

ИЗОТОПНАЯ И СОЛЯРНАЯ ГЕОХРОНОЛОГИЯ И КЛИМАТОСТРАТИГРАФИЯ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА

Федоров В.М.

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

ISOTOPIC AND SOLAR GEOCHRONOLOGY AND CLIMATOSTRATIGRAPHY OF THE PLEISTOCENE AND HOLOCENE

Fedorov V.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

It is shown that the isotope-oxygen scales of geochronology and climatostratigraphy of the Neopleistocene and Holocene are based on minor variations of the $\delta^{18}\text{O}$ index. The range of fluctuations of $\delta^{18}\text{O}$ in the Neopleistocene is about 0.002, and 0.001 at an earlier time. The data of isotope-oxygen analysis are adjusted according to the values of orbital characteristics or summer insolation at 65 degrees north latitude. Three stratigraphic units based on the dynamics of the Earth's solar climate in the Neopleistocene and Holocene (stages of about 400-millennial cycle, solar epochs and phases of climatic precession) are proposed in the work. Based on the selected geochronological units, a scale of solar (astronomical) geochronology was created and a chronological adjustment of the climatostratigraphic scheme of the East European Plain (Northern Eurasia) was performed. As a result of the chronological adjustment, a complete energy correspondence of glacial and interglacial climatic epochs with periods of negative and positive epochal averages of the summer irradiation anomaly of the Northern Hemisphere was obtained.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-319-322>

В настоящее время широкое распространение в палеогеографии, четвертичной геологии и стратиграфии плейстоцена получили схемы, построенные на изменении соотношении изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в составе донных фораминифер. При этом грандиозные изменения природной среды в неоплейстоцене (развитие мощных материковых оледенений, их исчезновение, понижение и повышение уровня Мирового океана на 100 и более метров, формирование мощных толщ многолетнемерзлых пород и др.) отражаются изменениями показателя $\delta^{18}\text{O}$ в весьма узком диапазоне от 0,002 (2 ‰) в неоплейстоцене до 0,001 (1 ‰) в более раннее время. В изотопно-кислородном (ИК) составе плейстоценовых морских отложений выделяются периодичности (около 100, 41 и 23 тысячи лет), соответствующие периодам изменения эксцентриситета, наклона оси вращения и долготы перигелия, соответственно, регулирующих облучение Земли. Все известные ИК шкалы настраивались по различным инсоляционным или орбитальным кривым. ИК шкала глубоководной записи, полученная Ж. Хейсом с коллегами [7], настраивалась по рассчитанным А. Вернекаром значениям инсоляции в летнее калорическое полугодие для 65° с.ш. [12]. ИК шкала в от-

дельных частях колонки сдвигалась для обеспечения лучшего фазового соответствия между палеоклиматическим откликом и астрономическими характеристиками [7]. При анализе результатов и создания ИК шкалы Дж. Имбри применялся метод орбитальной регулировки, который заключался в подгонке значений $\delta^{18}\text{O}$ под теоретически рассчитанные кривые прецессии, угла наклона оси и эксцентриситета. Эти расчеты были выполнены А. Берже [5, 8]. Созданная Ф. Бассино с коллегами ИК шкала [4] настраивалась по значениям июльской инсоляции на 65° с.ш. [6]. Хронологические погрешности таких настроек не приводятся. Основой геохронологии плейстоцена в настоящее время является ИК шкала, созданная на базе модели LR04 [11]. LR04 – орбитально настроенная стратиграфическая модель, основанная на осредненных по 57 колонкам данных ИК анализа бентосных фораминифер. Результаты этого анализа настраивались по инсоляции 65° с.ш. 21 июня [11]. Для настройки использовались расчеты Ж. Ласкара с коллегами [9]. То есть, настройка ИК кривой в модели LR04 для Земли осуществляется по облучению одной из 180 параллелей в один из 365/366 дней в году.

По астрономическим эфемеридам [10] по ранее разработанной методике [3] рассчитывалось годовое и сезонное облучение Земли (рисунок).

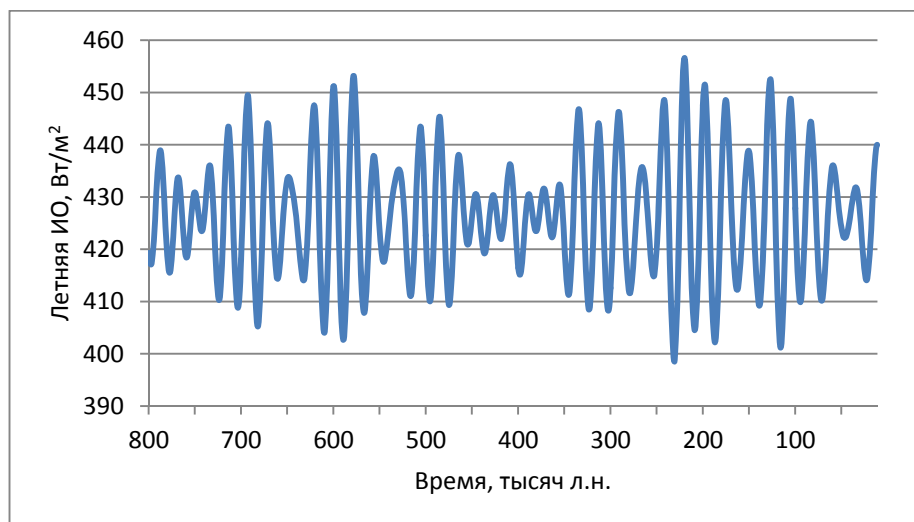


Рисунок. Изменение летней ИО Северного полушария в неоплейстоцене.

В результате анализа полученных данных по интенсивности облучения (ИО) Земли был определен эффект разделения сезонного облучения по фазам эксцентриситета или годовой интенсивности получения. Также были выделены стадии высокоамплитудных (ВАК) и низкоамплитудных (НАК) колебаний годовой и сезонной интенсивности облучения в около 400-тысячелетнем цикле. Рассчитаны фазы климатической прецессии (ФКП), которые по отношению к среднему многолетнему значению летней ИО в Северном полушарии (положительные или отрицательные) были отнесены к теплым или холодным ФКП.

На основе анализа вековых вариаций приходящей радиации для неоплейстоцена определяются три геохронологические единицы, отражающие динамику солярного климата Земли, которые могут составить основу солярной (астрономической) геохронологии и климатостратиграфии неоплейстоцена и голоцена.

1) Стадии НАК и ВАК около 400-тысячелетнего цикла эксцентриситета и годовой ИО, отличающиеся различной амплитудой колебания летней ИО (в 2,025 раза). Продолжительность стадии ВАК составляет около 300 тысяч лет, стадии НАК – около 100 тысяч лет. Стадии ВАК и НАК проявляются в полушариях синхронно.

2) Солярные эпохи (с.э.) связаны с динамикой эксцентриситета, которой регулируется изменение годовой ИО Земли и полушарий, а также амплитуды сезонного облучения полушарий. Следствием этого является эффект разделения сезонного облучения по фазам годовой ИО. Фазе увеличения годового облучения в Северном полушарии соответствует теплая солярная эпоха, фазе уменьшения – холодная. Продолжительность теплых и холодных солярных эпох в среднем составляет около 50 тысяч лет. Теплые и холодные солярные эпохи проявляются в полушариях асинхронно.

3) Основная дисперсия солярного климата определяется климатической прецессией, происходящей на фоне периодически повторяющихся теплых и холодных солярных эпох. Продолжительность теплых и холодных ФКП в среднем составляет 10–11 тысяч лет. Эта периодичность связана с динамикой долготы перигелия. На основе отмеченных периодичностей в изменении солярного климата создана шкала солярной (астрономической) геохронологии неоплейстоцена и голоцена Северного полушария, а также выполнена корректировка климатостратиграфической схемы неоплейстоцена Восточно-Европейской равнины [1], построенной по данным спорово-пыльцевого анализа и результатам ЭПР метода абсолютного датирования скелетных остатков малакофауны [2]. Настройка основывалась на принятии в качестве критериев следующих правил: холодная климатическая эпоха, как правило, должна начинаться и заканчиваться холодными ФКП; теплая климатическая эпоха, как правило, должна начинаться и заканчиваться теплыми ФКП;

В результате выполненной по этим критериям коррекции получено энергетическое соответствие в облучении Северного полушария Земли и климате Восточно-Европейской равнины. Достигнуто полное соответствие теплых климатических эпох периодам с положительными средними аномалиями летней ИО и холодных климатических эпох – периодам с отрицательными аномалиями. Для обобщенных по крупным регионам климатостратиграфических схем такое энергетическое соответствие представляется естественным, при принятии ведущей роли радиационного фактора в изменении глобального климата Земли в геологическом прошлом.

Литература

1. Болиховская Н.С. Пространственно-временные закономерности развития растительности и климата Северной Евразии в неоплейстоцене // Археология, этнография и антропология Евразии. 2007. № 4 (32). С. 2–28.
2. Болиховская Н.С., Молодьков А.Н. К корреляции континентальных и морских четвертичных отложений Северной Евразии по палинологическим данным и результатам ЭПР датирования / Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия. М., 1999. С. 25–51.
3. Федоров В.М. Проблемы параметризации радиационного блока физико-математических моделей климата и возможности их решения // Успехи физических наук, 2023. Т. 193. № 9. С. 971–988. DOI: 10.3367/UFNr.2023.03.039339
4. 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. Vol. 126. P. 91–108.
5. Berger A. Long-term variation of caloric insolation resulting from the Earth's orbital elements // Quat. Res., 1978. V. 9. P. 139–167.
6. Berger A., Loutre M.F. Astronomical solutions for paleoclimate studies over the last 3 million years // Earth Planet. Sci. Lett., 1992. V. 111. P. 369–382.
7. 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.
8. Imbrie J., Hays J.D., Martinson D.G., et al. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology, of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record / In: Milankovitch and Climate, Part 1, edited by A. Berger. New York: Springer, 1984. P. 269–305.
9. Laskar J., Robutel P. The chaotic obliquity of the planet // Nature, 1993. V. 361. P. 608–612.
10. 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
11. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // Paleoclimatology, 2005. V. 20. PA1003. P. 1–17. DOI:10.1029/2004PA001071.
12. Vernekar A. Long-period global variations of incoming solar radiation // Series: Meteorological Monographs. American Meteorological Society, 1972. V. 12. № 34. 128 p.