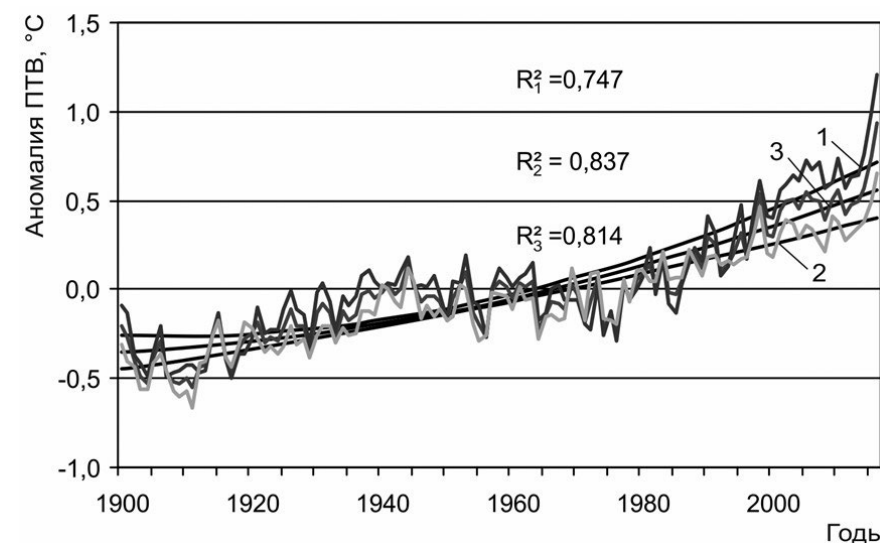


Рис. 2. Многолетняя изменчивость аномалии ПТВ Северного (1), Южного (2) полушария и Земли (3) [13].

Таким образом, чтобы объяснить многолетнюю изменчивость ПТВ Земли и полушарий, следует определить фактор, определяющий тренды в исходных рядах изменчивости глобальной температуры. Анализ показывает, что многолетняя изменчивость глобальной ПТВ характеризуется тесными положительными корреляционными связями с многолетней изменчивостью ИК и отрицательными с многолетней изменчивостью угла наклона оси. Значение коэффициента корреляции ИК и аномалии ПТВ Земли составляет 0,888, аномалии ПТВ северного полушария 0,833, аномалии ПТВ южного полушария 0,914. Следовательно, многолетняя изменчивость ПТВ Земли на 81,4 %, в северном полушарии на 74,7 %, в южном полушарии на 83,7 % определяется многолетней изменчивостью инсоляционной контрастности Земли и полушарий. Как отмечалось, тренд в изменении ИК определяется изменением угла наклона оси вращения Земли. Угол наклона регулирует, а ИК характеризует изменение (усиление или ослабление) работы «тепловой машины первого рода» – основного механизма межширотного теплообмена в климатической системе Земли (в системе океан – атмосфера) [4, 14].

Таким образом, многолетняя изменчивость аномалии глобальной ПТВ определяется многолетней изменчивостью ИК, связанной с изменением угла наклона оси вращения Земли. Далее мы проанализируем, как изменяются эти глобально проявляющиеся связи с увеличением пространственного разрешения.

Анализ связи многолетней изменчивости ПТВ в пяти градусных широтных зонах с инсоляцией и инсоляционной контрастностью Земли. В разделе анализиру-

ется связь многолетних изменений аномалии ПТВ в пяти градусных широтных зонах с многолетними изменениями инсоляции и инсоляционной контрастности Земли (годовой и полугодовой).

Связь многолетней изменчивости годовой аномалии ПТВ Земли в широтных зонах с многолетней изменчивостью годовой инсоляции Земли не обнаружена. Найдена связь многолетней изменчивости годовой аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью ИК Земли во всех пяти градусных широтных зонах (рис. 3). ИК для Земли рассчитывалась как среднее по полушариям значение разности годовой инсоляции широтной области 0°–45° (область – источник тепла) и области 45°–90° (область стока тепла).

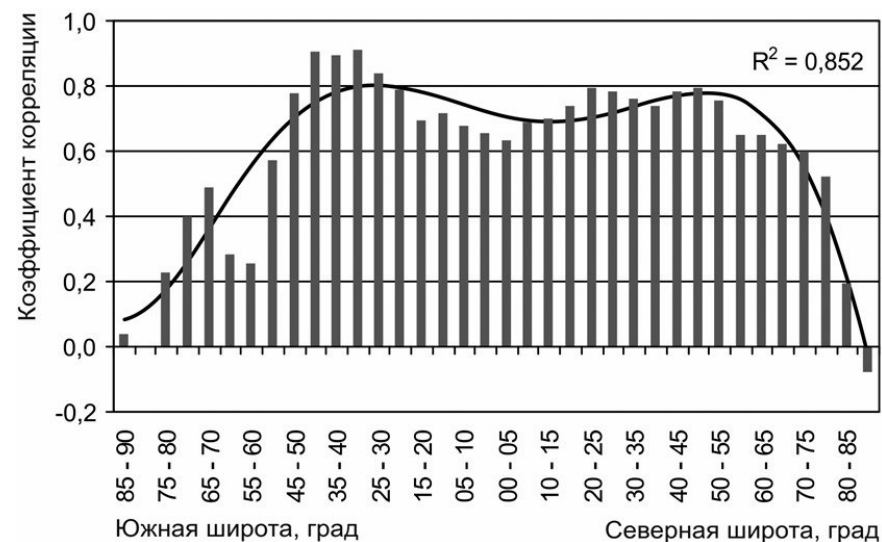


Рис. 3. Широтное распределение коэффициента корреляции многолетней изменчивости годовой аномалии ПТВ и годовой ИК.

Таким образом, отмечается корреляционная связь многолетних изменений аномалии ПТВ в отдельных широтных зонах с многолетней изменчивостью ИК Земли. На 90,1 % площади Земли связь годовой аномалии ПТВ с годовой ИК Земли характеризуется значениями коэффициента корреляции (R), превышающими 0,6. При этом в Северном полушарии значение R превышает 0,6 на 98,5 % площади, в Южном полушарии на 81,8 % площади. Высокие значения R отмечаются в обширной широтной области от 55° ю. ш. до 80° с. ш. Среднее значение R в этом диапазоне составляет 0,728. Низкие значения R отмечаются в областях Арктики (80° с. ш. – 90° с. ш.) и Антарктики (55° ю. ш. – 90° ю. ш.) и отражают значительное влияние подстилающей поверхности на многолетнюю изменчивость годовой аномалии ПТВ в полярных областях.

Многолетняя изменчивость полугодовых значений аномалии ПТВ в пяти градусных широтных зонах анализировалась в связи с полугодовой инсоляцией Земли и полугодовой ИК Земли (рис. 4, 5). За летнее в Северном полушарии полугодие принимался период с апреля по сентябрь, за зимнее полугодие – период с октября по март. При этом значения ИК Земли рассчитывались с учётом сезонного смещения областей источника и стока тепла (от зимнего в полушарии полугодия к летнему). При расчётах использовалась следующая схема сезонной локализации областей источника и стока

тепла в полушариях. В зимнее (в Северном полушарии) полугодие за область источника тепла в Южном полушарии принимался широтный диапазон от 10° ю. ш. до 55° ю. ш., за область стока тепла – широтный диапазон от 55° ю. ш. до 90° ю. ш. В Северном полушарии за область источника тепла принимался широтный диапазон от 10° ю. ш. до 35° с. ш., за область стока тепла – широтный диапазон от 35° с. ш. до 90° с. ш. В летнее (в Северном полушарии) полугодие за область источника тепла в Южном полушарии принимался широтный диапазон от 10° с. ш. до 35° ю. ш., за область стока тепла – широтный диапазон от 35° ю. ш. до 90° ю. ш. В Северном полушарии (в летнее для него полугодие) за область источника тепла принимался широтный диапазон от 10° с. ш. до 55° с. ш., за область стока тепла – широтный диапазон от 55° с. ш. до 90° с. ш.

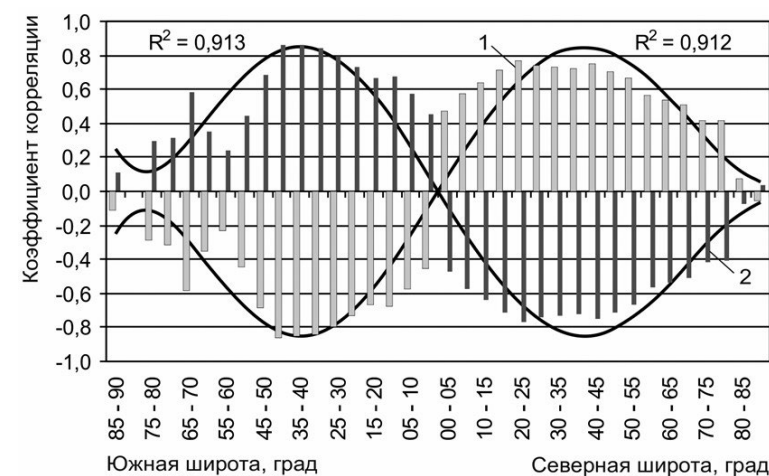


Рис. 4. Широтное распределение коэффициента корреляции многолетней изменчивости аномалии ПТВ с инсоляцией (1) и ИК (2) Земли в зимнее (для Северного полушария) полугодие. Аппроксимация – полиномы 6-й степени.

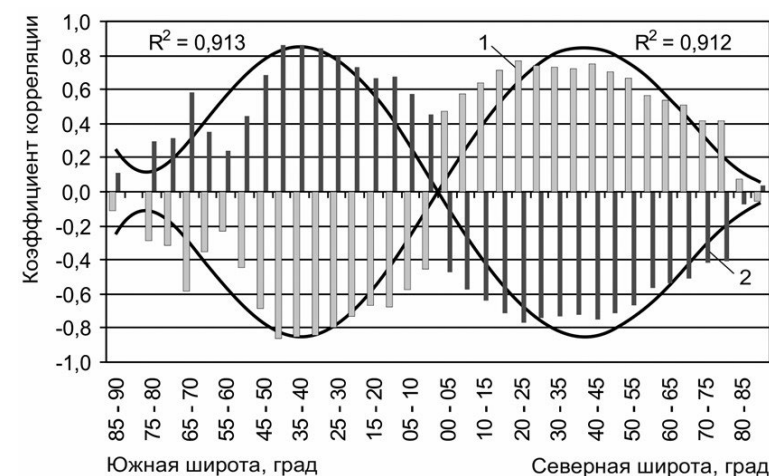


Рис. 5. Широтное распределение коэффициента корреляции многолетней изменчивости аномалии ПТВ с инсоляцией (1) и ИК (2) Земли в летнее (для Северного полушария) полугодие. Аппроксимация – полиномы 6-й степени.

Таким образом, в зимнем полушарии многолетнее изменение аномалии ПТВ в широтных зонах в основном определяется многолетней изменчивостью полугодовой инсоляции – положительная корреляция. При этом среднее значение R в зимнее в Северном полушарии полугодие в широтном диапазоне от экватора до 80° с. ш. (т. е. кроме Арктики) составляет 0,620. В зимнее в Южном полушарии полугодие значение R в диапазоне от экватора до 55° ю. ш. (т. е. кроме Антарктики) составляет 0,749.

В летнем полушарии многолетние изменения ПТВ в широтных зонах определяются многолетней изменчивостью полугодовой ИК – положительная корреляция. Среднее значение R для летнего Северного полушария в диапазоне от экватора до 80° с. ш. (т. е. кроме Арктики) также составляет 0,620. Для летнего Южного полушария значение R в диапазоне от экватора до 55° ю. ш. (т. е. кроме Антарктики) составляет 0,690.

Следует отметить, что многолетняя изменчивость полугодовой инсоляции и ИК связаны обратной линейной зависимостью (рис. 6). ИК несколько различается по полушариям только в зимние полугодия (рис. 6 в).

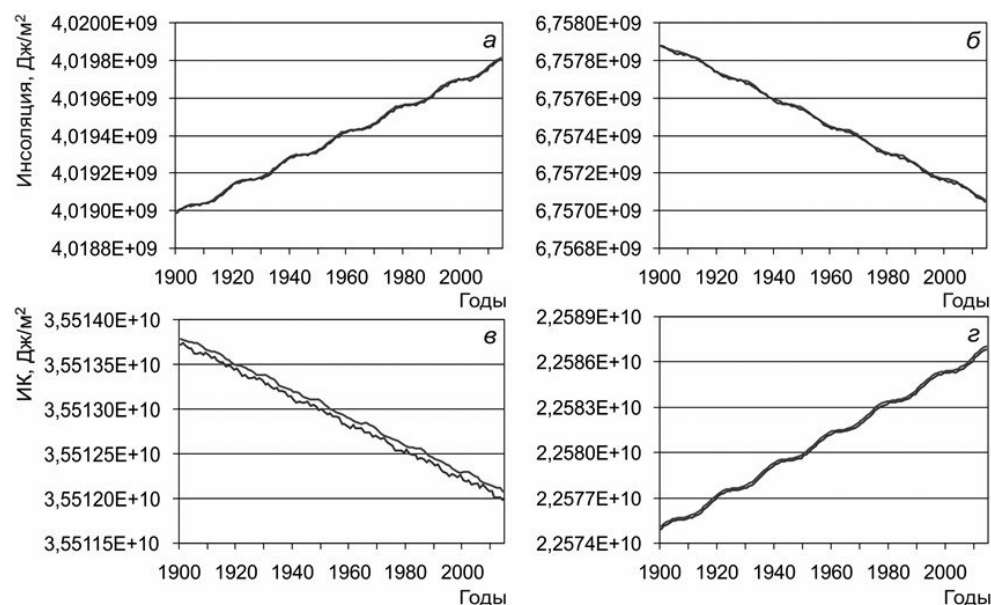


Рис. 6. Многолетняя изменчивость полугодовой инсоляции и ИК в полушариях: а – многолетняя изменчивость инсоляции в зимние для полушарий полугодия; б – многолетняя изменчивость инсоляции в летние для полушарий полугодия; в – изменение ИК в зимние для полушарий полугодия; г – изменение ИК в летние для полушарий полугодия.

Отмеченная связь многолетней изменчивости аномалии ПТВ в широтных зонах Земли с многолетней изменчивостью инсоляции и ИК определяется тенденциями изменения солнечного климата Земли [4, 8–12, 14]. Для современного солнечного климата Земли характерны две основные тенденции: усиление меридиональной контрастности (увеличение инсоляции в экваториальной области и сокращение в полярных районах, т. е. увеличение ИК) и сглаживание сезонных различий (увеличение инсоляции в зимние полугодия и сокращение в летние). Таким образом, в зимние для полушарий полугодия инсоляция увеличивается, а ИК уменьшается. В летние для полушарий по-

лугодия отмечается обратная картина, инсоляция уменьшается, а ИК увеличивается (рис. 6). Многолетняя изменчивость годовой ИК Земли связана с изменением угла наклона оси вращения Земли обратной линейной зависимостью (рис. 1), а многолетняя изменчивость инсоляции прямой линейной зависимостью. Следовательно, многолетняя изменчивость инсоляции и ИК, а также связанная с ней многолетняя изменчивость аномалии ПТВ в широтных зонах определяются изменением угла наклона оси вращения Земли.

Для оценки связи многолетней изменчивости аномалии ПТВ с инсоляцией и ИК Земли использовался коэффициент детерминации (R^2), показывающий долю изменчивости аномалии ПТВ, определяемую трендами изменения инсоляции и ИК (табл. 1).

Таблица 1. Оценка связи многолетней изменчивости аномалии ПТВ в широтных зонах с инсоляцией и ИК Земли (R^2)

Широтные зоны, град.	Инсоляция		Инсоляционная контрастность		
	Зимнее полугодие в ЮП	Зимнее полугодие в СП	Летнее полугодие в ЮП	Летнее полугодие в СП	Год
1	2	3	4	5	6
85–90 ю. ш.	0,001		0,012		0,002
80–85	-		-		-
75–80	0,023		0,086		0,051
70–75	0,039		0,100		0,162
65–70	0,224		0,340		0,239
60–65	0,047		0,124		0,081
55–60	0,120		0,057		0,064
50–55	0,303		0,201		0,327
45–50	0,568		0,475		0,607
40–45	0,689		0,737		0,820
35–40	0,767		0,735		0,799
30–35	0,830		0,708		0,826
25–30	0,678		0,628		0,704
20–25	0,614		0,539		0,626
15–20	0,455		0,444		0,481
10–15	0,502		0,456		0,510
05–10	0,431		0,329		0,457
00–05	0,456		0,203		0,426
00–05		0,224		0,455	0,404
05–10		0,334		0,503	0,473
10–15		0,410		0,459	0,488
15–20		0,507		0,481	0,547
20–25		0,586		0,557	0,633

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
25–30		0,549		0,583	0,616
30–35		0,535		0,560	0,582
35–40		0,524		0,458	0,546
40–45		0,567		0,469	0,613
45–50		0,502		0,547	0,627
50–55		0,442		0,526	0,567
55–60		0,317		0,408	0,426
60–65		0,291		0,503	0,424
65–70		0,259		0,443	0,386
70–75		0,170		0,398	0,359
75–80		0,170		0,351	0,273
80–85		0,005		0,067	0,039
85–90 с.ш.		0,003		0,140	0,006
Среднее	0,397	0,355	0,363	0,439	0,434

Из значений, приведённых в правом столбце таблицы, видно, что в полярных областях связь многолетней изменчивости годовой аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью ИК слабая. В южной полярной области (55° ю. ш. – 90° ю. ш.) эта связь нарушается влиянием Антарктиды, в северной полярной области (80° с. ш. – 90° с. ш.) влиянием Арктики (суммарно это влияние проявляется на 9,9 % площади Земли).

В широтной области от 55° ю. ш. до 80° с. ш. (т. е. без учёта Арктики и Антарктики) многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ на 90,1 % площади Земли на 53,9 % определяется многолетней изменчивостью ИК. В диапазоне от 50° ю. ш. до 65° с. ш. 57,4 % многолетней изменчивости аномалии ПТВ определяется многолетней изменчивостью ИК (это 83,5 % площади Земли). В Южном полушарии (на площади 81,8 %) в широтном диапазоне от 55° ю. ш. до экватора многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ в среднем на 59,9 % определяется многолетней изменчивостью ИК (от 50° ю. ш. до экватора – на 62,6 %). В Северном полушарии в широтном диапазоне от экватора до 80° с. ш. (98,5 % площади Северного полушария) многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ в среднем на 49,8 % определяется многолетней изменчивостью ИК.

В Южном полушарии в диапазоне от 20° ю. ш. до 50° ю. ш. многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ в среднем на 73,0 % определяется многолетней изменчивостью ИК (это 42,4 % площади полушария). Наиболее тесная связь отмечается в широтной зоне 30° ю. ш. – 35° ю. ш., где 82,6 % изменчивости годовой аномалии ПТВ определяются многолетней изменчивостью годовой ИК. В Северном полушарии в диапазоне от 25° с. ш. до 50° с. ш. (34,4 % площади полушария) многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ на 60,3 % определяется многолетней изменчивостью ИК. Наиболее тесная связь отмечается в широтной зоне 20° с. ш. – 25° с. ш., в которой многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ на 63,3 % определяется многолетней изменчивостью годовой ИК.

В летние в полушариях полугодия многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ (среднемесечное для широтной зоны значение аномалии за полугодие) в значительной степени определяется ИК, в зимние полугодия – инсоляцией. В летнее в южном полушарии полугодие многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ в среднем на 49,6 % (в диапазоне от 55° ю. ш. до экватора, т. е. без учета Антарктиды, 81,8 % площади полушария) определяется многолетней изменчивостью полугодовой ИК. В широтном диапазоне 20° ю. ш. – 45° ю. ш. (36,6 % площади полушария) многолетняя изменчивость аномалии ПТВ на 66,9 % определяется многолетней изменчивостью полугодовой ИК этого полушария. Наиболее тесная связь отмечается в диапазоне 35° ю. ш. – 45° ю. ш., в котором изменчивость аномалии ПТВ более чем на 73 % определяется многолетней изменчивостью ИК. В Северном полушарии в летнее для него полугодие многолетняя изменчивость аномалии ПТВ в среднем на 43,9 % определяется многолетней изменчивостью ИК, без учета Арктики – на 48,1 %. В широтном диапазоне 20°–55° с. ш. (47,7 % площади полушария) многолетней изменчивостью ИК определяется 52,9 % многолетней изменчивости полугодовой (летней) аномалии ПТВ. Максимальная связь отмечается в широтной зоне 25° с. ш. – 30° с. ш., где многолетняя изменчивость летней аномалии ПТВ в среднем на 58,3 % определяется многолетней изменчивостью ИК.

В зимнее в Северном полушарии полугодие многолетние изменения аномалии ПТВ определяются многолетней изменчивостью инсоляции в среднем на 35,5 %, в диапазоне от экватора до 80° с. ш. (98,5 % площади полушария) на 39,9 %. В широтном диапазоне 15° с. ш. – 50° с. ш. (50,7 % площади полушария) многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ в среднем на 53,9 % определяется многолетней изменчивостью зимней инсоляции этого полушария. Наиболее тесная связь в зимнее полугодие в Северном полушарии отмечается в широтной зоне 20° с. ш. – 25° с. ш., где многолетняя изменчивость зимней аномалии ПТВ в среднем на 58,6 % определяется многолетней изменчивостью зимней инсоляции. В зимнее в Южном полушарии полугодие многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ определяется инсоляцией в среднем 39,7 % многолетней изменчивости зимней (для этого полушария) инсоляции. В области вне Антарктики – в среднем на 49,7 %. В широтном диапазоне от 20° ю. ш. до 50° ю. ш. (42,4 % площади) многолетняя изменчивость зимней аномалии ПТВ в среднем на 69,1 % определяется многолетней изменчивостью зимней инсоляции. Наиболее тесно в это время переменные связаны в широтной зоне 30° ю. ш. – 35° ю. ш., где многолетней изменчивостью зимней инсоляции определяется 83 % изменчивости зимней аномалии ПТВ.

В целом без учета Арктики (80° с. ш. – 90° с. ш.) и Антарктики (55° ю. ш. – 90° ю. ш.) в зимнее для Южного полушария полугодие многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ в среднем на 59,9 % определяется многолетней изменчивостью зимней для этого полушария инсоляции. В зимнее для Северного полушария полугодие многолетней изменчивостью инсоляции в среднем определяется 39,9 % многолетней изменчивости зимней аномалии ПТВ. В летнее для Южного полушария полугодие многолетней изменчивостью ИК в среднем определяется 52,5 % многолетней изменчивости летней аномалии ПТВ. В летнее для Северного полушария полугодие многолетней изменчивостью ИК определяется 48,1 % многолетней изменчивости летней аномалии ПТВ (табл. 1).

Анализ связи многолетних изменений аномалии ПТВ с многолетними изменениями инсоляции в соответствующих широтных зонах. Проанализирована связь

многолетней изменчивости годовой и полугодовой аномалии ПТВ в отдельных 5-ти градусных широтных зонах с многолетней изменчивостью инсоляции соответствующих 5-ти градусных широтных зон.

В области источника тепла (45° с. ш. – 45° ю. ш.) связь характеризуется положительными значениями коэффициента корреляции, превышающими 0,6 во всем диапазоне ($83,1\%$ площади Земли). Минимальные значения R отмечаются вблизи экватора (0,634). Максимальные значения коэффициента корреляции локализованы вблизи тропиков (рис. 7). Среднее значение R в области с положительной связью составляет 0,75. Полученный характер широтного распределения R связан с тенденцией усиления меридиональной контрастности в солярном климате Земли: увеличением инсоляции в экваториальной области и сокращением инсоляции в полярных районах [4, 12, 14].

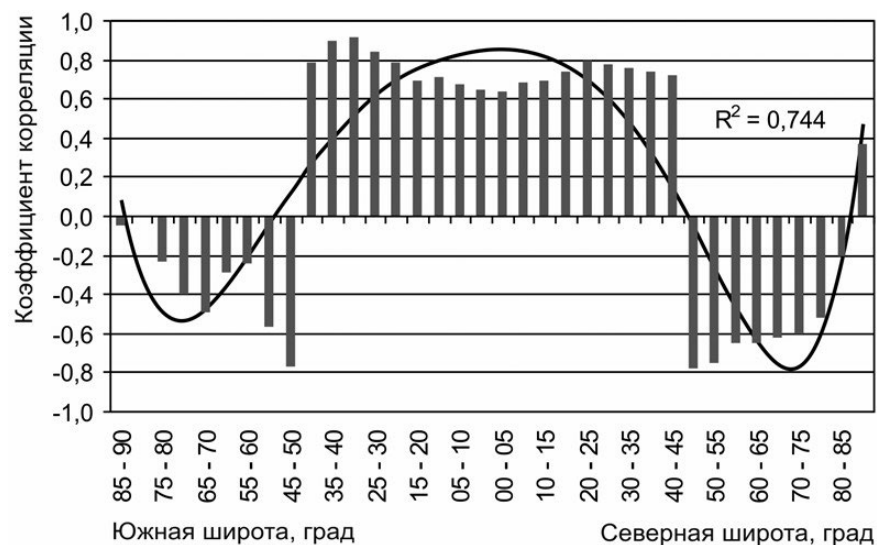


Рис. 7. Распределение коэффициента корреляции годовой аномалии ПТВ и инсоляции соответствующих широтных зон (Дж/м²).

Проведен корреляционный анализ многолетних значений полугодовой аномалии ПТВ в отдельных широтных зонах с инсоляцией (Дж/м²) соответствующих широтных зон за летнее и зимнее полугодие. За зимнее в Северном полушарии полугодие принимался период с октября по март, за летнее в Северном полушарии полугодие – период с апреля по сентябрь (в южном полушарии наоборот). Временные ряды охватывают период с 1900 по 2014 гг., анализировались ряды, не содержащие пропусков данных.

Проведённый анализ показывает, что связь многолетней изменчивости зимней аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью зимней инсоляции (для соответствующих широтных зон) положительна. Связь многолетней изменчивости летней аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью летней инсоляции в соответствующих широтных зонах отрицательна (рис. 8).

Полученный характер широтного распределения R связан с тенденцией сглаживания сезонных различий в солярном климате Земли [4, 12, 14].

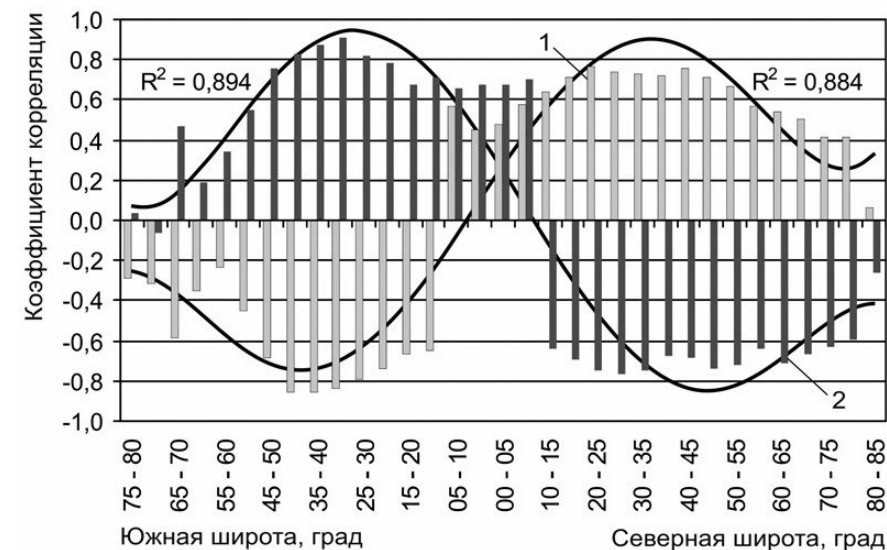


Рис. 8. Широтное распределение значений коэффициента корреляции полугодовой аномалии ПТВ с многолетней изменчивостью полугодовой инсоляции в соответствующих широтных зонах: 1 – зимнее полугодие для Северного полушария; 2 – летнее полугодие для Северного полушария.

В зимнее (для Северного полушария) полугодие положительная связь отмечается в широтном диапазоне от 10° ю. ш. до северного географического полюса. Связь изменения зимней аномалии ПТВ с инсоляцией соответствующих широтных зон в Арктике (80° с. ш. – 90° с. ш.) слабая. Среднее значение коэффициента корреляции для области с положительными связями, за исключением Арктики, 0,608. Площадь этой области составляет $57,9\%$ от площади Земли. Максимальное значение R отмечается в зоне 20° с. ш. – 25° с. ш. и составляет 0,765.

В летнее (для Северного полушария) полугодие область положительных связей охватывает широтный диапазон от 10° с. ш. до южного географического полюса. Связь в широтном диапазоне 55° ю. ш. – 90° ю. ш. слабая (влияние Антарктики). Среднее значение R для области от 55° ю. ш. до 10° с. ш. составляет 0,739, что заметно выше, чем отмеченное для зимнего полугодия (0,608). Максимальное значение R (0,901) отмечается в широтной зоне 30° ю. ш. – 35° ю. ш. Площадь области от 55° ю. ш. до 10° с. ш. составляет $49,5\%$ площади Земли.

Таким образом, в зимние для полушарий полугодия многолетние изменения аномалии ПТВ в основном определяются многолетней изменчивостью инсоляции соответствующих широтных зон (рис. 8, табл. 2).

Как видно из таблицы, многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ наиболее тесно связана с многолетней изменчивостью инсоляции в двух широтных диапазонах. В Северном полушарии этот диапазон охватывает область от 15° с. ш. до 50° с. ш. ($50,7\%$ площади полушария). Здесь многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ в широтных зонах в среднем на $61,9\%$ определяется многолетней изменчивостью инсоляции соответствующих широтных зон. Наиболее тесная связь в Северном полушарии отмечается в широтной зоне 45° с. ш. – 50° с. ш., где многолетняя измен-

Таблица 2. Оценка связи (R^2) многолетней изменчивости аномалии ПТВ с инсоляцией соответствующих широтных зон

Широтные зоны, град	Инсоляция		
	Зимнее полугодие в СП	Летнее полугодие в СП	Год
50–55 ю. ш.		0,303	
45–50		0,568	0,624
40–45		0,688	0,801
35–40		0,766	0,834
30–35		0,829	0,706
25–30		0,677	0,622
20–25		0,614	0,480
15–20		0,455	0,508
10–15		0,502	0,453
05–10	0,325	0,431	0,423
00–05	0,203	0,455	0,403
00–05	0,224	0,452	0,469
05–10	0,335	0,488	0,486
10–15	0,411		0,542
15–20	0,507		0,627
20–25	0,586		0,611
25–30	0,549		0,576
30–35	0,535		0,542
35–40	0,524		0,527
40–45	0,567		0,624
45–50	0,502		0,801
50–55	0,442		
55–60	0,317		
60–65	0,291		
65–70	0,259		
70–75	0,170		
75–80	0,169		
Среднее	0,384	0,556	0,568

чивость годовой аномалии ПТВ на 80,1 % определяется многолетней изменчивостью годовой инсоляции. В Южном полушарии диапазон тесных связей менее значителен – от 25° ю. ш. до 50° ю. ш. (34,4 % площади полушария). Здесь многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ в широтных зонах в среднем на 71,7% определяется много-

летней изменчивостью инсоляции соответствующих широтных зон. Наиболее тесная связь в Южном полушарии отмечается в диапазоне 35° ю. ш. – 40° ю. ш., где многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ на 83,4 % определяется многолетней изменчивостью годовой инсоляции этой зоны.

В зимнее в Северном полушарии полугодие тесная связь изменения аномалии ПТВ и инсоляции отмечается для широтной области от 15° с. ш. до 55° с. ш. (56,0 % площади полушария). Здесь многолетняя изменчивость зимней аномалии ПТВ в широтных зонах в среднем на 53,9 % определяется многолетней изменчивостью инсоляции. Наиболее тесная связь в это полугодие отмечается в широтной зоне 20° с. ш. – 25 с. ш., где многолетняя изменчивость зимней аномалии ПТВ на 58,6 % определяется изменчивостью зимней инсоляции.

В зимнее в Южном полушарии полугодие тесная связь отмечается в области 20° ю. ш. – 45° ю. ш. (36,5 % площади полушария). Здесь многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ в среднем на 71,5 % определяется изменением инсоляции. Наиболее тесная связь в это время отмечается в широтной зоне 30° ю. ш. – 35° ю. ш., где 82,9 % изменчивости аномалии ПТВ определяются изменчивостью инсоляции.

Таким образом, в зимние для полушарий полугодия многолетние изменения аномалии ПТВ в основном определяются многолетней изменчивостью инсоляции соответствующих широтных зон.

Выводы

1. Многолетняя изменчивость глобальной ПТВ (Земли и полушарий) в основном определяется трендами, которые тесно связаны с изменением инсоляционной контрастности Земли и полушарий, определяемым изменением угла наклона оси вращения Земли в результате прецессии и нутации. Многолетняя изменчивость ПТВ Земли на 81,4 %, в Северном полушарии на 74,7 %, в Южном полушарии на 83,7 % определяется многолетней изменчивостью инсоляционной контрастности Земли и полушарий.

2. Проведённый анализ региональных связей показывает, что в полярных областях связь многолетней изменчивости годовой аномалии ПТВ и многолетней изменчивости ИК слабая. В южной полярной области (55° ю. ш. – 90° ю. ш.) эта связь нарушается влиянием Антарктиды, в северной полярной области (80° с. ш. – 90° с. ш.) влиянием Арктики (суммарно это влияние проявляется на 9,9 % площади Земли). В широтной области от 55° ю. ш. до 80° с. ш. (т. е. без учета Арктики и Антарктики) многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ на 90,1 % площади Земли на 53,9 % определяется многолетней изменчивостью ИК. В летние в полушариях полугодия многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ в значительной степени определяется ИК, в зимние полугодия – инсоляцией. В целом (без учета Антарктики) в зимнее для Южного полушария полугодие многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ в среднем на 59,9 % определяется многолетней изменчивостью зимней для этого полушария инсоляции. В зимнее для Северного полушария (без учета Арктики) полугодие многолетней изменчивостью инсоляции в среднем определяется 39,9 % многолетней изменчивости зимней аномалии ПТВ. В летнее для Южного полушария полугодие многолетней изменчивостью ИК в среднем определяется 52,5 % многолетней изменчивости летней аномалии ПТВ. В летнее для Северного полушария полугодие многолетней изменчивостью ИК определяется 48,1 % многолетней изменчивости летней аномалии ПТВ.

3. Многолетняя изменчивость годовой аномалии ПТВ в широтных зонах в среднем на 56,8 % определяется многолетней изменчивостью инсоляции соответствующих зон. В зимнее в Южном полушарии полугодие многолетняя изменчивость полугодовой аномалии ПТВ на 55,6 % определяется зональной инсоляцией, в зимнее в Северном полушарии полугодие – на 38,4 %.

4. Поскольку солнечная радиация является основным источником тепла на Земле, найденные корреляционные связи являются и причинно-следственными и, в основном, отражают известные тенденции изменения солнечного климата Земли в настоящее время: усиление межширотной контрастности и сглаживание сезонных различий [4, 12, 14]. С тенденциями современного солнечного климата Земли связаны найденные соотношения в многолетней изменчивости аномалии ПТВ и многолетней изменчивости инсоляции и ИК в пространстве. Отмеченные достаточно высокие характеристики связи в изменении глобальной ПТВ с инсоляцией и ИК при увеличении пространственного разрешения (от климатического к синоптическому масштабу) в целом снижаются в связи с увеличением влияния иных (например, циркуляционные процессы, неоднородность подстилающей поверхности и др.) факторов на формирование многолетних и сезонных региональных термических условий.

Наиболее важным в проблеме исследования и прогнозирования изменений глобального климата Земли, его температурного режима, является вопрос о причинах, вызывающих эти изменения. В настоящее время широкое распространение получило предположение, что основной причиной изменения глобального климата является изменение парникового эффекта планеты, связанное с увеличением содержания углекислого газа в атмосфере в результате деятельности человека (использования углеводородного топлива и т. д.). В то же время не подвергается сомнению то, что основным источником тепла на Земле является приходящая от Солнца лучистая энергия. Найденные в результате проведенных исследований связи глобальной ПТВ с инсоляцией доказывают, что, во-первых, многолетняя изменчивость ПТВ в основном определяется трендом, и, во-вторых, что этот тренд определяется многолетней изменчивостью инсоляции, связанной с изменением наклона оси вращения Земли. Таким образом, изменения глобального климата Земли определяются естественными причинами, важнейшей из которых является изменение наклона оси вращения и связанное с этим усиление межширотного теплообмена, усиление работы «тепловой машины первого рода» [14]. Представления об антропогенном факторе изменения глобального климата в связи с полученными результатами не представляются убедительными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев К.Я. Радиационные факторы современных изменений глобального климата. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 279 с.
2. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 260 с.
3. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физических наук. 2000. Т. 170, № 4. С. 419–445.
4. Фёдоров В.М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. М.: Физматлит, 2017. 192 с.
5. Berger A., Loutre M.F., Yin Q. Total irradiation during any time interval of the year using elliptic integrals // Quaternary science reviews. 2010. V. 29. P. 1968–1982. DOI: 10.1016/j.quascirev.2010.05.07.

6. Bertrand C., Loutre M.F., Berger A. High frequency variations of the Earth's orbital parameters and climate change // Geophysical research letters. 2002. V. 29, № 18. P. 40-1–40-3. DOI: 10.1029/2002GL015622.
7. Borisenkov E. P., Tsvetkov A. V., Agaponov S. V. On some characteristics of insolation changes in the past and the future // Climatic Change. 1983. № 5. P. 237–244.
8. Fedorov V.M. Interannual Variability of the Solar Constant // Solar System Research. 2012. V. 46, № 2. P. 170–176. DOI: 10.1134/S0038094612020049.
9. 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.
10. Fedorov V.M. Latitudinal variability of incoming solar radiation in various time cycles // Doklady Earth Sciences. 2015. V. 460, part 1. P. 96–99. DOI: 10.1134/S1028334X15010183.
11. Fedorov V.M. Periodic perturbations and small variations of the solar climate of the Earth // Doklady Earth Sciences. 2014. V. 457, part 1. P. 869–872.
12. Fedorov V.M. Spatial and temporal variation in solar climate of the Earth in the present epoch // Izvestiya, Atmospheric and oceanic physics. 2015. V. 51, № 8. P. 779–791. DOI: 10.1134/S0001433815080034.
13. <http://www.metoffice.gov.uk>
14. <http://www.solar-climate.com>
15. <http://ssd.jpl.nasa.gov>
16. 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., Wimerly R.N. JPL's On-Line Solar System Data Service // Bulletin of the American Astronomical Society. 1996. V. 28(3). P. 1158.
17. Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // Geophysical Research Letters. 2011. V. 37. L01706. DOI: 10.1029/2010GL045777.
18. Loutre M.F., Berger A., Bretagnon E., Blanc P.-L. Astronomical frequencies for climate research at the decadal to century time scale // Climate dynamics. 1992. V. 7. P. 181–194.

REFERENCES

1. Kondratiev K.Ya. Radiation factors of modern global climate changes. 279 p. (Leningrad: Gidrometizdat, 1980) (in Russian).
2. Lorenz E.N. The nature and theory of the general circulation of the atmosphere. 260 p. (Leningrad: Gidrometizdat, 1970) (in Russian).
3. Monin A.S., Shishkov Yu.A. Climate as a problem in physics. Uspekhi fizicheskikh nauk. 170 (4), 419–445 (2000) (in Russian).
4. Fedorov V.M. Earth's insolation and change in the present climate. 192 p. (Moscow: Fizmatlit, 2017) (in Russian).
5. Berger A., Loutre M.F., Yin Q. Total irradiation during any time interval of the year using elliptic integrals. Quaternary science reviews. 29, 1968–1982 (2010). DOI: 10.1016/j.quascirev.2010.05.07.
6. Bertrand C., Loutre M.F., Berger A. High frequency variations of the Earth's orbital parameters and climate change. Geophysical research letters. 29 (18), 40-1–40-3 (2002). DOI: 10.1029/2002GL015622.
7. Borisenkov E. P., Tsvetkov A. V., Agaponov S. V. On some characteristics of insolation changes in the past and the future. Climatic Change. 5, 237–244 (1983).
8. Fedorov V.M. Interannual Variability of the Solar Constant. Solar System Research. 46 (2), 170–176 (2012). DOI: 10.1134/S0038094612020049.
9. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year. Doklady Earth Sciences. 451 (1), 750–753 (2013). DOI: 10.1134/S1028334X13070015.

10. Fedorov V.M. Latitudinal variability of incoming solar radiation in various time cycles. *Doklady Earth Sciences*. **460** (1), 96–99 (2015). DOI: 10.1134/S1028334X15010183.
11. Fedorov V.M. Periodic perturbations and small variations of the solar climate of the Earth. *Doklady Earth Sciences*. **457** (1), 869–872 (2014).
12. Fedorov V.M. Spatial and temporal variation in solar climate of the Earth in the present epoch. *Izvestiya, Atmospheric and oceanic physics*. **51** (8), 779–791 (2015). DOI: 10.1134/S0001433815080034.
13. <http://www.metoffice.gov.uk>
14. <http://www.solar-climate.com>
15. <http://ssd.jpl.nasa.gov>
16. 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*. **28**(3), 1158 (1996).
17. Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. *Geophysical Research Letters*. **37**, L01706 (2011). DOI: 10.1029/2010GL045777.
18. Loutre M.F., Berger A., Bretagnon E., Blanc P-L. Astronomical frequencies for climate research at the decadal to century time scale. *Climate dynamics*. **7**, 181–194 (1992).