

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ МЕРИДИОНАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ИНСОЛЯЦИИ НА ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА

Фёдоров В.М., Фролов Д.М.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
fedorov.msu@mail.ru, denisfrolov@mail.ru

Вариации приходящей к Земле солнечной радиации в основном определяются двумя причинами, имеющими различную физическую природу. Одной из причин является изменение активности в излучении Солнца. Другая причина связана с небесно-механическими процессами, изменяющими элементы земной орбиты и наклон оси вращения [2]. Под солярным климатом Земли понимается рассчитываемое теоретически поступление и распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы (БГА) или на поверхности Земли без учета атмосферы [2]. При этом изменение активности Солнца не учитывается.

Инсоляция рассчитывалась с большим пространственным и временным разрешением [4, 7, 8]. Расчеты выполнялись по данным высокоточных астрономических эфемерид [9] для всей поверхности Земли (без учета атмосферы) в интервале с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э. 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 (УТ). 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:

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

где I – приходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ – площадной множитель (m^2), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$ – площадь бесконечно малой трапеции – ячейки 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. Значение солнечной постоянной (среднее многолетнее значение TSI) принималось равным 1361 Вт/м^2 . Изменение активности Солнца не учитывалось [4, 8].

Годовое поступление к Земле солнечной радиации за 5999 лет сокращается всего на $0,005\%$ [6 – 8]. Однако, отмечается увеличение инсоляции в экваториальной области ($0,25\%$) и сокращение в полярных районах ($2,73\%$) – тенденция усиления широтной контрастности в солярном климате (рис. 1, 2). Отмечается сокращение инсоляции в летние для полушарий полугодия ($2,9\%$) и увеличение в зимние ($3,75\%$) – проявляется тенденция сглаживания сезонных различий в солярном климате Земли (рис. 3).

Из-за неравномерности в распределении солнечной радиации на поверхности Земли возникает меридиональный градиент инсоляции (МГИ) [1, 3]. Получено изменение годового МГИ за 5998 лет (рис. 4). Максимумы увеличения локализованы вблизи полярных кругов (60° – 70° широты – годовые «зоны турбулентности»). Отмеченные «зоны турбулентности» совпадают с районами максимального развития внетропических циклонов (циклогенеза) в полушариях [1, 3]. Увеличение годового МГИ приходится на области локализации циркуляционных ячеек Хедли и Ферреля в атмосфере. Уменьшение годового МГИ приходится на области полярных ячеек.

Определены многолетние изменения МГИ для зимнего и летнего (в северном полушарии) полугодия (рис. 5). Значения МГИ максимально увеличиваются в зимнее (для северного полушария) полугодие в широтной зоне 15° – 20° ю.ш. ($11,8\%$) и максимально сокращаются в зоне 10° – 15° ю.ш. ($17,8\%$). В летнее (для северного полушария) полугодие максимальное увеличение ($11,8\%$) отмечается в широтной зоне 10° – 15° с.ш., максимальное сокращение ($17,8\%$) в широтной зоне 5° – 10° с.ш. Таким образом, в летних полушариях выделяются сезонные «зоны турбулентности» расположенные в широтном диапазоне 5° – 20° градусов широты. Здесь в соседних 5-ти градусных широтных зонах отмечаются максимальные расхождения в тенденциях изменения летнего МГИ. Сезонные «зоны турбулентности» совпадают с областями генерации тропических циклонов (80% которых формируется в пределах диапазона 10° – 20° широты (рис. 6)). С вихревым переносом энергии связана работа «тепловой машины первого рода», механизма меридионального переноса тепла из низких широт в высокие (рис. 7). В полярных областях (полярные циркуляционные ячейки) в зимние полугодия в полушариях отмечается увеличение МГИ, в летние полугодия сокращение.

Полученное среднее распределение годового МГИ сравнивалось с меридиональным распределением среднего годового переноса энергии в системе океан – атмосфера приведенным в работах Лоренца [1] и Пальмена, Ньютона [3] (рис. 8). Коэффициент корреляции между средними значениями годового МГИ и значениями переноса энергии в системе океан – атмосфера составил $0,98$ (линейная связь). При этом численные значения переноса энергии в системе океан – атмосфера в работах [1, 3] в среднем в 6–7 раз, превосходят значения МГИ, что может быть связано с участием в переносе энергии в системе океан – атмосфера водных и воздушных масс.

Поскольку перенос энергии в системе океан – атмосфера определяется МГИ, то и полученные для него особенности могут проявляться и в системе океан – атмосфера (возрастание интенсивности циркуляции в ячейках общей циркуляции атмосферы, усиление вихревого переноса энергии и климатической турбулентности). Отмечается для современной эпохи особенности солярного климата Земли связаны с уменьшением наклона оси вращения Земли в результате прецессии [2, 7, 8].

В результате корреляционного анализа определена связь многолетних изменений аномалии ПТВ Земли и полушарий с многолетними изменениями инсоляционной контрастности (ИК). Для полушарий ИК рассчитывалась как разность солнечной радиации приходящей в широтную область 0° – 45° (источник тепла) и 45° – 90° (стока тепла) за год. Для Земли в качестве ИК принималось среднее годовое значение ИК, полученное для полушарий. ИК рассчитывалась по полученным нами значениям инсоляции Земли [4, 5]. ИК, таким образом, обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает изменение МГИ. Многолетние изменения ИК определяются изменением угла наклона оси вращения Земли в результате прецессии и нутации [5 – 7] (рис. 9) Изменение ИК линейно связано с изменением угла наклона оси вращения Земли (коэффициент корреляции составляет $-0,998$).

Изменения ПТВ и ТПО Земли и полушарий в основном учитываются трендами (рис. 10). Коэффициент детерминации (R^2) показывает долю изменений ПТВ определяемую трендом (полином второй степени). Следовательно, чтобы объяснить тенденции многолетних изменений глобальной температуры следует определить фактор, определяющий тренды в исходных рядах ПТВ и ТПО. Анализ показывает, что многолетние изменения глобальной ПТВ и ТПО характеризуются тесными положительными корреляционными связями с многолетними изменениями ИК и отрицательными с многолетними изменениями угла наклона оси. (табл. 1).

Таким образом, определяются естественные причины изменения современного глобального климата. Основной из них является изменение наклона оси вращения Земли, регулирующее распределение приходящей к Земле солнечной радиации по широтам и сезонам и интенсивность меридионального теплообмена (работы «тепловой машины первого рода») (рис. 11).

Литература

- Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 260 с.
- Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.–Л.: ГОНТИ, 1939. 208 с.
- Пальмен Э. Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 616 с.
- 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
- Федоров В.М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. М.: Физматлит, 2018. 232 с.
- 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/GPB2019.3-8
- 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
- Fedorov V.M., Frolov D.M. Spatial and temporal variability of solar radiation arriving at the top the atmosphere // Cosmic Research, 2019. V. 57. № 3. Pp. 156 – 162. DOI: 10.1134/S0010952519030043
- <http://ssd.jpl.nasa.gov> – NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США.

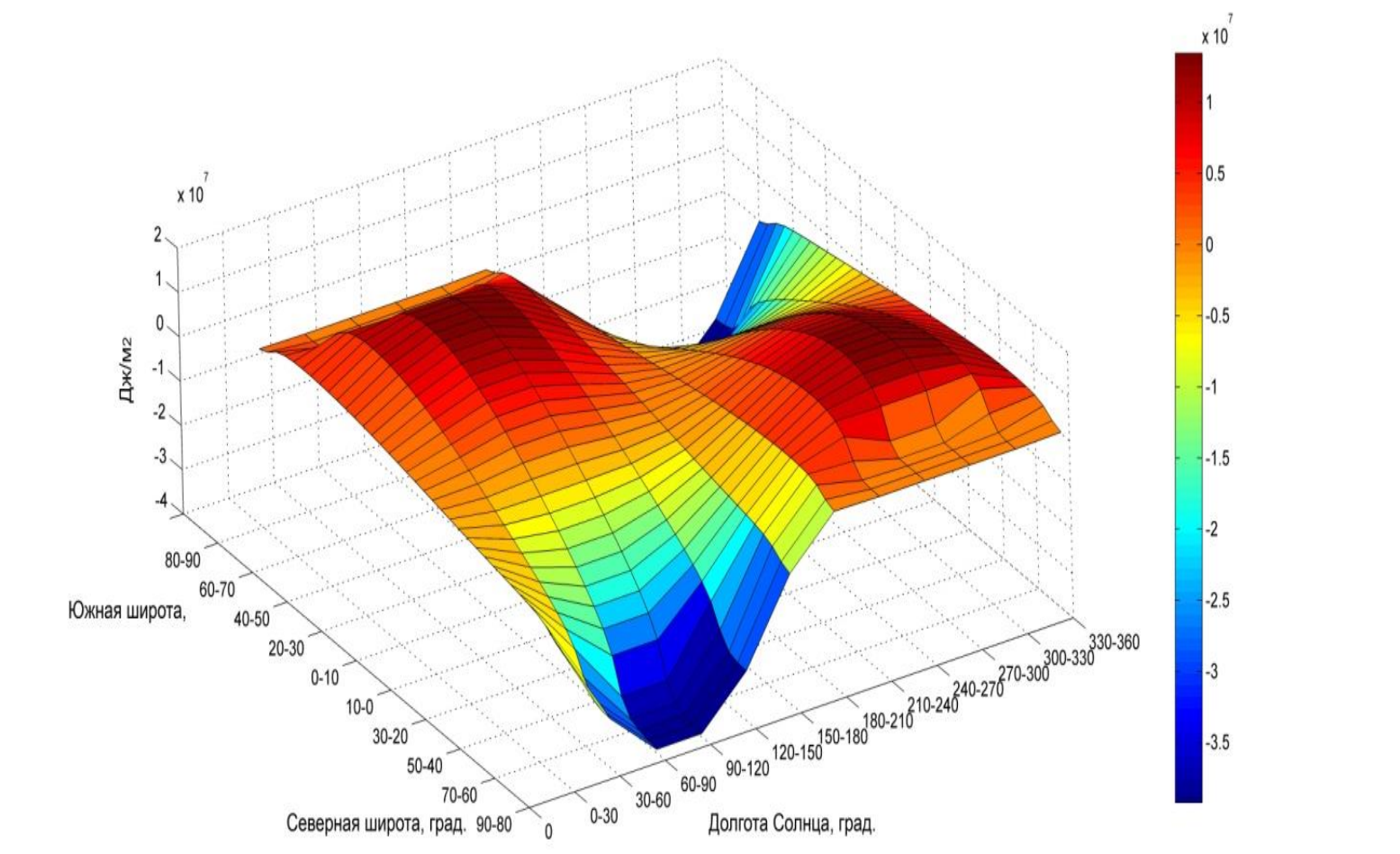


Рис. 1. Пространственно – временные изменения инсоляции Земли (без учета атмосферы) в интервале с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э.

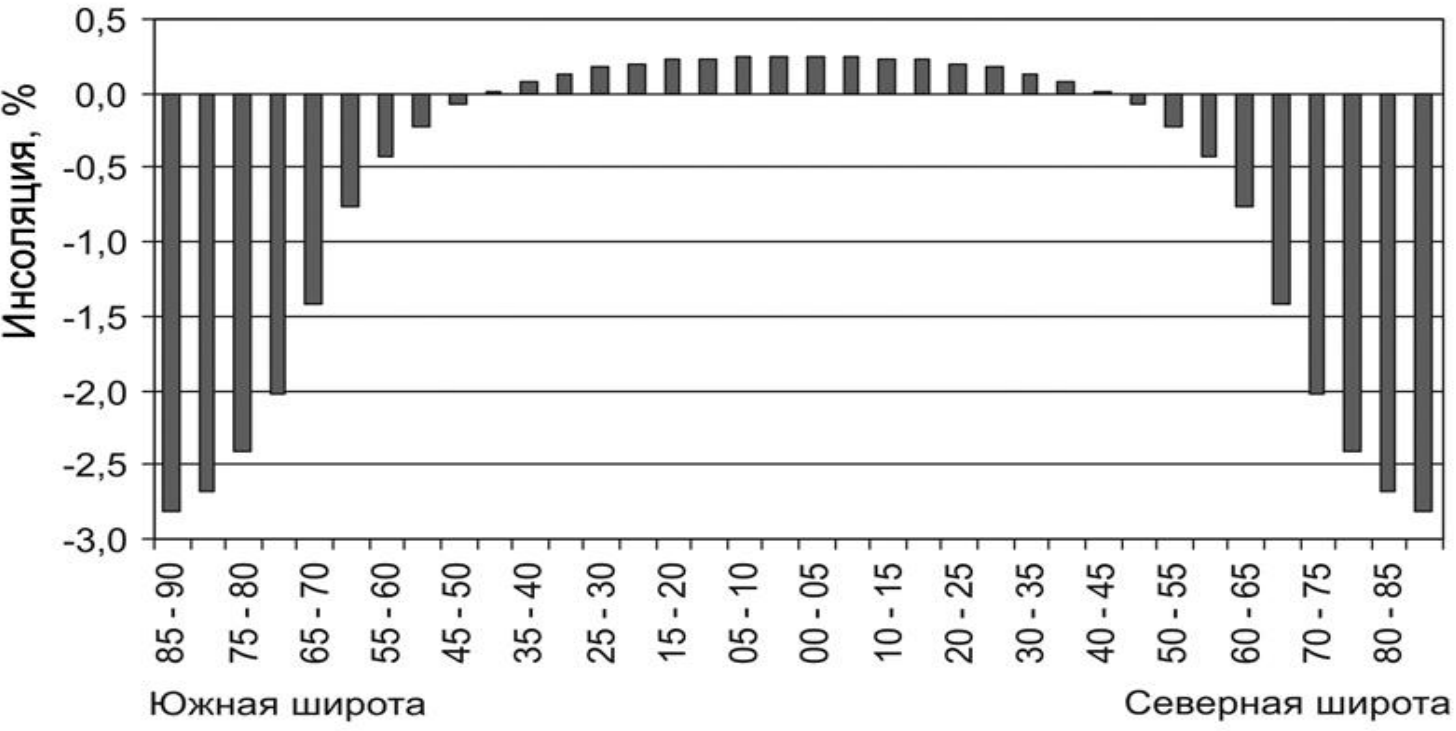


Рис. 2. Изменение годовой инсоляции в широтных зонах Земли в интервале с 3000 г. до н.э. по 2999 г.

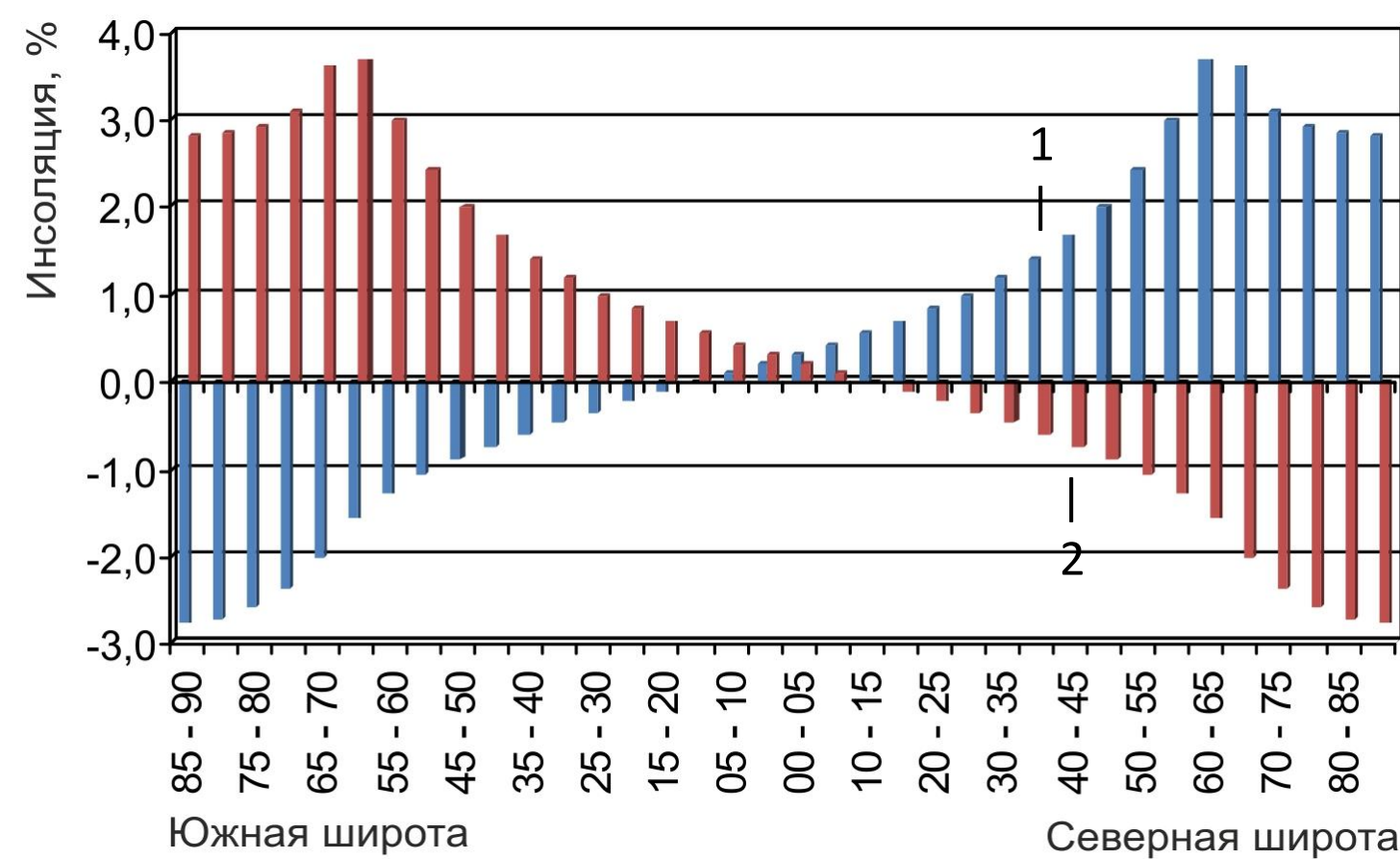


Рис. 3. Изменение инсоляции в широтных зонах Земли (3000 г. до н.э. – 2999 г. н.э.) в зимнее (1) и летнее (2) полугодие (для северного полушария).

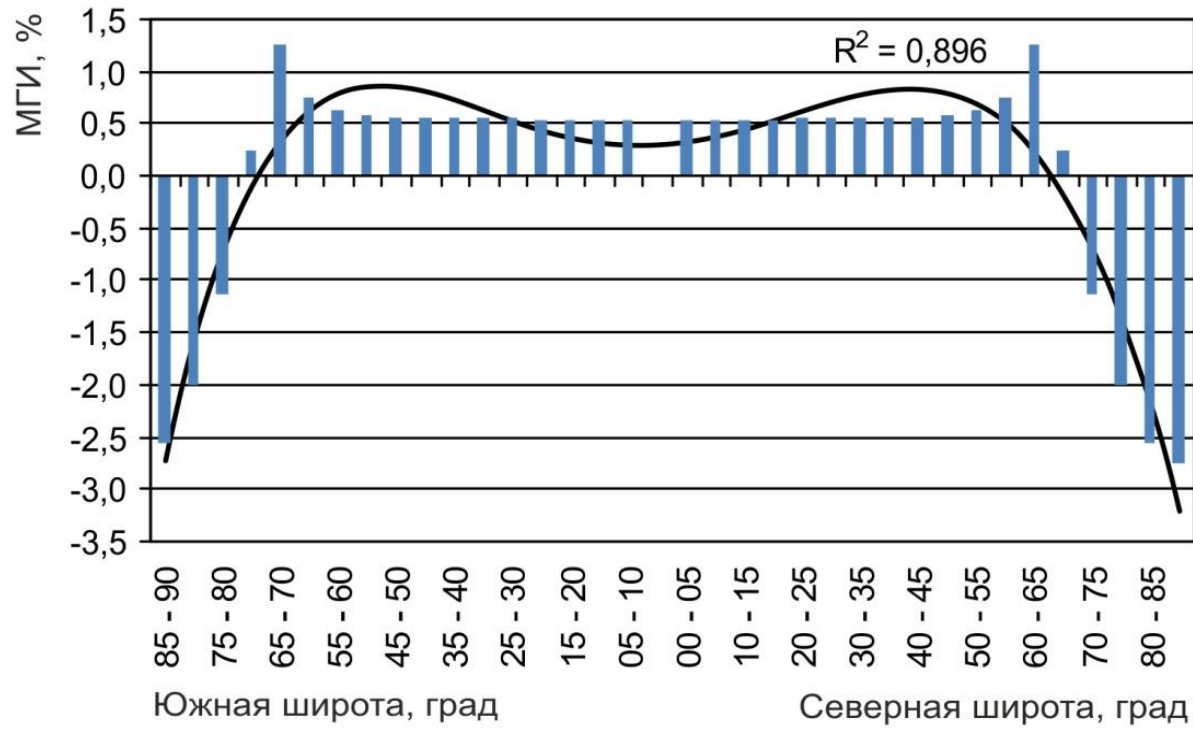


Рис. 4. Изменение годового МГИ за 5999 лет (в процентах от среднего для широтной зоны значения)

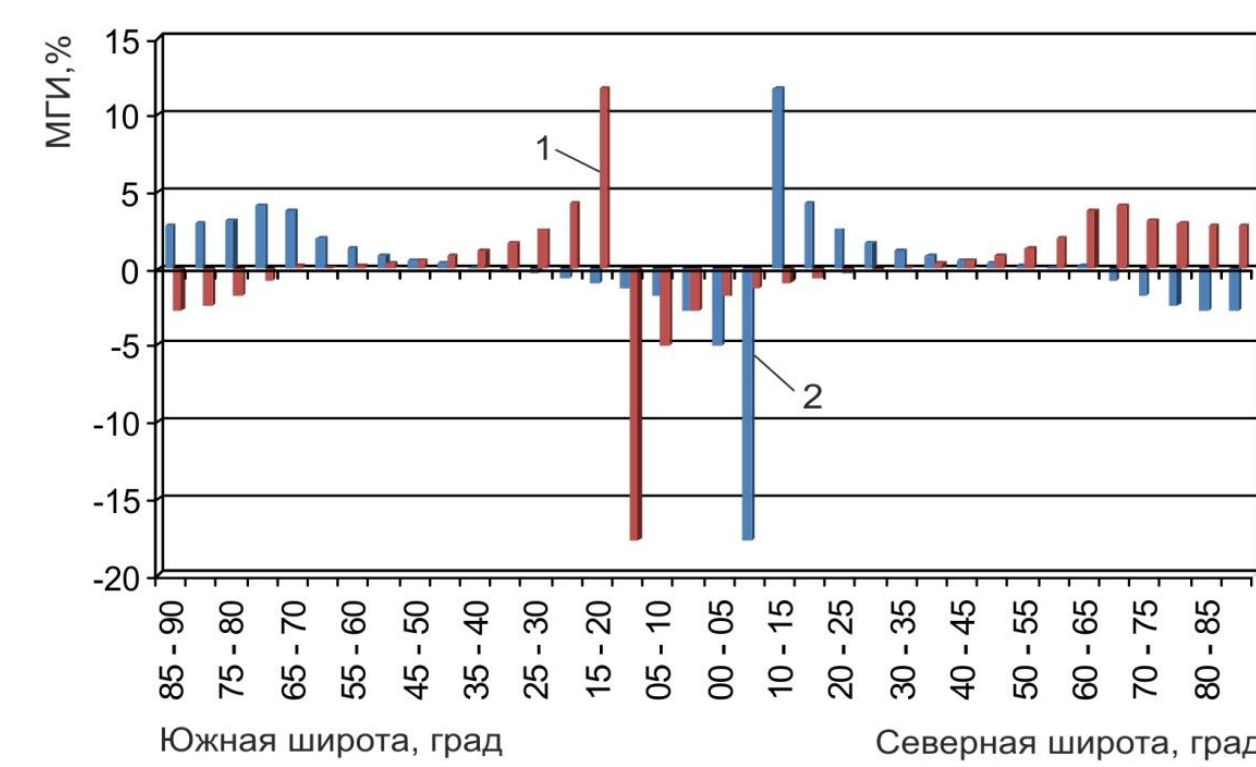


Рис. 5. Изменение полугодового МГИ в зимнее (1) и летнее (2) полугодие для северного полушария за 5998 лет (в процентах от среднего для широтной зоны значения)

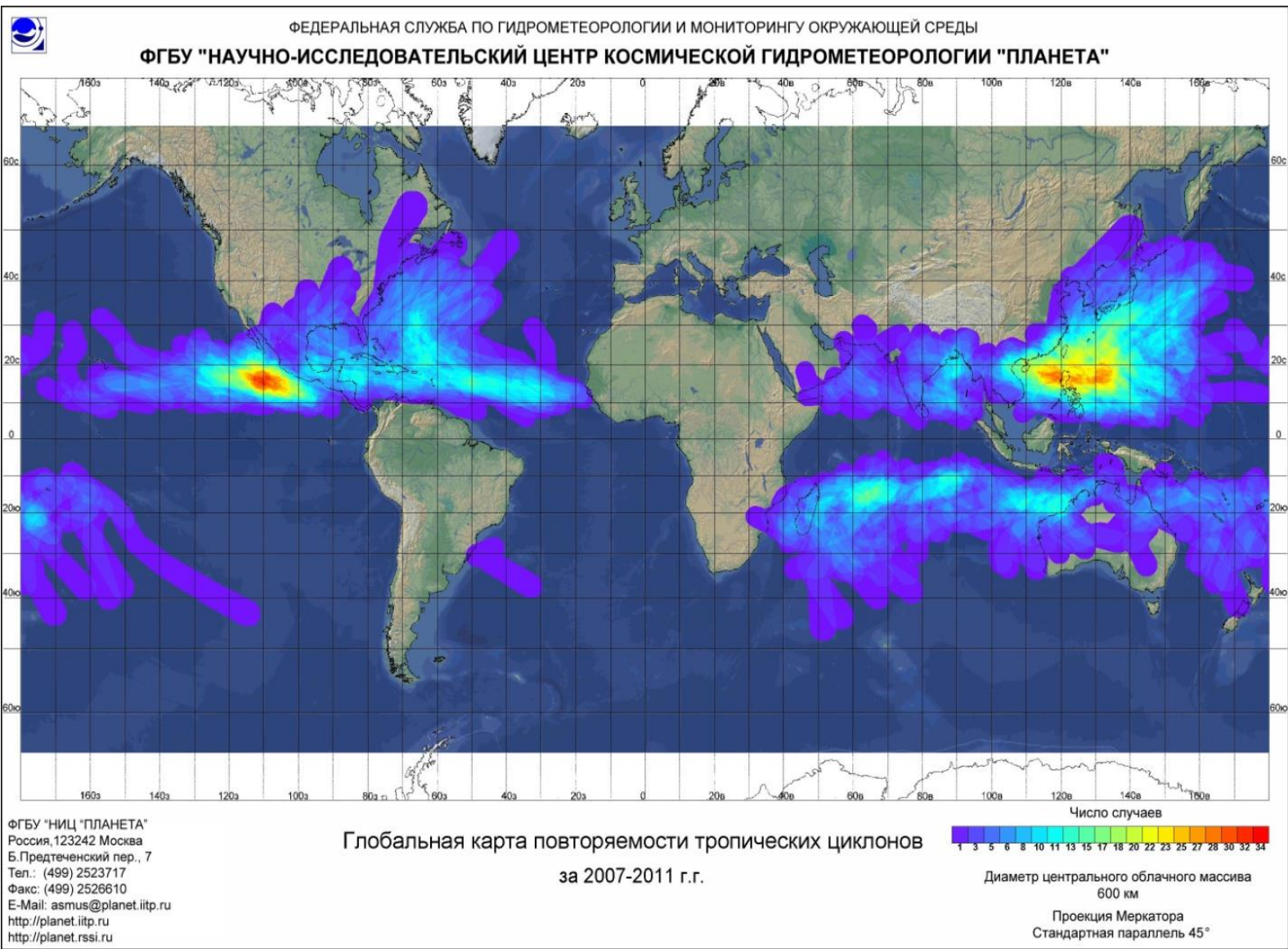


Рис. 6. Карта повторяемости тропических циклонов (за 5 лет) (http://planet.iitp.ru/Oper_pr/tc_data/tc_data_1.htm).

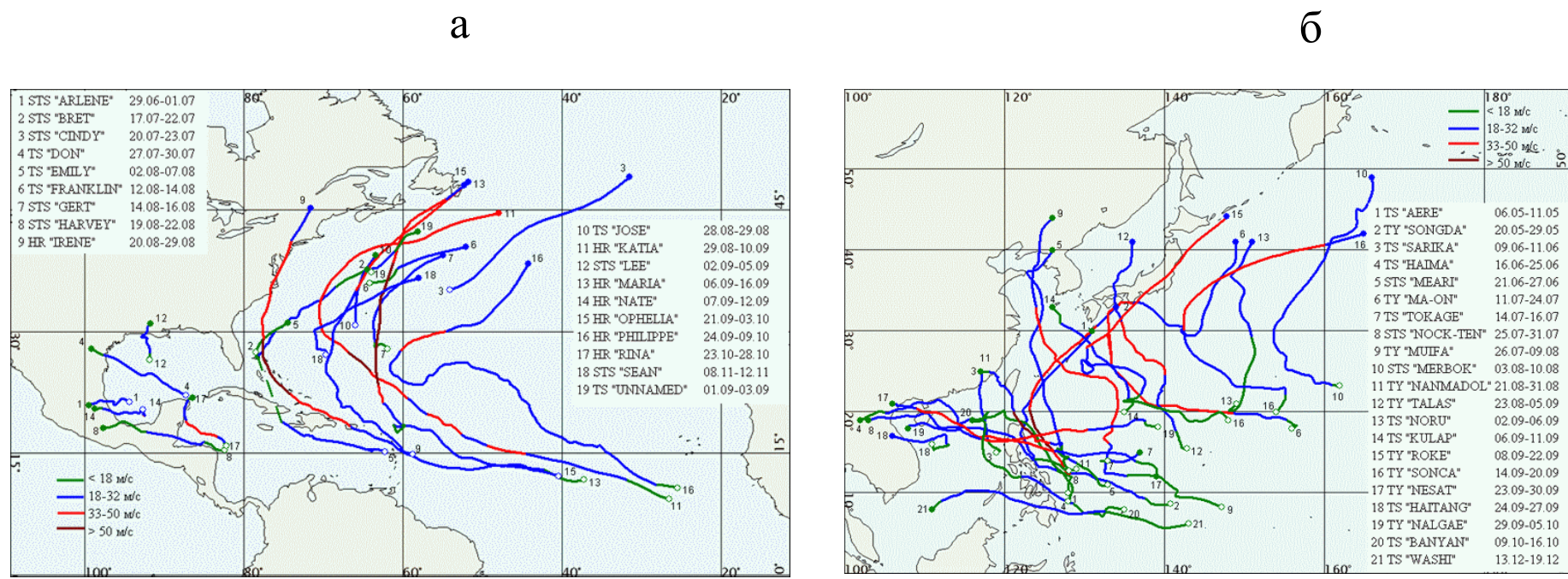


Рис. 7. Траектории тропических циклонов в 2011 году в Атлантическом (а) и Тихом (б) океане (<http://meteoinfo.ru>)

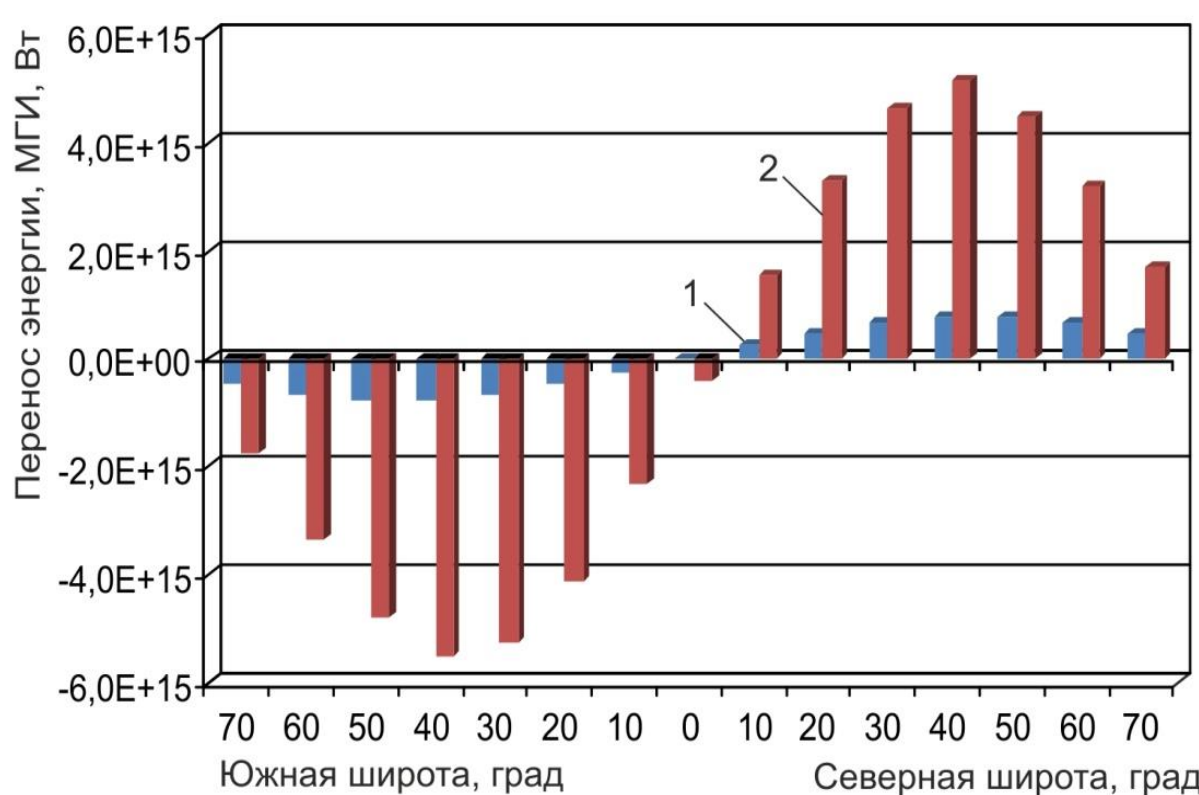


Рис. 8. Среднее многолетнее значение меридионального градиента инсоляции МГИ (1) и средний годовой перенос энергии в системе океан – атмосфера (2) (Лоренц, 1970; Пальмен, Ньютон, 1973).

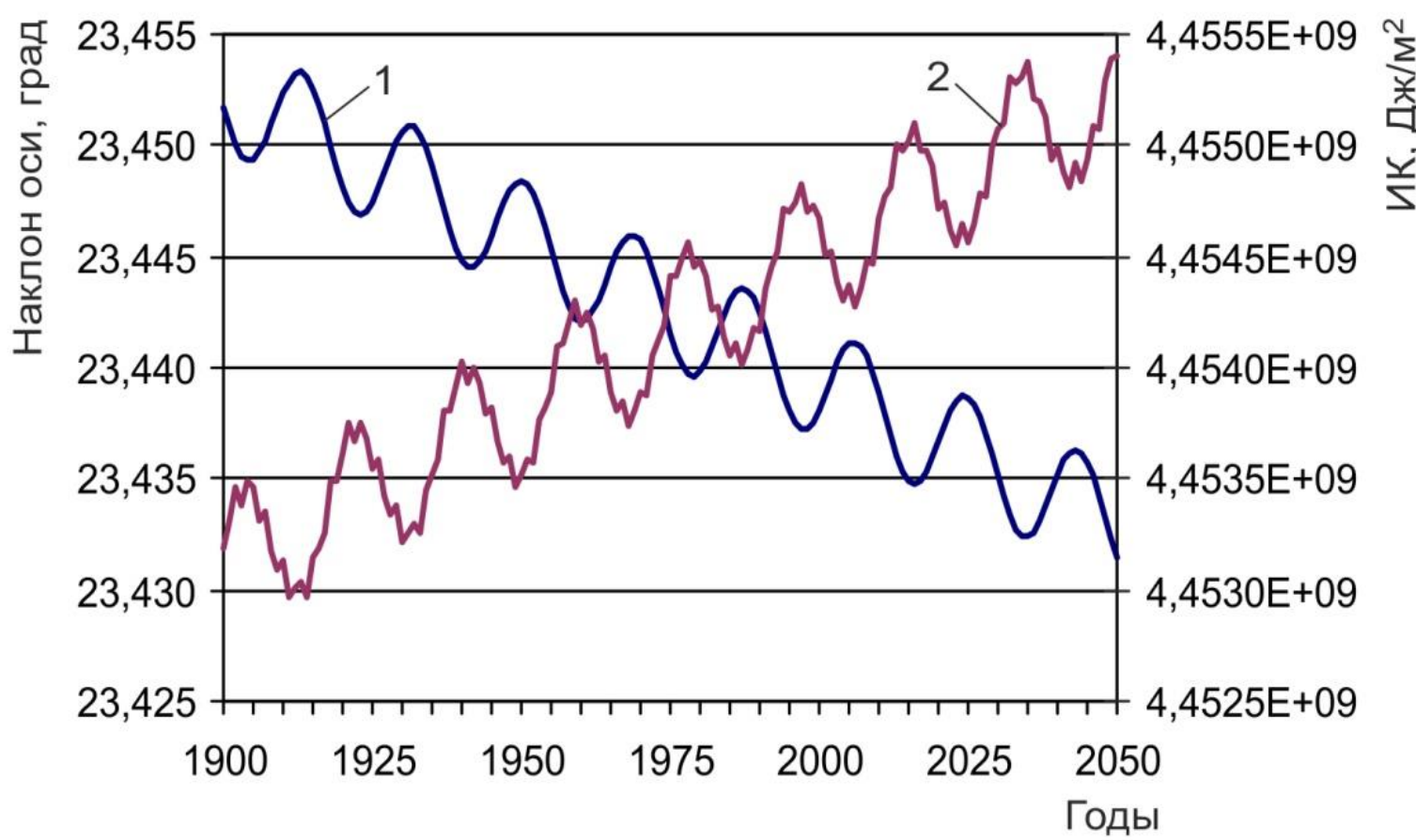


Рис. 9. Многолетние изменения угла наклона оси вращения (1) и инсоляционной контрастности (2) Земли. Наклон оси с 1900 по 2016 гг. уменьшается на $0,015^\circ$, ИК увеличивается на $0,7 \text{ Вт/м}^2$, ПТВ Земли и ТПО Мирового океана повышается на 1°C и $0,9^\circ\text{C}$.

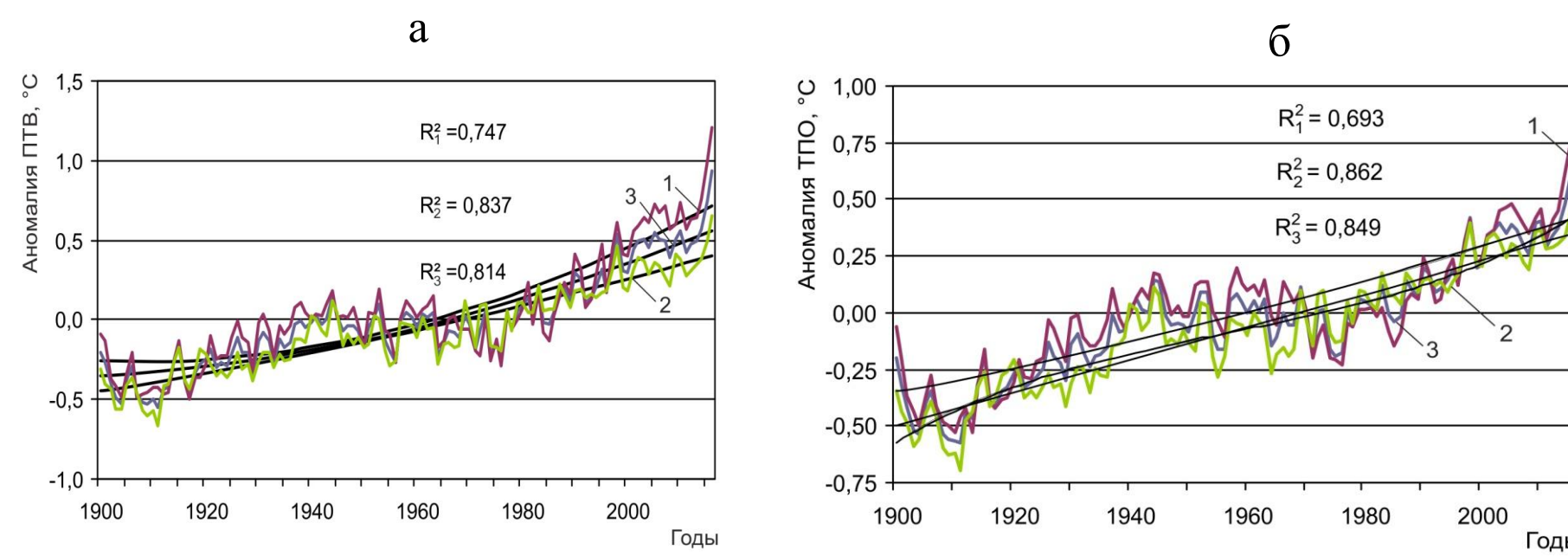
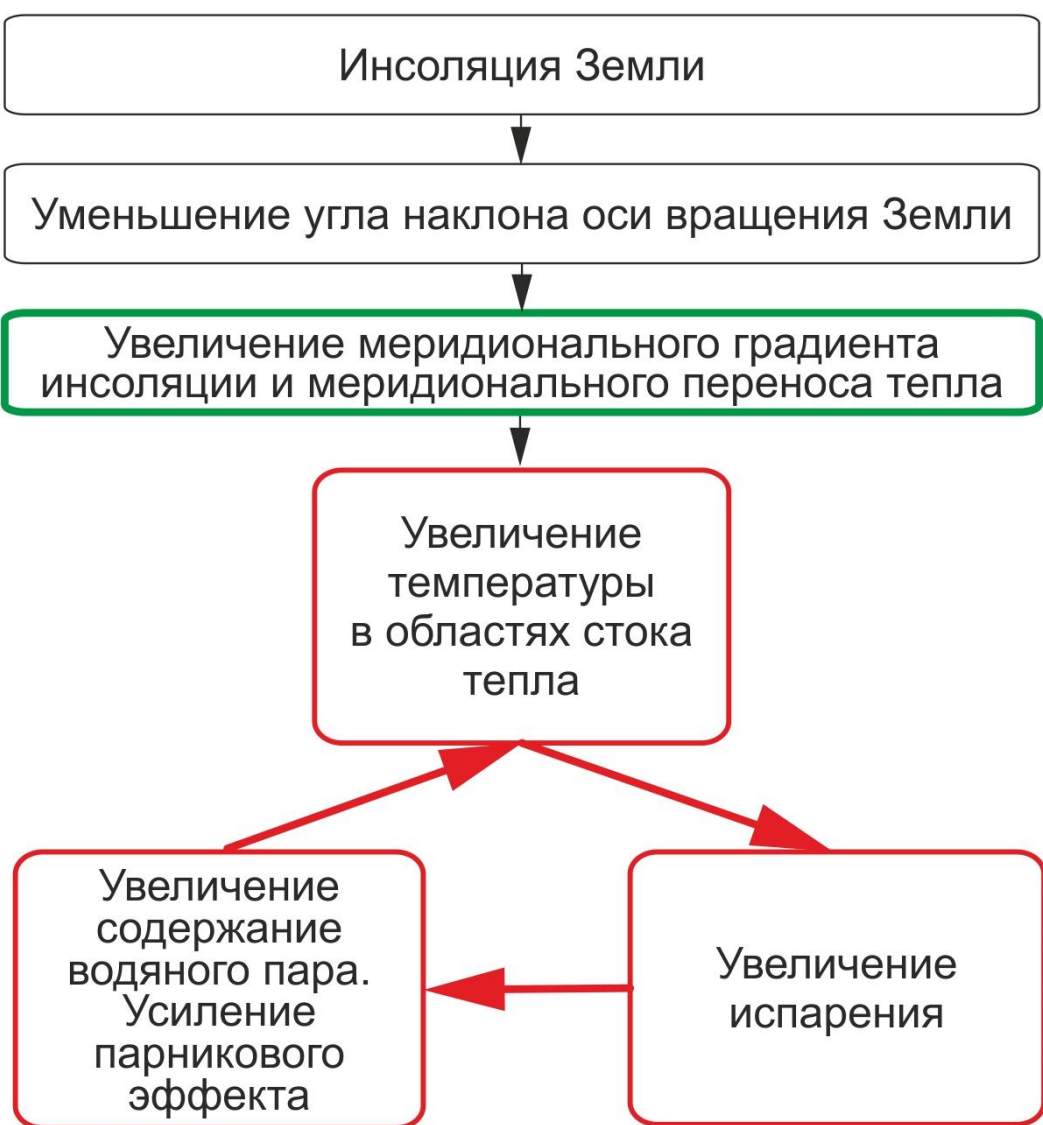


Рис. 10. Многолетние изменения глобальной температуры (<http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature>): а – ПТВ, б – ТПО (1 – северное полушарие, 2 – южное полушарие, 3 – Земля/Мировой океан)

	Земля/Мировой океан	Северное полушарие	Южное полушарие
Приповерхностная температура воздуха (ПТВ)			
ИК	80,7%	73,4%	83,1%
ИК и КМО	88,3%	86,4%	84,0%
Температура поверхности океана (ТПО)			
ИК	79,7%	69,3%	84,1%
ИК и КМО	88,5%	86,6%	85,9%

Табл. 1. Многолетние изменения ПТВ и ТПО объясняемые изменениями ИК по регрессионной модели. КМО – климатическая мультидекадная осцилляция (с периодом около 60 лет).



+ дополнительное тепло из-за уменьшения альбеда в результате сокращения площади морских льдов и ледников

Рис. 11. Принципиальная схема радиационного теплообмена в атмосфере