

Доклад не был представлен на конференции

ПРИМЕНЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА К ОБЪЯСНЕНИЮ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ГОЛОЦЕНЕ И ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

Федоров В.М., Фролов Д.М.

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

APPLICATION OF THE ASTRONOMICAL THEORY OF CLIMATE CHANGE TO THE EXPLANATION OF GLOBAL CLIMATIC EVENTS IN THE HOLOCENE AND LATE PLEISTOCENE

Fedorov V.M., Frolov D.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-381-384>

Calculations of the Earth's irradiation for the period from 12,000 years in the past to 8000 years in the future have been performed with high spatial and temporal resolution. As a result, the astronomical theory of climate change has been supplemented with new values of insolation with a resolution of $1^\circ \times 1^\circ$ in space and 1/360 of the duration of the tropical year in time. Thus, a mathematical problem in the astronomical theory of climate change associated with low spatial and temporal resolution was solved for the Holocene.

Astronomical factors regulating the intensity of radiative heat transfer (meridional, in the ocean–mainland system, interhemispheric) have been determined. Solar characteristics reflecting the intensity of radiative heat transfer are calculated. Thus, a physical problem was solved that allowed the mechanisms of radiative heat transfer in the astronomical theory of climate change for the Holocene. The modernization of the astronomical theory of climate made it possible to explain global climatic events in the Holocene and Late Pleistocene on the basis of their synchronicity with the extremes of solar characteristics.

Астрономическая теория изменения климата предложена более 100 лет назад сербским математиком М. Миланковичем для объяснения глобальных климатических событий в плейстоценовой истории Земли: развития материковых оледенений и разделяющих их межледниковий. Для этого им были выполнены расчеты летней инсоляции с низким временным и пространственным разрешением, учитывающими изменения эксцентриситета, долготы перигелия и наклона оси вращения Земли (при этом Земля отождествлялась со сферой). Для объяснения глобальных климатических событий Миланковичем предложена схема изменения летней температуры на 65 параллели Северного полушария в эквивалентных широтах [1]. После Миланковича расчеты инсоляции выполнялись неоднократно с учетом появления новых небесных тел и представлений в небесной механике [5, 7]. Однако схема перехода от солярного климата к глобальному не менялась, то есть изменение температуры рассматривалось только в зависимости от вариаций приходящей летней радиации на 65° с.ш.

Для объяснения глобальных климатических событий в голоцене и позднем плейстоцене нами была решена математическая задача: выполнены расчеты приходящей на ВГА Земли солнечной радиации с высоким пространственным и временным разрешением. Расчеты выполнялись по данным высокоточных астрономических эфемерид (DE-441) для верхней границы атмосферы в интервале от 10000 г. до н.э. до 10000 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 (Coordinate Time) и всемирного корректируемого времени (Universal Time). Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом Geodetic Reference System 1980 (GRS80) с длинами полуосей, равными 6 378 137 м (большие) и 6 356 752 м (малая). Изменение активности Солнца не учитывалось. Значение солнечной постоянной (среднее многолетнее значение TSI) принималось равным 1361 Вт/м^2 [6].

Проведено исследование влияние формы Земли на характер ее облучения [2]. Показано, что разности (ошибки) в расчетах интенсивности облучения сферы и эллипсоида соизмеримы с вариациями TSI в 11-летнем цикле, отмечаемыми в настоящее время. Выполненные расчеты позволили также решить физическую задачу: рассчитать солярные факторы, регулирующие механизмы переноса радиационного тепла [3]. Основными из них являются меридиональный перенос радиационного тепла из экваториальной области (источника тепла) в полярные районы (сток тепла). Меридиональный перенос радиационного тепла регулируется изменением угла наклона оси (рис. 1).



Рис. 1. Изменение годовой интенсивности облучения (ИО) по широтным зонам в голоцене относительно соответствующих значений первого столетия (11900–12000 л.н.).

При его уменьшении увеличивается приход солнечной радиации в экваториальную область и сокращается в полярные районы. При уменьше-

нии наклона оси, таким образом, увеличивается меридиональный градиент инсоляции, управляющий меридиональным переносом радиационного тепла и интенсивность работы «тепловой машины первого рода» [4] возрастает. Следствием этого является сглаживание широтных температурных различий. При увеличении угла наклона отмечается обратная ситуация.

Межполушарный теплообмен в атмосфере регулируется инсоляционной сезонностью Земли (ИСЗ), которая (как и цикл климатической прецессии) определяется соотношением циклов прецессии и долготы перигелия. ИСЗ характеризуется разностью между инсоляционной сезонностью в северном (южном) и инсоляционной сезонностью в южном (верном) полушарии. Однако перенос радиационного тепла (воздушными и водными массами) из летнего полушария в зимнее полушарие со временем изменяется в связи с различием летней и зимней инсоляции в полушариях. Одно зимнее полушарие в результате межполушарного переноса радиационного тепла может получать больше или меньше тепла, чем другое зимнее полушарие.

С максимумом межполушарного переноса радиационного тепла на ВГА (переноса в северное зимнее полушарие из летнего южного полушария) связан малый (средневековый) климатический оптимум голоцена.

Теплообмен в системе океан – материк определяется инсоляционной сезонностью полушария (ИСП), которая также регулируется соотношением прецессионного цикла (предварение равноденствий) с циклом долготы перигелия (с периодом около 22 тыс. лет). Многолетние изменения интенсивности теплообмена в системе океан – материк связаны с сезонной сменой областей источника и стока тепла. При сглаживании сезонных различий в инсоляции интенсивность теплообмена в системе океан – материк снижается и сезонные температурные различия возрастают. И, наоборот, при увеличении инсоляционной сезонности интенсивность теплообмена в системе океан – материк увеличивается и сезонные температурные различия сглаживаются. Например, за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г. инсоляционная сезонность в северном полушарии увеличивается на $12,1 \text{ Вт/м}^2$ или на 7,1% (температурные сезонные различия сглаживаются). В южном полушарии в этот период инсоляционная сезонность уменьшается на $2,3 \text{ Вт/м}^2$ или на 1,3% – температурные сезонные различия возрастают. Это объясняется тем, что в рассматриваемый интервал времени Земля проходит через перигелий, когда в северном полушарии отмечается зима, и афелий, когда в северном полушарии лето. Таким образом, сезонные различия интенсивности облучения (ИО) в северном полушарии в современную эпоху сглаживаются. В южном полушарии лето приходится на перигелий земной орбиты, зима – на афелий, и сезонные различия ИО в этом полушарии возрастают.

Анализ результаты расчетов инсоляции показал, что глобальные климатические события в голоцене и позднем плейстоцене синхронизируются с экстремумами отмеченных астрономических (солярных) характеристик. Так, с максимумом приходящей в северное полушарие в летнее астрономическое полугодие солнечной радиации синхронизируется переход от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе. С минимумом летнего облучения синхронизируется Малый ледниковый период. Так как период климатической прецессии на данном этапе близок к 22 000 лет, то в позднем плейстоцене с минимумом летней инсоляции в северном полушарии синхронизируется максимум распространения покровного оледенения (около 20 000 лет назад). Брянский интерстадиал синхронизируется с максимумом приходящей солнечной радиации в северное полушарие в летнее полугодие (25–32 тыс. лет назад). Таким образом, модернизация и развитие астрономической теории изменения климата позволяет объяснить причины отдельных глобальных климатических событий в голоцене и позднем плейстоцене.

Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой «Палеогеографические реконструкции природных геосистем и прогнозирование их изменений» (121051100135-0).

Литература

1. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М.–Л.: ГОНТИ, 1939. 208 с.
2. Федоров В.М., Костин А.А., Фролов Д.М. Влияние формы Земли на характеристики ее облучения // Геофизические процессы и биосфера, 2020. Т. 19. № 3. С. 119–130. DOI: 10.21455/GPB2020.3-7
3. Федоров В.М. Проблемы параметризации радиационного блока в физико-математических моделях климата и возможности их решения // Успехи физических наук, 2023. Т. 193, № 9. С. 971–988. DOI: 10.3367/UFNr.2023.03.039339.
4. Шулейкин В.В. Физика моря. – М.: АН СССР, 1953. – 990 с.
5. Cionco R.G., Soon W.W.-H. Short-Term Orbital Forcing: A Quasi-Review and a Reappraisal of Realistic Boundary Conditions for Climate Modeling // Earth-Science Reviews, 2017. V. 166. P. 206–222.
6. Fedorov V.M., Kostin A.A. The Calculation of the Earth's Insolation for the Period 3000 BC–AD 2999 // Springer Geology, 2020. V.1. P 181–92. DOI: 10.1007/978-3-030-38177-6_20
7. Laskar J., Joutel F., Boudin F. Orbital, precessional and insolation quantities for the Earth from – 20 Myr to + 10 Myr // Astronomy and Astrophysics, 1993. V. 287. P. 522 – 533.