

70 лет МЗ МГУ!



ISSN 0514-7468

42 (1)

2020

ЖУРНАЛ ЗЕМЛИ

70 лет МЗ МГУ!

Журнал Земли

42 (1)

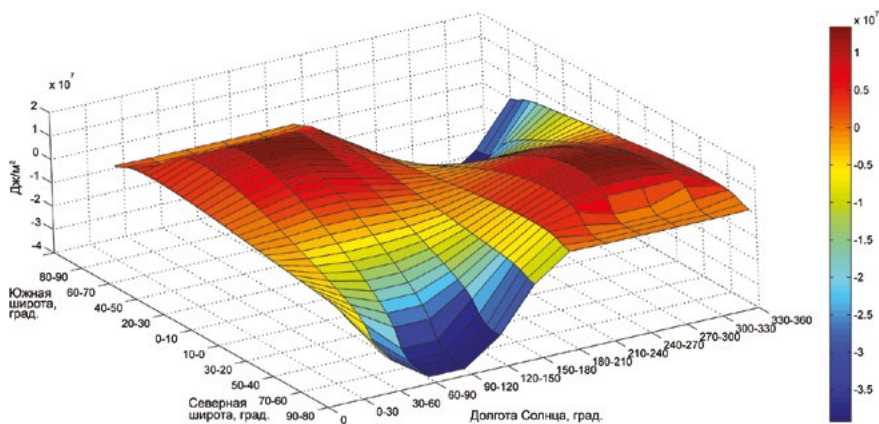
2020



МАЛЫЙ ЛЕДНИКОВЫЙ ПЕРИОД В ЖИЗНИ ЗЕМЛИ И ЕГО ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ (см. с. 4–12)



«Зимняя сцена на замёрзшем канале». Хендрик Аверкамп, 1620 г.



Пространственно–временные изменения инсоляции Земли
(без учёта атмосферы) на интервале с 3000 г. до н. э. по 2999 г. н. э.

ЖИЗНЬ ЗЕМЛИ EARTH LIFE

ISSN 0514-7468

2020

Т. 42, № 1

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 1961 года,
журнальная ежеквартальная версия — с 2016 года

ИНДЕКСИРОВАНИЕ
ЖУРНАЛА

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index *

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU

CYBERLENINKA

ВЫСШАЯ АТТЕСТАЦИОННАЯ
КОМИССИЯ (ВАК)
для Министерства образования и науки
Российской Федерации
Перечень Российских
рецензируемых научных журналов
ВАК

Редакционный совет:

В.А. Садовничий (председатель Совета), Н.А. Абакумова, Ф.Г. Агамалиев (Азербайджан), А.П. Бужилова, С.А. Добролюбов, М.В. Калякин, Н.С. Касимов, М.П. Кирпичников, А.И. Ключкина, Нгуен Чунг Минь (Вьетнам), С.Х. Мирзоев (Таджикистан), А.С. Орлов, Д.Ю. Пушаровский, Н.Г. Рыбальский, С.А. Шоба

Редакционная коллегия:

А.В. Смуров (гл. редактор), В.В. Снакин (зам. гл. редактора), Л.В. Алексеева (отв. секретарь), С.М. Аксёнов (США), М.И. Бурлыкина, И.Л. Ган (Австралия), Е.П. Дубинин, А.В. Иванов, В.В. Козодёров, Н.Н. Колотилова, С.Н. Лукашенко (Казахстан), С.А. Маскевич (Беларусь), Йован Плавша (Сербия), Л.В. Попова, А.П. Садчиков, С.А. Слободов, В.Р. Хрисанов, В.С. Цховребов, Э.И. Черняк, П.А. Чехович, А.Г. Шмелева



ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2020

Адрес редакции:

119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1, МГУ,
Музей земледения
Тел.: +7 (495) 939-14-15; +7 (495) 939-12-21
e-mail: zhizn_zemli@mail.ru
<http://zhiznzemli.ru>
[http://msupress.com/catalogue/magazines/
geografiya/](http://msupress.com/catalogue/magazines/geografiya/)

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР

УДК 551.32+551.521.1+551.583

DOI 10.29003/m875.0514-7468.2020_42_1/4-12

МАЛЫЙ ЛЕДНИКОВЫЙ ПЕРИОД В ЖИЗНИ ЗЕМЛИ И ЕГО ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ

В.М. Фёдоров, Д.М. Фролов¹

На основе выполненных ранее расчётов инсоляции определён тренд изменения сезонности в солярном климате северного полушария с 3000 г. до н. э. по 2999 г. н. э. Определено, что на этом интервале минимальные значения сезонности определяются уменьшением летней инсоляции северного полушария. Определены хронологические границы глубокого и продолжительного минимума летней инсоляции северного полушария и его размах. Показано, что отмечаемый минимум летней инсоляции в северном полушарии может быть одной из причин малого ледникового периода.

Ключевые слова: солнечная радиация, изменения климата, инсоляция Земли, малый ледниковый период.

Ссылка для цитирования: Фёдоров В.М., Фролов Д.М. Малый ледниковый период в жизни Земли и его возможные причины // Жизнь Земли. 2020. Т. 42, № 1. С. 4–12. DOI: 10.29003/m875.0514-7468.2020_42_1/4-12.

Поступила 06.02.2020 / Принята к публикации 20.02.2020

LITTLE ICE AGE IN THE EARTH HISTORY AND ITS POSSIBLE REASONS

Fedorov V.M., PhD, Frolov D.M.

Lomonosov Moscow State University (Faculty of Geography)

The trend of seasonal variation of solar climate of Northern Hemisphere for 3000 BC – 2999 AD period was determined on the basis of the previously performed Earth insolation calculations. Also was determined that for this time interval minimal values of seasonality is characterized by decrease of summer insolation in Northern Hemisphere. The chronological borders of deep and long summer insolation minimum in Northern Hemisphere and its amplitude were identified. Considered minimum of summer insolation in Northern Hemisphere could be shown to be one of the reasons of Little Ice Age.

Keywords: sun radiation, climate variation, Earth insolation, little ice age.

¹ Фёдоров Валерий Михайлович – к.г.н., в.н.с., fedorov.msu@mail.ru; Фролов Денис Максимович – н.с., denisfrolov@mail.ru; географический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова.

Введение. Климат – важнейшая характеристика природной среды обитания человека и общества, поэтому исследование изменений глобального климата является одной из актуальных проблем наук о Земле. Эта проблема определяется необходимостью прогнозирования изменения климата и последствий климатических изменений.

Изменения климата в будущем и знания о них во многом определяются изменениями климата в прошлом и имеющейся информацией о причинах таких изменений. Солнечная радиация является основным источником энергии, определяющим радиационный и тепловой баланс Земли. В связи с этим исследование солярного климата Земли в голоцене представляется важным для определения роли инсоляционного фактора в глобальных климатических событиях недавнего геологического прошлого.

Основная задача. Малый ледниковый период (МЛП) – событие, достоверно установленное в климатической истории Земли. Наиболее заметно оно проявилось в Европе, северной Атлантике и Северной Америке (т. е. в северном полушарии Земли) [7]. Временной интервал события достаточно протяжённый и определяется приблизительно с 1300 по 1880 гг. [15, 16, 19], с максимумом в период с 1550 по 1880 гг. [10, 11, 14]. Таким образом, это событие можно считать имеющим глобальный пространственный и временной масштаб. Оно широко известно, как по полотнам Питера (Старшего) Брейгеля (1525–1569) и Хендрика Аверкампа (1585–1634) (рис. 1), так и по многочисленным историческим свидетельствам и научным публикациям [3, 7, 8, 14, 18].



Рис. 1. «Зимняя сцена на замёрзшем канале». Хендрик Аверкамп, 1620 г. (см. цв. фото на 2 с. обложки).

Fig. 1. «Winter Scene on a Frozen Canal». Hendrick Avercamp, 1620.

В качестве основных причин МЛП называют уменьшение солнечной активности, увеличение вулканической активности, особенности циркуляционных процессов в атмосфере и океане. Однако, наряду с возможным участием отмеченных факторов в глобальном похолодании, вряд ли ими ограничиваются все причины этого климатического события. Основная задача данного исследования – показать неотмеченную в

научных работах ещё одну из возможных причин МЛП, связанную с изменением сезонности и летней инсоляции северного полушария.

Известно, что вариации приходящей к Земле солнечной радиации в основном определяются двумя причинами, имеющими различную физическую природу. Одной из них является изменение активности в излучении Солнца. Другая связана с небесно-механическими процессами, изменяющими элементы земной орбиты и наклон оси вращения [1]. Под солярным климатом Земли понимается рассчитываемое теоретически поступление и распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы (ВГА) или на поверхности Земли без учёта атмосферы [1]. При этом изменение активности Солнца не учитывается.

Методика расчёта. Инсоляция рассчитывалась с высоким пространственным и временным разрешением [2, 3, 6, 20] 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 координатного времени (СТ) и всемирного корректируемого времени (UT). Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80 – Geodetic Reference System, 1980) с длинами полуосей, равными 6 378 137 м (большие) и 6 356 752 м (малая). Шаги при интегрировании составляли: по долготе и широте 1 градус, по времени 1/360 часть продолжительности тропического года. Значение солнечной постоянной (среднее многолетнее значение TSI) принималось равным 1361 Вт/м² [9]. Изменение активности Солнца не учитывалось [2, 4].

Результаты исследования. Расчёты показали, что на интервале от 3000 г. до н. э. до 2999 г. н. э. в летние для полушарий полугодия приход радиации сокращается, а в зимние увеличивается (рис. 2, 3).

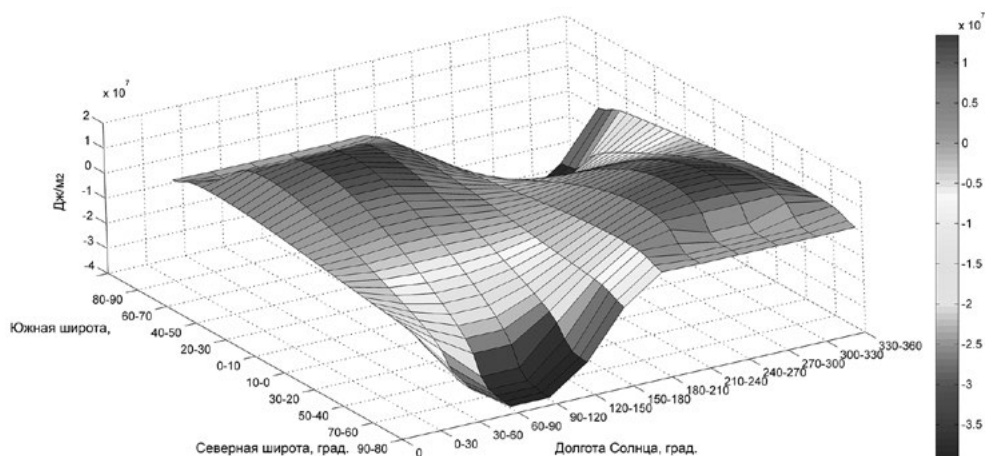


Рис. 2. Пространственно–временные изменения инсоляции Земли (без учёта атмосферы) на интервале с 3000 г. до н. э. по 2999 г. н. э. (см. цв. рис. на 2 с. обложки).

Fig. 2. Spatial-temporal variations of Earth insolation (without taking into account an atmosphere) for the period 3000 BC – 2999 AD.

На основе полученных значений инсоляции вычислялась сезонность для северного полушария в солярном климате Земли (рис. 4, 5). При этом значения инсоляции в

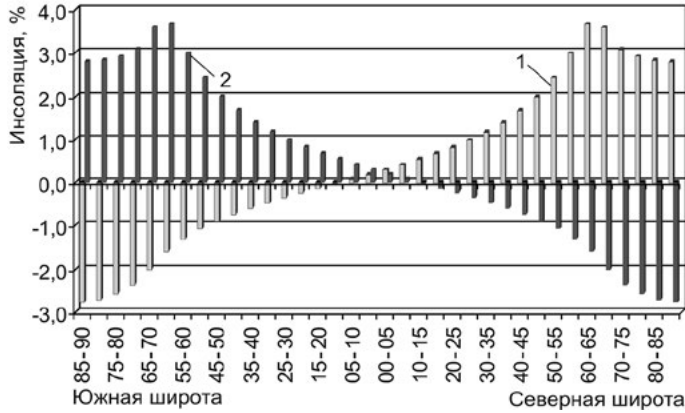


Рис. 3. Широтное изменение инсоляции Земли в % (3000 г. до н. э. – 2999 г. н. э.) в зимнее (1) и летнее (2) полугодие (для северного полушария).

Fig. 3. Latitudinal variation of Earth insolation in % (3000 BC – 2999 AD) in winter (1) and summer (2) half-year (for the Northern Hemisphere).

Дж/м² делением на рассчитанную продолжительность соответствующих тропических годов были переведены в значения интенсивности инсоляции Вт/м². Сезонность определялась как разность инсоляции северного полушария в летнее астрономическое полугодие и зимнее астрономическое полугодие.

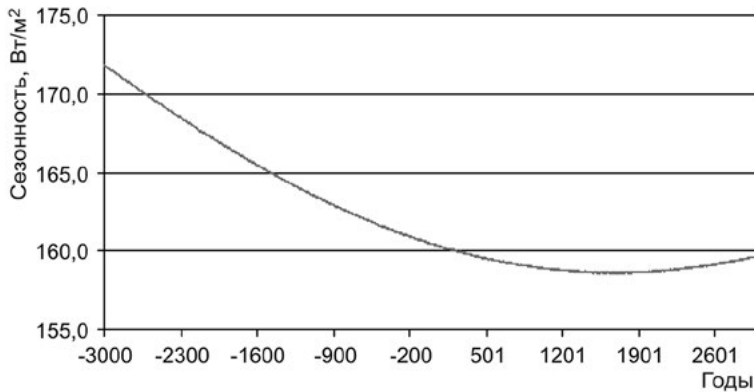


Рис. 4. Разность летней и зимней инсоляции в северном полушарии.

Fig. 4. Difference of summer and winter insolation in Northern Hemisphere.

Размах сезонности на всём интервале составляет 13,2 Вт/м², или 8,16 % от среднего значения. При этом минимум сезонности в инсоляции северного полушария Земли локализуется в широком временном диапазоне – приблизительно от 1400 до 1900 г. (рис. 5).

Отмеченное изменение сезонности в основном связано с уменьшением летней инсоляции северного полушария (рис. 6, 7).

Размах изменения летней инсоляции северного полушария на всём интервале составляет 7,7 Вт/м², или 1,84 % от среднего значения.

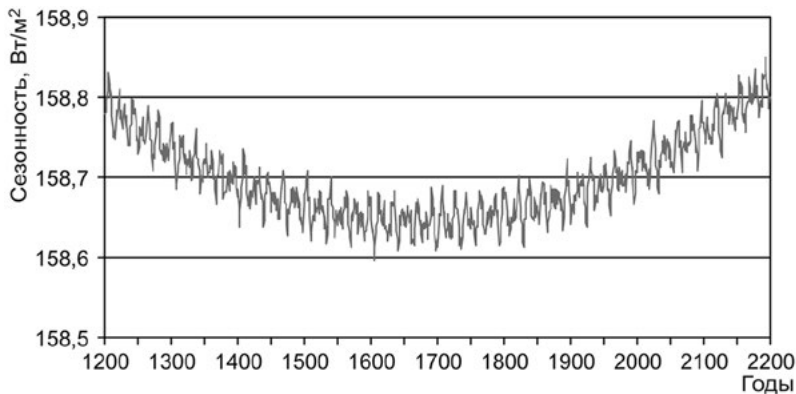


Рис. 5. Локализация экстремума в разности интенсивности летней и зимней инсоляции в северном полушарии.

Fig. 5. Localization of extreme in difference of intensity of summer and winter insolation in Northern Hemisphere.

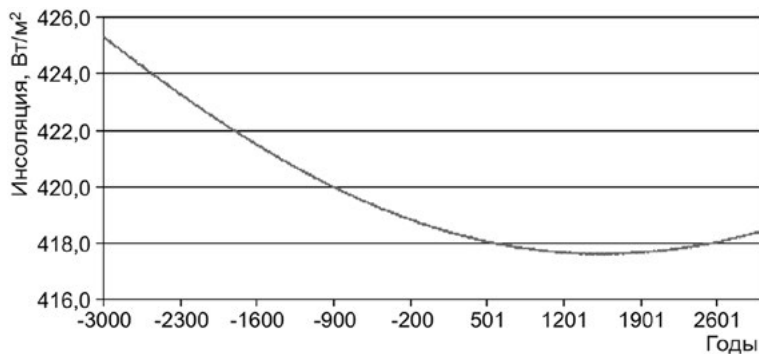


Рис. 6. Интенсивность летней инсоляции в северном полушарии.

Fig. 6. Intensity of summer insolation in Northern Hemisphere.

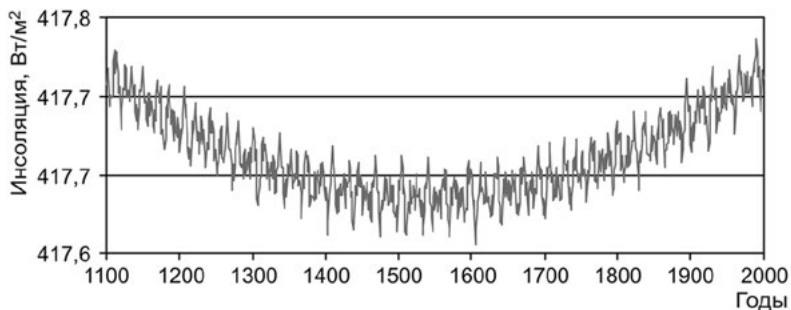


Рис. 7. Локализация экстремума в интенсивности летней инсоляции северного полушария.

Fig. 7. Localization of extreme in intensity of summer insolation in Northern Hemisphere.

Обсуждение результатов. В качестве основных причин МЛП называют изменение солнечной активности, вулканическую активность, изменения в циркуляции-

онных процессах в атмосфере и океане. Некоторое влияние вулканической деятельности в какие-то периоды на отмечаемое в широком временном и пространственном масштабе похолодание не вызывает сомнений. Что касается циркуляционных процессов в атмосфере (например, НАО – Североатлантическое колебание) и океане (например, Гольфстрим), то их влияние на происходящие климатические изменения также бесспорны, однако эти факторы не могут быть основной причиной МЛП. Это связано с тем, что основным источником энергии гидрометеорологических процессов является солнечная радиация, именно с неравномерностью её поступления и распределения связана динамика процессов в атмосфере и океане. Таким образом, динамика циркуляционных процессов в атмосфере и океане является следствием пространственного и временного изменения инсоляции.

Нами уже упоминалось, что вариации солнечной радиации связаны с двумя причинами, имеющими разную физическую природу. Первая связана с изменением активности Солнца. В пределах отмечаемых хронологических границ МЛП выделяются три минимума солнечной активности: минимум Шперера (1460–1540 гг. или 1420–1530 гг.), минимум Маундера (1645–1715 гг.) и минимум Дальтона (1790–1830 гг.). Наиболее глубоким, хотя и не очень продолжительным, был минимум Маундера. Сокращение солнечной радиации в этот период составляло около 0,5–0,7 Вт/м² относительно современного уровня [12, 13]. Сокращение было пересчитано от значений TSI для диска Земли, приведённых в работах [12, 13], на значения для сферы. Конечно, эти факторы являются одной из причин МЛП на том хронологическом интервале, на котором отмеченные минимумы солнечной активности локализованы. Следует также иметь в виду возможные хронологические смещения в откликах климатической системы, связанные с её инерционностью.

Однако другой причиной изменений приходящей солнечной радиации являются небесно-механические процессы, изменяющие элементы орбитального движения Земли и связанную с ними инсоляцию нашей планеты. Полученные нами результаты показывают, что МЛП мог быть следствием закономерного уменьшения сезонности и летней инсоляции северного полушария, в котором МЛП проявляется наиболее очевидно (см. рис. 3–6). Известно, что летняя инсоляция имеет важное значение в генезисе климата и его изменениях. Это определяется, во-первых, тем, что при увеличении летней инсоляции увеличивается испарение и содержание водяного пара в атмосфере, что приводит к усилению парникового эффекта. Во-вторых, выделением скрытого тепла от увеличения атмосферных осадков (переход водяного пара в воду и снег). В-третьих, уменьшением альбедо за счёт сокращения площади морских льдов и ледников – нагревание поверхности (материков и океанов), и от неё атмосферы. При сокращении летней инсоляции, очевидно, происходят обратные эффекты. Максимальное сокращение летней инсоляции в минимуме (с экстремальными значениями в период с 1500–1550 гг.) относительно современного значения, по нашим расчётам, невелико – 0,13 Вт/м². Однако это был самый глубокий минимум летней инсоляции в северном полушарии за последние 5000 лет. Относительно значения инсоляции в 3000 г. до н. э. в годы минимума (1300–1880 гг.) инсоляция была меньше на 7,7 Вт/м². Именно это, наряду с тремя перечисленными климатическими эффектами увеличения/уменьшения инсоляции, позволяет считать продолжительный и глубокий минимум летней инсоляции северного полушария (с экстремальными значениями в 1500–1550 гг.) одной из основных причин МЛП.

В качестве возможных причин МЛП указывается роль вулканических извержений [16], снижающих прозрачность атмосферы. Известно, что после вулканических извержений взрывного характера в верхней тропосфере и нижней стратосфере возникают облака мелких частиц вулканической пыли и аэрозоля, ослабляющие поток коротковолновой радиации, приходящей к земной поверхности. Вулканическая пыль и аэрозоли могут в течение продолжительного времени находиться в атмосфере. При этом мало изменяется длинноволновое излучение, уходящее в мировое пространство: оно может несколько ослабляться за счёт усиления парникового эффекта в результате вулканических выбросов водяного пара, углекислого газа и др. парниковых газов. Вероятно, климатические эффекты вулканической активности (влияющие на режим радиации) присутствуют в событии МЛП, однако вряд ли они являются его основной причиной.

В качестве других возможных причин МЛП отмечается влияние НАО, изменение интенсивности и траектории Гольфстрима и др. [17]. Однако, как отмечалось, циркуляционные процессы в атмосфере, вероятно, не являются первопричиной. Это определяется тем, что основным источником энергии гидрометеорологических процессов является солнечная радиация. Циркуляционные процессы в атмосфере являются результатом неравномерного поступления или распределения по земной поверхности солнечной радиации. Поэтому эти причины, вероятно, следует рассматривать как результат обратных связей или как следствие изменения инсоляции. Изменение циркуляционных процессов в атмосфере и океане (Гольфстрим) может определяться и динамическими причинами, например, изменениями скорости вращения Земли.

Найденный характер изменения летней инсоляции и сезонности солярного климата северного полушария позволяет считать, что им соответствовал, в общем, сходный характер (тренд) изменения состояния климатической системы. Этот характер, однако, осложнялся влиянием и других факторов: вулканической активностью, циркуляционными процессами в атмосфере и океане, механизмами теплообмена. Тем не менее, основной фон этого климатического события, вероятно, связан с глубоким минимумом летней инсоляции в северном полушарии.

Заключение. Полученные результаты анализа распределения инсоляции указывают на то, что одной из основных причин малого ледникового периода мог быть продолжительный (медленный) и глубокий минимум летней инсоляции в северном полушарии. Экстремальные значения этого минимума фиксируются в диапазоне приблизительно 1500–1550 гг. Глубина минимума за последние 5000 лет составляет $7,7 \text{ Вт/м}^2$.

Работа выполнена в рамках госбюджетных тем «Геоэкологическая безопасность Российской Арктики» (АААА-А16-116032810055-0) и «Картографирование, моделирование и оценка риска опасных природных процессов» (№ АААА-А16-116032810093-2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М., Л.: ГОНТИ, 1939. 208 с.
2. Фёдоров 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.
3. Фёдоров В.М. Вариации инсоляции Земли и особенности их учёта в физико-математических моделях климата // Успехи физических наук. 2019. Т. 189, № 1. С. 33–46. DOI: 10.3367/UFN.2017.12.038267.

4. Фёдоров В.М., Фролов Д.М. Пространственная и временная изменчивость приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации // Космические исследования. 2019. Т. 57, № 3. С. 177–184. DOI: 10.1134/S002342061903004X.
5. Büntgen U., Hellmann L. The Little Ice Age in Scientific Perspective: Cold Spells and Caveats // Journal of Interdisciplinary History. 2014. V. 44, Is. 3. P. 353–368. DOI:10.1162/JINH_a_00575.
6. 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.
7. Grove J.M. The little ice age. Methuen, London and New York, 1988. 498 p.
8. Hodell D.A., Brenner M., Curtis J.H., Medina-González R., Ildefonso-Chan Can E., Albornaz-Pat A., Guilderson T.P. Climate change on the Yucatan Peninsula during the Little Ice Age. 2005. Quaternary Research. 63 (2). P. 109–121.
9. 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.
10. Ladurie E.R. Times of Feast, Times of Famine. A History of Climate since the Year 1000. N.Y.: Doubleday, Garden City, 1971. 426 p.
11. Lamb H.H. The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800. Climate: present, past and future. London: Methuen, 1972. 107 p.
12. Lean J. Evolution of the Sun's Spectral Irradiance Since the Maunder Minimum // Geophysical research letters. 2000. V. 27, № 16. P. 2425–2428.
13. Lean J., Rottman G., Harder J., Kopp G. Solar contributions to new understanding of global change and solar variability // Solar Physics. 2005. 230. P. 27–53.
14. Mann M. Little Ice Age // M.C. MacCracken; J.S. Perry (eds.). Encyclopedia of Global Environmental Change. V. 1. The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental Change. John Wiley & Sons, 2003. P. 504–509.
15. Matthews, J.A., Briffa K.R. The 'little ice age': Re-evaluation of an evolving concept // Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. 2005. 87. P. 17–36. DOI:10.1111/j.0435-3676.2005.00242.
16. Miller G.H., Áslaug G., Yafang Z., Darren L.J., Bette O-B.L., Marika H.M.; David B.A., Kurt R. A., Scott L.J., John S.R., Chance A., Helgi B., Thorvaldur T. Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks // Geophysical Res. Let. 2012. 39 (2). DOI:10.1029/2011GL050168.
17. Nesje A., Dahl S.O. The «Little Ice Age» – only temperature? // The Holocene. 2003. 13, 1. P. 139–145.
18. Ogilvie A.E.J., Jónsson T. Little Ice Age' Research: A Perspective from Iceland // Climatic Change. 2001. 48. P. 9–52. DOI:10.1023/A:1005625729889.7.
19. Oliva M., Ruiz-Fernandez J., Barriendos M., Benito G., Guadrat J.M., Dominguez-Castro F., Garcia-Ruiz J.M., Giral S., Gomez-Ortiz A., Hernandez A., Lopez-Costas O., Lopez-Moreno J.I., Lopez-Saez J.A., Martinez-Cortizas A., Moreno F., Prohom M., Saz M.A., Serrano E., Tejedor E., Trigo R., Valero-Garces B., Vicente-Serrano S.M. The Little Ice Age in Iberian mountains // Earth-Science Reviews. 2017. V. 177. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.11.010.
20. NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США (<http://ssd.jpl.nasa.gov>).

REFERENCES

1. Milankovitch M. *Canon of Insolation and the Ice-Age Problem*. Königlich Serbische Akademie, Beograd. English translation by the Israel Program for Scientific Translations; published for the U.S. (Department of Commerce and the National Science Foundation, Washington, D.C., 1941).
2. Fedorov V.M., Kostin A.A. Calculation of Earth Solar Treatment for the Period from 3000 BC to 2999 AD. *Protsessy v geosredakh* [Processes in Geosciences]. 2, 254–262 (2019) (in Russian).
3. Fedorov V.M. Earth's insolation variation and its incorporation into physical and mathematical climate models. *Physics – Uspekhi*. 62 (1), 32–45 (2019). DOI: 10.3367/UFNe.2017.12.038267.

4. Fedorov V.M., Frolov D.M. Spatial and temporal variability of solar radiation arriving at the top the atmosphere. *Cosmic Research*. **57** (3), 156–162 (2019). DOI: 10.1134/S0010952519030043.
5. Büntgen U., Hellmann L. The Little Ice Age in Scientific Perspective: Cold Spells and Caveats. *J. of Interdisciplinary History*. **44** (3), 353–368 (2014). DOI: 10.1162/JINH_a_00575.
6. 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.
7. Grove J.M. *The little ice age*. 498 p. (London and N.Y.: Methuen, 1988).
8. Hodell D.A., Brenner M., Curtis J.H., Medina-González R., Ildefonso-Chan Can E., Albornaz-Pat A., Guilderson T.P. Climate change on the Yucatan Peninsula during the Little Ice Age. *Quaternary Research*. **63** (2), 109–121 (2005).
9. 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.
10. Ladurie E.R. *Times of Feast, Times of Famine. A History of Climate since the Year 1000*. Translated from the French by Barbara Bray. 426 p. (N.Y.: Doubleday, Garden City, 1971).
11. Lamb H.H. *The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800. Climate: present, past and future*. 107 p. (London: Methuen, 1972).
12. Lean J. Evolution of the Sun`s Spectral Irradiance Since the Maunder Minimum. *Geophysical research letters*. **27** (16), p. 2425–2428 (2000).
13. Lean J., Rottman G., Harder J., Kopp G. Sorce contributions to new understanding of global change and solar variability. *Solar Physics*. **230**, 27–53 (2005).
14. Mann M. Little Ice Age. In: M.C. MacCracken; J.S. Perry (eds.). *Encyclopedia of Global Environmental Change*. V. **1**. The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental Change. P. 504–509 (John Wiley & Sons, 2003).
15. Matthews, J.A., Briffa K.R. The 'little ice age': Re-evaluation of an evolving concept. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. **87**, 17–36 (2005). DOI: 10.1111/j.0435-3676.2005.00242.
16. Miller G.H., Áslaug G., Yafang Z., Darren L.J., Bette O-B.L., Marika H.M.; David B.A., Kurt R. A., Scott L.J., John S.R., Chance A., Helgi B., Thorvaldur T. Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks. *Geophysical Research Letters*. **39** (2) (2012). DOI: 10.1029/2011GL050168.
17. Nesje A., Dahl S.O. The «LittleIceAge» – only temperature? *The Holocene*. **13** (1), 139–145 (2003).
18. Ogilvie A.E.J., Jónsson T. Little Ice Age' Research: A Perspective from Iceland. *Climatic Change*. **48**, 9–52 (2001). DOI: 10.1023/A:1005625729889.7.
19. Oliva M., Ruiz-Fernandez J., Barriendos M., Benito G., Guadrat J.M., Dominguez-Castro F., Garcia-Ruiz J.M., Giralt S., Gomez-Ortiz A., Hernandez A., Lopez-Costas O., Lopez-Moreno J.I., Lopez-Saez J.A., Martinez-Cortizas A., Moreno F., Prohom M., Saz M.A., Serrano E., Tejedor E., Trigo R., Valero-Garces B., Vicente-Serrano S.M. The Little Ice Age in Iberian mountains. *Earth-Science Reviews*. **177** (2017). DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.11.010.
20. NASA, *Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology* (<http://ssd.jpl.nasa.gov>).