

ОСОБЕННОСТИ СООТНОШЕНИЙ СЕЗОННОГО И ГОДОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ В НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ

Федоров В.М., Фролов Д.М.

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

FEATURES OF THE RATIOS OF SEASONAL AND ANNUAL IRRADIATION OF THE EARTH IN THE PLEISTOCENE

Fedorov V.M., Frolov D.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The analysis of changes in seasonal irradiation by phases of annual irradiation of the Earth is carried out. Annual exposure is closely related to the dynamics of eccentricity (correlation coefficient 0.977). It was determined that the summer irradiation of the Northern Hemisphere in the phases of increasing annual irradiation (and eccentricity) by an average of 2.073 W/m^2 (0.486%) exceeds the summer irradiation of the Northern Hemisphere in the phases of decreasing annual irradiation. Winter irradiation of the Northern Hemisphere in the phases of an increase in annual irradiation by an average of $1,169 \text{ W/m}^2$ (0.460%) is inferior to winter irradiation in the phases of a decrease in annual irradiation. Winter exposure in the Southern hemisphere in the phases of increasing annual exposure exceeds winter exposure in the phases of decreasing annual exposure, on average by 1.2 W/m^2 (0.472%). Summer radiation in the Southern hemisphere in the phases of increasing annual exposure is on average $1,973 \text{ W/m}^2$ (0.427%) less than in the phases of decreasing annual exposure. The effect of the separation of seasonal irradiation into phases of increasing and decreasing annual exposure to irradiation (eccentricity) can explain the mechanism of manifestation of the 100-thousand-year cycle in changes in the components of the natural environment in the Neopleistocene.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-323-326>

В настоящее время основу геохронологии и климатостратиграфии неоплейстоцена (последние 800 тысяч лет) составляют схемы, построенные на изменении соотношений изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в составе донных фораминифер – морские изотопные стадии [5, 7, 10]. В изотопно-кислородном (ИК) составе неоплейстоценовых морских отложений выделяются периодичности (около 100, 41 и 23 тысяч лет) соответствующие периодам изменения эксцентриситета, наклона оси и долготы перигелия, регулирующих облучение Земли. Однако, механизм проявления 100-тысячелетней периодичности не определен [1, 3]. Шкалы, составляющие основу ИК геохронологии, настраиваются по летним инсоляционным кривым (рассчитанным для 65° с.ш.) [2, 5, 7, 10]. Следовательно, актуальным представляется исследование механизма образования проявляющегося в изменении изотопно-кислородного состава морских отложений 100-тысячелетнего цикла эксцентриситета земной орбиты в связи с изменением солярного климата Земли.

Расчёты годового (рисунок) и сезонного облучения выполнялись на основе модели Ж. Ласкара [6, 8, 9], по ранее разработанной методике [4]. Максимальный размах изменений годовой ИО в неоплейстоцене составляет $0,432 \text{ Вт/м}^2$ (0,127% от среднего). Годовая ИО Земли и полушарий тесно связана с динамикой эксцентриситета земной орбиты (коэффициент корреляции 0,977).

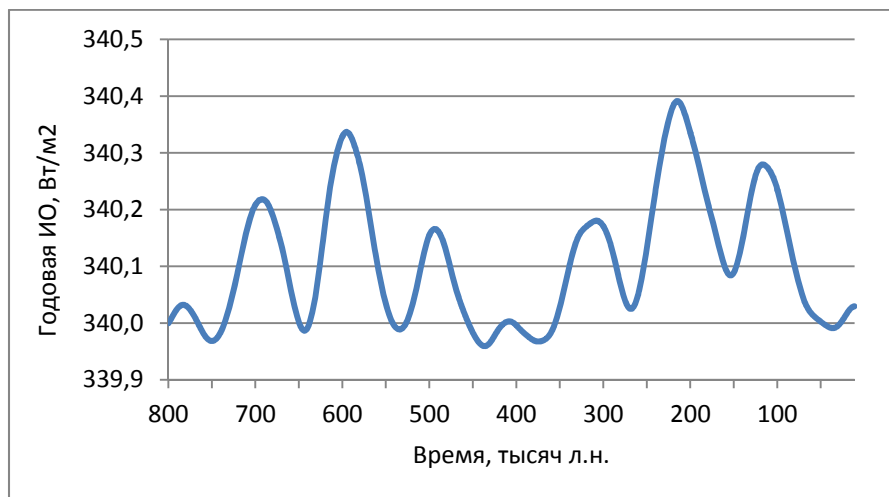


Рисунок. Изменение годового облучения Земли в неоплейстоцене.

Рассчитывались средние значения сезонной интенсивности облучения полушарий для фаз увеличения и уменьшения годовой ИО (таблица 1).

Таблица 1. Средние значения сезонного облучения полушарий в фазы уменьшения и увеличения годовой интенсивности облучения

Фаза годовой ИО	Время, тысяч лет назад	Летняя ИО в СП, Вт/м^2	Зимняя ИО в СП, Вт/м^2	Зимняя ИО в ЮП, Вт/м^2	Летняя ИО в ЮП, Вт/м^2
Уменьшения	782,0 – 750,0	424,296	255,358	254,062	426,530
Увеличения	749,5 – 693,0	427,344	253,523	254,124	426,309
Уменьшения	692,5 – 644,0	426,277	254,550	254,407	426,308
Увеличения	643,5 – 595,0	427,668	253,950	255,617	424,855
Уменьшения	594,5 – 534,0	425,062	255,149	252,991	428,653
Увеличения	533,5 – 495,0	426,448	254,274	254,530	425,873
Уменьшения	494,5 – 436,0	426,352	254,014	254,183	426,200
Увеличения	435,5 – 408,0	426,965	253,065	253,475	426,483
Уменьшения	407,5 – 374,5	425,128	254,975	254,686	425,425
Увеличения	374,0 – 308,0	427,357	253,648	254,917	425,203
Уменьшения	307,5 – 268,0	424,396	255,551	253,205	428,250
Увеличения	267,5 – 215,0	429,013	253,209	255,753	424,594
Уменьшения	214,5 – 153,5	425,021	255,462	252,761	429,547
Увеличения	153,0 – 117,0	428,363	253,456	255,363	425,065
Уменьшения	116,5 – 36,5	426,011	254,379	253,847	427,106
Увеличения	36,0 – 11,0	425,972	254,957	255,963	423,856

Примечание: СП – Северное полушарие, ЮП – Южное полушарие

Летняя интенсивность облучения Северного полушария в фазы увеличения годовой ИО (и эксцентриситета) в среднем на $2,073 \text{ Вт/м}^2$ превышает летнюю ИО Северного полушария в фазах уменьшения годовой ИО. Это составляет 0,486% от среднего для неоплейстоцена значения летней ИО в Северном полушарии ($426,414 \text{ Вт/м}^2$). Интенсивность зимнего облучения Северного полушария в фазы увеличения годовой ИО в среднем на $1,169 \text{ Вт/м}^2$ уступает зимней ИО Северного полушария в фазах уменьшения годовой ИО, что составляет 0,460% от среднего для неоплейстоцена значения зимней ИО ($254,280 \text{ Вт/м}^2$).

Зимняя ИО в Южном полушарии в фазы увеличения годовой ИО превышает значения зимней ИО в фазы уменьшения годового облучения, в среднем на $1,2 \text{ Вт/м}^2$ (0,472%). Летняя ИО в Южном полушарии в фазы увеличения годовой ИО в среднем на $1,973 \text{ Вт/м}^2$ (0,427%) меньше, чем в фазы уменьшения годовой ИО (табл. 2). Таким образом, в летнее в Северном полушарии и зимнее в Южном полушарии отмечается прямой эффект фазового разделения сезонной интенсивности облучения полушарий по фазам колебания годовой ИО. В зимнее в Северном полушарии и летнее в Южном полушарии полугодие проявляется обратный эффект (табл. 2).

Таблица 2. Средние значения разделения интенсивности сезонного облучения в полушариях в фазу увеличения годовой ИО

Северное полушарие	
Летнее полугодие $+2,073 \text{ Вт/м}^2$ (0,486%)	Зимнее полугодие $-1,169 \text{ Вт/м}^2$ (-0,460%)
Южное полушарие	
Зимнее полугодие $+1,2 \text{ Вт/м}^2$ (0,472%)	Летнее полугодие $-1,973 \text{ Вт/м}^2$ (-0,427%)

Эффект разделения сезонного облучения по фазам изменения годовой интенсивности облучения Земли и полушарий (или эксцентриситета земной орбиты) позволяет объяснить механизм влияния 100-тысячелетнего цикла на изменения природной среды и причины его проявления в изотопно-кислородном составе донных фораминифер и ледовых кернов. Вариации разделения сезонной ИО втрое (в относительных величинах) превышают размах, имеющих такую же периодичность колебаний годовой ИО Земли и полушарий. Эффект связан с тем, что динамикой эксцентриситета (которым определяется динамика годовой ИО Земли и полушарий) модулируется изменение амплитуды сезонных ИО в полушариях. При увеличении эксцентриситета земной орбиты размах колебаний сезонных (летних и зимних) ИО в полушариях возрастает. При уменьшении эксцентриситета размах колебаний сезонных ИО уменьшается.

На основе эффекта сезонного разделения в солярном климате Земли в неоплейстоцене выделяются 7 теплых и 9 холодных солярных эпох (солярная эпоха 36,0 – 11,0 относится к холодной) (табл. 1), соответствующих

в Северном полушарии фазам увеличения и уменьшения эксцентриситета земной орбиты, которые могут стать основой солярной геохронологии и климатостратиграфии неоплейстоцена.

Литература

1. *Большаков В.А.* Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. М.: МГУ, 2003. 256 с.
2. *Bassinot F.C., Labeyrie L.D., Vincent E., et al.* The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal// *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1994. V. 126. P. 91–108.
3. *Berger W.H.* The 100-kyr ice age cycle: internal oscillation or inclinational forsing? // *International Journal of Earth Sciences*, 1999. V. 88 (2). P. 305–316. DOI:10.1007/s005310050266
4. *Fedorov V.M., Kostin A.A.* The Calculation of the Earth's Insolation for the Period 3000 BC–AD 2999 Processes in GeoMedia, 2020. V. I. Springer Geology P. 181–92. DOI: 10.1007/978-3-030-38177-6_20
5. *Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N.* Variation in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages // *Science*. 1976. V. 194. P. 1121–1132.
6. <https://vo.imcce.fr/insola/earth/online/earth/La2004/index.html>
7. *Imbrie J., Hays J., Martinson D., et al.* The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record // *Milankovitch and Climate*. NATO ASI Ser. C. 126. Eds. Berger A.L. et al. Dordrecht: Reidel, 1984. P. 269–305.
8. *Laskar J., Robutel P., Joutel F., et al.* A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth // *Astronomy & Astrophysics* 2004. V. 428. № 1. P. 261–285. DOI: 10.1051/0004-6361:20041335
9. *Laskar J., Fienga A., Gastineau M. and Manche H.* La2010: a new orbital solution for the long-term motion of the Earth // *Astronomy & Astrophysics* 2011. V. 532. A89. DOI: 10.1051/0004-6361/201116836.
10. *Lisiecki L.E., Raymo M.E.* A Pliocene–Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // *Paleoceanography*, 2005. V. 20. PA 1003. DOI: 10.1029/2004PA001071