ИНСОЛЯЦИОННАЯ КОНТРАСТНОСТЬ И ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Федоров В.М.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

INSOLATION CONTRAST AND MODERN CLIMATE CHANGE TRENDS

Fedorov V.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Based on the results of calculations of the Earth's insolation (based on the DE-406 astronomical ephemeris), the characteristics of the change in the annual meridional insolation gradient (MIG) were obtained for the period from 3000 BC and until 2999 AD. It was determined that the maximum changes in MHI are localized in the areas of 60° – 70° latitude in each hemisphere. This may be the reason for the intensification of the intensity of extratropical cyclogenesis (climate instability). Modeling of the surface air temperature (SAT) and the ocean surface temperature (SST) was carried out on the basis of regression analysis. The annual insolation contrast was taken as a predictor, reflecting MIG changes in a generalized manner (for the regions of the source and sink of radiation heat). It was determined that the regression model determines from 69.3% to 84.1% of long-term changes in SAT and SST. Changes in the MIG (IR) in the modern era are associated with a decrease in the angle of inclination of the Earth's axis of rotation.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-277-280

Солнечная радиация является основным источником энергии гидрометеорологических процессов. 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. Под солярным климатом Земли понимается рассчитываемое теоретически поступление и распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы (ВГА) или на поверхности Земли без учета атмосферы. При этом изменение активности Солнца не учитывается.

Инсоляция рассчитывалась с большим пространственным и временным разрешением [3]. Расчеты выполнялись по данным высокоточных астрономических эфемерид DE-406 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 (UT). Поверхность Земли аппроксимировалась эллип-

соидом (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 – приходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ – площадной множитель (м^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 ($\text{Вт}/\text{м}^2$), t – время (с). Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1° , по широте 1° , по времени $1/360$ часть продолжительности тропического года. Значение солнечной постоянной принималось равным $1361 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Изменение активности Солнца не учитывалось.

По результатам расчетов отмечается увеличение инсоляции в экваториальной области (0,25%) и сокращение в полярных районах (2,73%) – тенденция усиления меридиональной контрастности в солярном климате (рис. 1).

Рис. 1. Изменение годовой инсоляции Земли в широтных зонах с 3000 г. до н.э. по 1999 г.

Из-за неравномерности в распределении солнечной радиации на поверхности Земли возникает меридиональный градиент инсоляции (МГИ). Получен широтный профиль изменения годового МГИ за 5999 лет (рис. 2). Максимумы увеличения локализованы вблизи полярных кругов (60° – 70° широты – годовые «зоны неустойчивости»). Отмеченные «зоны неустой-

чивости» совпадают с районами максимального развития внутритропических циклонов (циклогенеза) в полушариях [4, 5]. Увеличение годового МГИ приходится на области локализации циркуляционных ячеек Хэдли и Ферреля в атмосфере. Уменьшение годового МГИ приходится на области полярных ячеек.

Рис. 2. Изменение годового МГИ за 5999 лет относительно среднего для широтной зоны значения (аппроксимация – полином 4-й степени)

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 [2]. 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, 2] в среднем в 3–5 раз, превосходят значения МГИ, что может быть связано с участием в переносе энергии в системе океан – атмосфера водных и воздушных масс.

В результате корреляционного анализа определена связь многолетних изменений аномалии ПТВ и ТПО Земли и полушарий с многолетними изменениями годовой 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. 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 [4, 5]. Изменение ИК линейно связано с изменением угла наклона оси вращения Земли (коэффициент корреляции составляет - 0,998).

Изменения ПТВ и ТПО Земли и полушарий (данные университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли) в основном учитываются трендами. Значения коэффициента детерминации составляют от 0,693 до 0,862 (тренды – полиномы 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 ПТВ и ТПО Земли и полушарий характеризуются тесными положительными корреляционными связями с многолетними изменениями ИК и отрицательными с многолетними изменениями угла наклона оси. Выполненные, по уравнению регрессии (по ансамблю линейных и полиномиальных решений) расчеты показали, что многолетние изменения ПТВ и ТПО в основном связаны с многолетними изменениями годовой инсоляционной контрастности (таблица).

Таблица. Многолетние изменения ПТВ и ТПО объясняемые регрессионной моделью.

	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%

Примечание: КМО – климатическая мультидекадная осцилляция с периодом около 60 лет (в Северной Атлантике известная как АМО – Atlantic multidecadal oscillation).

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.

Литература

1. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1970. 260 с.
2. Пальмен Э. Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1973. 616 с.
3. 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
4. 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
5. 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. P. 156–162. DOI: 10.1134/S0010952519030043