

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеський державний екологічний університет

**МЕТЕОРОЛОГІЯ, КЛІМАТОЛОГІЯ
ТА ГІДРОЛОГІЯ**

МІЖВІДОМЧИЙ НАУКОВИЙ ЗБІРНИК УКРАЇНИ

Заснований у 1965 р.

ВИПУСК 48

Одеса
«Екологія»
2004

УДК 551.590.21 : 517.98

А. В. ГЛУШКОВ, д-р физ.-мат. наук,

В. Н. ХОХЛОВ, канд. геогр. наук,

Одесский государственный экологический университет

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ НА НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Вейвлет-разложение используется для анализа температуры по данным керн со ст. Восток. Показано, что периоды трех детализированных сигналов совпадают с циклами Миланковича. Относительную «кратковременность» потепления климата вызывают циклы, связанные с прецессией и углом наклона оси Земли.

Постановка проблемы и анализ последних исследований. Гипотеза Миланковича о том, что большая часть предполагаемых изменений в климате прошлого является откликом на близкие к периодическим изменения ориентации и положения Земли относительно Солнца, до сих пор привлекает внимание исследователей. В многих монографиях и научных статьях на эту тему (см., например, [1]) утверждается, что изменения инсоляции являются основным фактором, контролирующим климат на временном масштабе более 10 тысяч лет. Практически все они основываются на анализе различных палеоданных, например, по кернам со ст. Восток [2] или со дна океана [3].

Миланкович выделил четыре цикла в изменении орбиты Земли: первый длительностью 23 и 19 тыс. лет характеризуется месяцем наибольшего сближения Земли и Солнца (прецессия); второй длительностью 41 тыс. лет характеризуется изменением угла наклона оси Земли относительно эклиптики; остальные два продолжительностью около 100 и 413 тыс. лет характеризуются изменением эксцентриситета орбиты Земли.

В последние 800 тыс. лет наблюдались значимые изменения обледенения и потепления во временном масштабе около 100 тыс. лет. При этом периоды потепления, которые и объясняет гипотеза Миланковича, имели продолжительность намного меньшую, чем периоды обледенения (см. рис. 2, а). С одной стороны, это в некоторой мере опровергает предположение Миланковича, так как ясно, что изменение эксцентриситета должно происходить постепенно. С другой стороны, такое поведение может быть обусловлено одновременным действием вкладов изменений всех трех параметров орбиты, что приводит к так называемой катастрофе сборки [4].

Решить эту проблему можно с помощью разложения временных данных о палеоклимате (например, о температуре [2]) с помощью какого-нибудь метода. В этой работе используем вейвлеты, которые являются функциями стандартных блоков и аналогичны тригонометрическим функциям синус и косинус. Однако, преобразование Фурье, которое строится на основе последних, хотя и получает детали из частоты сигнала, но вся информация о размещении отдельной частоты внутри сигнала теряется. Поэтому при анализе нестационарных сигналов за счет своей локальности вейвлеты имеют существенное преимущество. Для более детального ознакомления с теорией вейвлетов можно порекомендовать монографию И. Добеши, которая недавно была переиздана на русском языке [5].

Здесь будем использовать так называемое стационарное вейвлет-преобразование. Отметим, что оно имеет достаточно хорошее разрешение на больших временных масштабах и позволяет более непосредственно изолировать временные ряды главных компонентов (см., например, [6]). В качестве материнского вейвлета применим вейвлет Добеши 15-го порядка, который является биортогональным и поддерживает дискретное вейвлет-преобразование [5].

Целью настоящей работы является выяснение возможных причин существенной разницы в продолжительности периодов обледенения и потепления с помощью вейвлет-разложения.

В результате вейвлет-разложения были получены 10 детализированных сигналов ($D_1, D_2 \dots, D_{10}$). Высокочастотные осцилляции описываются компонентами с высокими индексами, а низкочастотные – с низким.

Сначала рассмотрим глобальный спектр энергии для соответствующих коэффициентов вейвлет-преобразования (рис. 1). По сути, величины на рис. 1 представляют собой процентное содержание энергии, соответствующее детализированным компонентам.

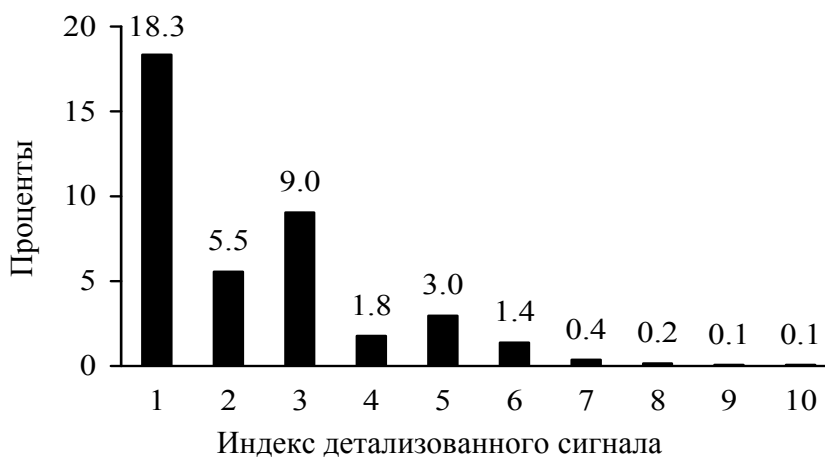


Рис. 1. Глобальный спектр энергии

Максимальная часть энергии приходится на самую низкочастотную часть спектра – компонент D_1 . Однако период этого компонента превышает 400 тыс. лет и, в связи с тем, что использовались данные о температуре по керну ст. Восток [2], продолжительность которых около 420 тыс. лет, его анализ не имеет смысла. Также, наблюдаются два максимума энергии, приходящиеся на компоненты D_3 и D_5 . Период первого из них в среднем составляет 100 тыс. лет, а второго – около 40 тыс. лет. То есть, вейвлет-разложение дало нам два из указанных выше факторов изменения орбиты, а это может служить еще одним подтверждением гипотезы Миланковича. Цикл с периодичностью 19-23 тыс. лет описывает компонент D_6 . Хотя от и не имеет максимума энергии, в дальнейшем будем рассматривать и его тоже.

Таким образом, с помощью вейвлет-разложения мы получили детализированные компоненты, описывающие различные периоды изменения температуры, схожие с циклами изменения орбиты Земли по Миланковичу, причем на два из них приходится максимумы глобального спектра энергии. Коэффициенты корреляции между полученными детализированными сигналами и данными о параметрах орбиты Земли за последние 420 тыс. лет [7] во всех трех случаях превышали 0,6.

На рис. 2 представлена температура по керну со ст. Восток и детализированные компоненты D_3 , D_5 и D_6 . Как видно, именно эксцентриситет определяет ледниковые и межледниковые периоды в климате Земли. Однако резкое потепление является причиной воздействия всех трех параметров орбиты Земли (вертикальные линии 1, 5 и 6 на рис. 2). Последующее столь же резкое похолодание вызвано понижением температуры за счет угла наклона и прецессии орбиты Земли, хотя вклад эксцентриситета орбиты направлен на продолжение потепления. Интересным примером такого неоднозначного тройственного влияния является период потепления в пределах 250-200 тыс. лет до н.э. (линия 2). Это потепление наблюдалось несколько раньше максимума эксцентриситета и было вызвано влиянием остальных двух факторов. Однако оно и закончилось ненормально быстро, что также является результатом указанных двух факторов (линия 3). Когда же, несколько позже, наблюдалось совместное влияние трех параметров орбиты (линия 4), то опять наблюдалась резкая тенденция к потеплению климата.

Выводы. Таким образом, проведенный анализ показал, что периоды резкого потепления климата на Земле, по сути, определяются совместным однонаправленным влиянием трех параметров орбиты Земли: эксцентриситета, угла наклона оси к эклиптике и прецессии. Однако остается открытым вопрос о различной продолжительности ледниковых и межледниковых периодов. Скорее всего, решить его, основываясь только на астрономических факторах, нельзя. Ясно, что эти факторы определяют лишь внешнее воздействие на климатическую систему Земли, в которой также наблюдаются процессы и обрат

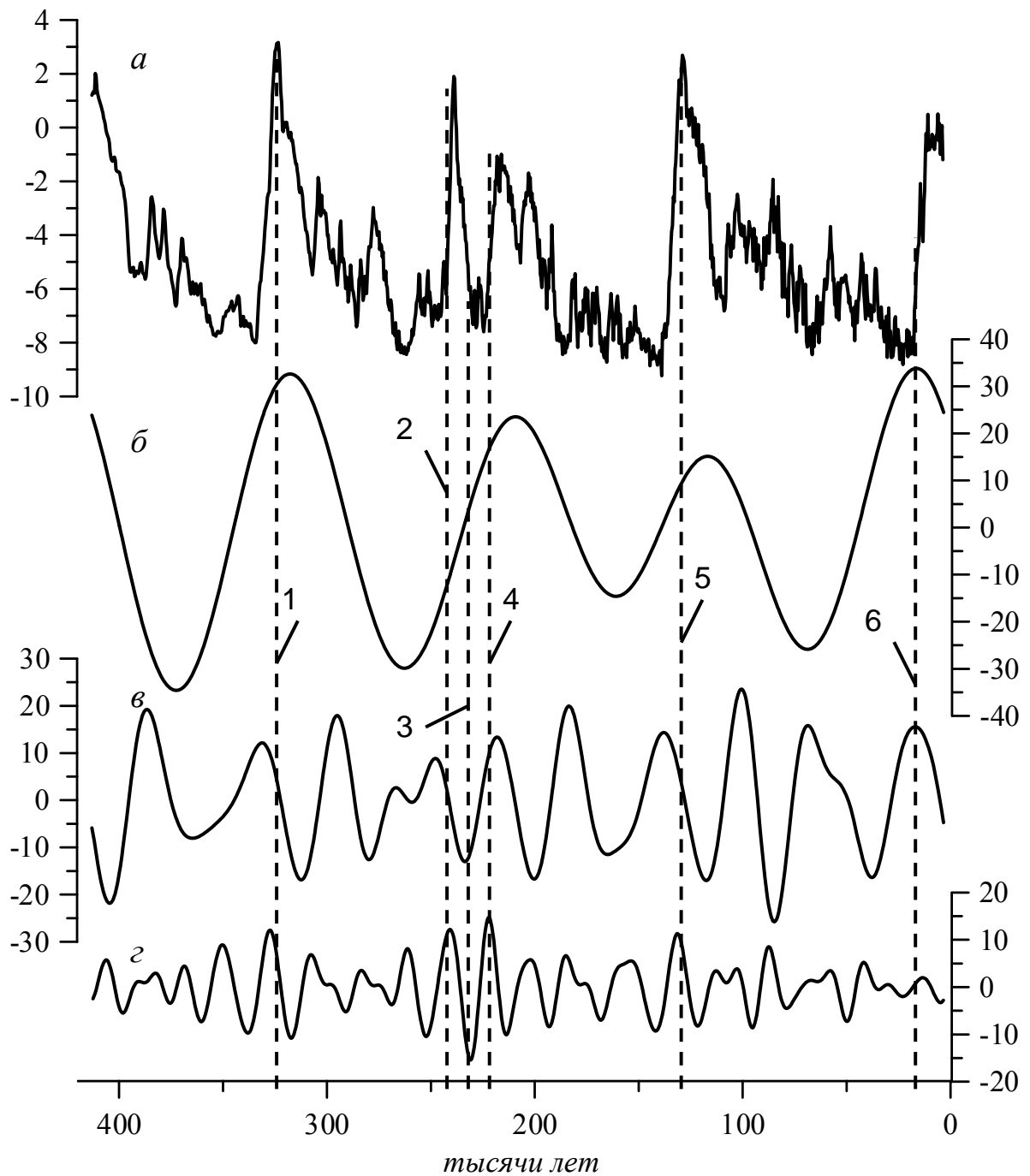


Рис. 2. Температура ($^{\circ}\text{C}$) по данным керна со ст. Восток (*a*) и ее разложение на детализированные сигналы D_3 (*б*), D_5 (*в*) и D_6 (*г*)

ные связи, определяющие изменение температуры (см. например, [8]). Скорее всего, именно обратные связи, связанные с наличием увеличенного ледового покрова в ледниковые периоды, здесь играют определяющую роль. Тщательное определение и учет этих связей в энерго-балансовых моделях климата Земли и может быть тем решающим фактором, который позволит построить успешный ретро-прогноз.

А при составлении же прогноза, необходимо учитывать и климатообразующий фактор, который появился в последние столетия – антропогенный.

Л и т е р а т у р а

1. *Ruddiman W.F.* Earth's climate: past and future. – New York: W.H. Freeman, 2001. – 465 p.

2. *Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I., Barnola J.M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis J., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V.M., Legrand M., Lipenkov V., Lorius C., Pepin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M.* Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica // *Nature*. – 1999. – Vol. 399. – P. 429–436.

3. *Berger W.H., Bickert T., Schmidt H., Wefer G.* Quaternary oxygen isotope record of pelagic foraminifers: Site 806, Ontong Java Plateau / *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*. – 1993. – P. 381–395.

4. *Гилмор Р.* Прикладная теория катастроф. Т. 2: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 285 с.

5. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам: Пер. с англ. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.

6. *Nason G., von Sachs R., Kroisand G.* Wavelet processes and adaptive estimation of the evolutionary wavelet spectrum // *J. Royal Stat. Soc.* – 2000. – Vol. B-62. – P. 271–292.

7. *Berger A., Loutre M.F.* Insolation values for the climate of the last 10 million of years // *Quaternary Sciences Review*. – 1991. – Vol. 10. – P. 297-317.

8. *Glushkov A.V., Khokhlov V.N.* Modern mathematical modelling climate changes // In: *Environment and Ecology of Siberia, the Far East, and the Arctic*. / Ed. Zuev V.V., SB RAN, Tomsk. – 2003. – P. 131–142.

A.V. Glushkov, V.N. Khokhlov

WAVELET-ANALYSIS OF INFLUENCE OF EARTH ORBITAL PARAMETERS VARIATIONS ON OBSERVED CLIMATE CHANGE

Wavelet-decomposition is used for the analysis of temperature obtained from the Vostok ice core. It is shown the periods of three detailed components coincide with Milankovitch's cycles. The relative «short-term» warming of climate is caused by the cycles connected with precession and axis slope of Earth.

Поступила 17.10.2003