

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА В КЛИМАТЕ ПЛЕЙСТОЦЕНА НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНО- ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

Лоскутов Е.М.¹, Мухин Д.Н.¹, Гаврилов А.С.¹, Куртц Ю.^{1,2}, Фейгин А.М.¹

¹Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46
603950, Россия, e-mail: loskutov@ipfran.ru

²Потсдамский институт изучения климатических изменений,
Потсдам, 14473, Германия

Статья поступила в редакцию 25.12.2018, одобрена к печати 30.01.2019

На сегодняшний день причины возникновения среднеплейстоценового перехода (СПП) – смены 41 тысячелетней периодичности ледниковых циклов плейстоцена на 100 тысячелетнюю – остается одним из актуальных вопросов палеоклиматологии. В этой работе мы показываем как байесовы методы анализа данных и нелинейно-динамическая эмпирическая реконструкция помогают выявить основные механизмы, управляющие изменчивостью климата в плейстоцене. Наша эмпирическая модель, построенная по изотопно-кислородной записи LR04 (Lisiecki, 2005), однозначно связанной с температурой поверхности океана, учитывает основные факторы, которые могут влиять на климат плейстоцена: собственную изменчивость климата, плавные тренды параметров климатической системы и вариации внешних факторов (инсоляционного форсинга). При помощи этой модели нами установлено, что эволюция ледниковых циклов плейстоцена определяется, прежде всего, воздействием более быстрых – тысячелетних – процессов климатической изменчивости. Мы демонстрируем, что, хотя инсоляционный форсинг не является причиной возникновения СПП, он вносит существенный вклад в динамику ледниковых циклов после СПП через механизм фазовой синхронизации: период межледниковья начинается после достижения максимума меридиональным градиентом инсоляции.

Исследования выполнены при поддержке Программы фундаментальных исследований президиума РАН «Нелинейная динамика: фундаментальные проблемы и приложения».

Ключевые слова: нелинейная динамика, стохастические модели, моделирование климата, палеоклимат

Литература

Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records // *Paleoceanography*. 2005. Vol. 20. Issue 1.

**AN EMPIRICAL STUDY OF THE CRITICAL TRANSITION IN THE
PLEISTOCENE CLIMATE BASED ON NONLINEAR DYNAMIC
RECONSTRUCTION**

Loskutov E.M.¹, Mukhin D.N.¹, Gavrilov A.S.¹, Kurths J.^{1,2}, Feigin A.M.¹

¹Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, 603950, Russia

E-mail: loskutov@ocean.ru

² Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, 14473, Germany

Submitted 25.12.2018, accepted 30.01.2019

Until now, cause of the Mid-Pleistocene Transition (MPT), when the dominant periodicity of climate cycles changed from 41,000 to 100,000 years in the absence of significant change in orbital forcing, are still an open question in Paleoclimatology. Here we show how a Bayesian data analysis and nonlinear dynamical reconstruction methods can help to reveal the main mechanisms underlying the Pleistocene variability. Our Bayesian data-driven model from benthic $\delta^{18}\text{O}$ records (LR04 stack) accounts the main factors which may potentially impact climate of the Pleistocene: internal climate dynamics, gradual trends, variations of insolation, and millennial variability. In contrast to some theories, we uncover that under long-term trends in climate, the strong glacial cycles have appeared due to internal nonlinear oscillations induced by millennial noise. We find that while the orbital Milankovitch forcing does not matter for the MPT onset, the obliquity oscillation phase-locks the climate cycles through the meridional gradient of insolation.

The research was supported by the RAS Presidium Program «Nonlinear dynamics: fundamental problems and applications».

Keywords: nonlinear dynamics, stochastic models, climate modeling, paleoclimate

References

*Lisiecki L.E. and Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanograph*, 2005, Vol. 20, Issue 1.*