

# ОРБИТАЛЬНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА КАК АЛЬТЕРНАТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ИНСОЛЯЦИОННЫХ КРИВЫХ ДЛЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЙ И КОРРЕЛЯЦИЙ

**В.А. Большаков**

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва; e-mail: vabolshakov@mail.ru

Показана принципиальная необоснованность использования дискретных (для одного полугодия, месяца или суток, под одной широтой) вариаций инсоляции для палеоклиматических интерпретаций и моделирования. Посредством сопоставления с изотопно-кислородной записью LR04 показаны преимущества использования орбитально-климатической диаграммы для палеоклиматических интерпретаций

## **Введение**

В 1976 г. в известной публикации Хейса, Имбри и Шеклтона [Hays et al., 1976] было впервые показано, что более 80% глобальной климатической изменчивости последних 500 тысяч лет, полученных по двум глубоководным колонкам, поднятым в Индийском океане, характеризуется периодичностью, близкими основным гармоникам вариаций орбитальных элементов Земли – около 100, 41 и 23 и 19 тыс лет. Более того, было выявлено соответствие механизма климатического влияния орбитальных вариаций реальным климатическим изменениям, отражённым в палеоклиматических записях. Например, выделенный 40-тысячелетний палеоклиматический сигнал, как и должно быть, следовал, с некоторым отставанием по фазе, за соответствующим орбитальным инсоляционным сигналом, обусловленным вариациями наклона земной оси. При этом минимальным значениям угла наклона, в согласии с общепринятым механизмом климатического влияния этого орбитального элемента (см. ниже), соответствовали похолодания в указанной гармонике климатического сигнала. Таким образом, впервые была четко подтверждена справедливость орбитальной гипотезы палеоклимата, согласно которой основной причиной глобальных климатических колебаний плей-

стоцена – циклов оледенения-межледниковья – являлись вариации инсоляции, обусловленные изменениями орбитальных элементов Земли.

Однако, полученные данные стали трактовать как доказательство правильности теории Миланковича, которая является одной из частных версий орбитальной теории палеоклимата. Такая трактовка получила практически повсеместное распространение, даже несмотря на то, что в работе [Hays et al., 1976], а впоследствии и во многих исследованиях других авторов [Большаков, 2001, 2003б; Большаков, Большаков, 1999; Imbrie et al., 1984, 1993; Muller, McDonald, 1995; Raymo, Nisancioglu, 2003; Ruddiman et al., 1986 и других] были обнаружены существенные противоречия теории Миланковича эмпирическим данным. Такое положение не в последнюю очередь было связано с отсутствием корректной общепринятой формулировки понятия «теория Миланковича» [Большаков, 2003б, 2011; Большаков, Капица, 2011; Рое, 2006].

## **Инсоляционные диаграммы (кривые) Миланковича и его последователей**

Как известно, основным фактором широкого признания теории Миланковича первоначально послужило то, что его инсоляционная диаграмма

хорошо соответствовала альпийской схеме Пенка и Брюкнера, согласно которой в плейстоцене было выделено 4 оледенения – Вюрм, Рисс, Миндель и Гюнц. Диаграмма Миланковича представляет изменения инсоляции летнего калорического полугодия под  $65^\circ$  с.ш. Уменьшение инсоляции Миланкович сопоставлял с похолоданиями, увеличение – с потеплениями, а самые глубокие минимумы инсоляционной диаграммы интерпретировались им как оледенения Северного полушария для последних 600 тыс. лет [Миланкович, 1939]. Миланкович использовал линейный механизм преобразования вычисленных им изменений инсоляции в климатические колебания, при котором изменения температуры на данной широте (особенно в средних и низких широтах) по форме повторяли изменения инсоляции на этой же широте.

Кривые дискретной и локальной (т.е. не полной годовой и не для всей планеты) инсоляции Миланковича учитывают прямой вклад двух орбитальных элементов – прецессии и наклона земной оси. Прямым вкладом вариаций эксцентриситета в изменения инсоляции Миланкович пренебрег ввиду его малости (не более 0,2% в 100-тысячелетнем эксцентриситетном цикле за последний миллион лет). Важным обстоятельством является то, что изменения инсоляции, связанные с вариациями этих орбитальных элементов, имеют существенные структурные различия. Прецессия изменяет сезонные контрасты инсоляции, противоположные в разных полушариях. Например, климатические условия с длительным прохладным летом и мягкой короткой зимой в одном полушарии будут сменяться, в течение 21-тысячелетнего в среднем цикла прецессии равноденствий, условиями с жарким коротким летом и длинной холодной зимой, тогда как в другом будут происходить обратные изменения. Очень существенно то, что суммарное годовое прецессионное изменение инсоляции равно нулю для любой широты, т.к. увеличение, например, летней инсоляции компенсируется уменьшением зимней и наоборот.

Вариации угла наклона ( $\epsilon$ ) земной оси к перпендикуляру к плоскости эклиптики перераспределяют инсоляцию по широтам. При этом, если считать форму Земли шарообразной, что близко к реальности, инсоляция всей планеты при изменении угла наклона не изменяется. Например, при увеличении  $\epsilon$  увеличивается годовая инсоляция высоких широт обоих полушарий и соответственно уменьшается инсоляция в низких широтах. При уменьшении угла  $\epsilon$  уменьшается инсоляция «высоких» широт и увеличивается инсоляция «низких» широт. Ещё раз отметим, что при изменениях угла наклона земной оси изменяется полная (суммарная) годовая инсоляция соответствующих широт обоих полушарий.

Таким образом, кардинальным отличием связанных с двумя рассмотренными орбитальными элементами вариаций инсоляции является, во-первых, то, что прецессия не изменяет годовую инсоляцию на любой широте, тогда как при вариациях угла  $\epsilon$  изменяется суммарная годовая инсоляция соответствующих (и высоких, и низких) широт. Во-вторых, прецессионные изменения инсоляции противофазны в разных полушариях, тогда как вариации инсоляции, связанные с изменениями угла наклона земной оси, происходят однофазно в противоположных полушариях. Замечу здесь, что подчеркнутые особенности вариаций прецессионной инсоляции указывают на существенную проблематичность установления механизма глобального климатического влияния прецессии равноденствий, на что ещё более полутора веков назад указывали британский астроном J. Herschel и немецкий натуралист A. von Humboldt [Большаков, 2003б; Имбри, Имбри, 1988; Bol'shakov, 2008; Croll, 1875]. В-третьих, прецессионные изменения модулируются вариациями эксцентриситета, тогда как изменения угла  $\epsilon$  от эксцентриситета не зависят.

Первым правильным механизмом глобального климатического влияния вариаций наклона земной оси, хотя он не считал этот орбитальный механизм главным, изменяющим климат, дал Дж. Кролль [Croll, 1875]. Для этого он использовал введённый им впервые альбедный механизм положительной обратной связи, усиливающий орбитально обусловленные вариации инсоляции. Кролль справедливо полагал, что наибольшее изменение альбеда земной поверхности обусловлено вариациями площади снежного и ледового покрова более холодных и заснеженных, высоких широт обоих полушарий. Поскольку в низких широтах такой же сильной обратной связи нет из-за отсутствия столь же обширного динамично изменяющегося снежного и ледового покрова, то глобальные колебания климата в ответ на изменения наклона земной оси будут в основном определяться вариациями инсоляции высоких широт. Заметим также, что связанные с наклоном земной оси относительные вариации инсоляции высоких широт выше, чем в низких широтах. Поэтому, по указанным причинам, климатическое влияние одновременных противофазных колебаний инсоляции низких широт будет гораздо меньше.

Легко представить работу такого механизма. Допустим, угол  $\epsilon$  уменьшается, вследствие чего уменьшается годовая инсоляция высоких широт. Уменьшение годовой инсоляции вызывает понижение среднегодовой температуры, что логично приводит к увеличению площади снежного и ледового покрова в этих широтах, т.е. к увеличению

альбедо. Последнее вызывает дополнительное понижение температуры и дальнейшее расширение площади снега и льда. Процесс похолодания в высоких широтах обоих полушарий будет продолжаться, ежегодно усиливаясь в связи с направленным понижением годовой инсоляции, в течение полупериода (примерно 20,5 тысяч лет) вариаций наклона земной оси. После этого угол  $\varepsilon$  начнёт возрастать, вызывая увеличение инсоляции высоких широт, и механизм обратной связи будет теперь работать на потепление по следующей цепочке: увеличение инсоляции  $\rightarrow$  повышение температуры  $\rightarrow$  уменьшение площади снега и льда (таяние)  $\rightarrow$  уменьшение альбедо  $\rightarrow$  повышение температуры и т.д.

Однако столь же прозрачный механизм прямого климатического влияния, приводящего к глобальному похолоданию или потеплению, для прецессионной инсоляции придумать сложно. Во-первых, прецессионные изменения инсоляции противофазны для разных полушарий. Во-вторых, и это главное – прецессия не изменяет количества полного годового солнечного тепла, приходящего к каждой широте Земли – ведь увеличение летней инсоляции компенсируется точно таким же уменьшением зимней и наоборот. Как такой скомпенсированный (по сути – нулевой) инсоляционный сигнал будет усиливаться какой-либо положительной обратной, например, той же альбедной, связью – вопрос не тривиальный. Что приводит к похолоданию в одном из полушарий: условия с длинной холодной зимой и жарким коротким летом, как считал Кролль, или условия с длительным прохладным летом и мягкой короткой зимой, как полагал, вслед за Кёппеном, Миланкович? Строгого количественного (показывающего точно степень похолодания или потепления) обоснования ни одной из этих позиций, насколько мне известно, до сих пор нет.

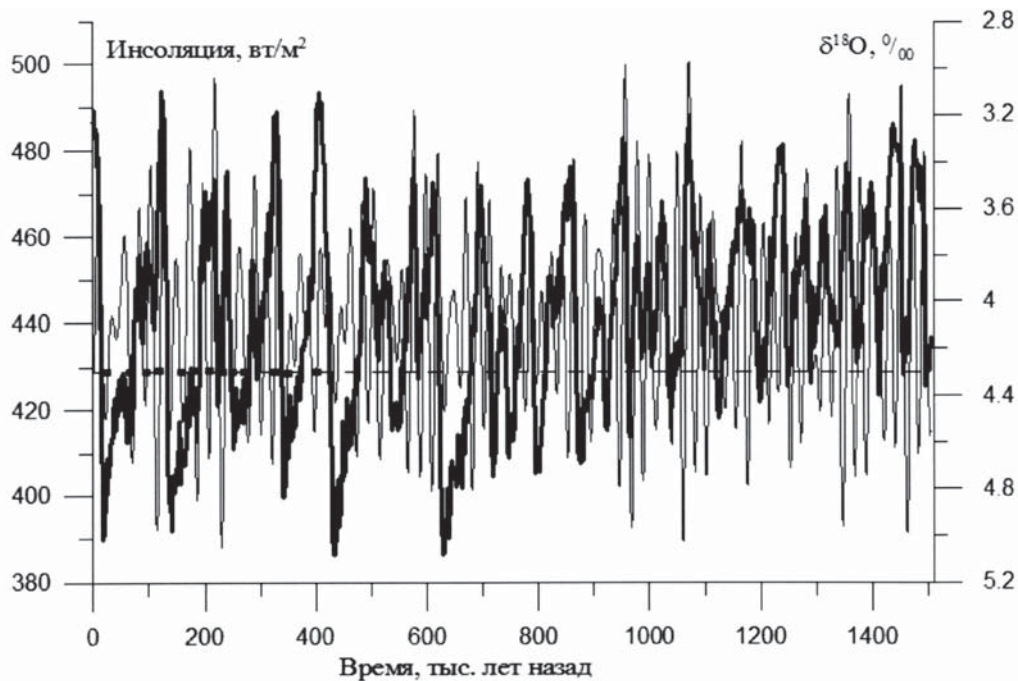
Из сказанного выше о структурных различиях инсоляционных сигналов, связанных с вариациями угла  $\varepsilon$  и с прецессией, очевидно, что, например, одна и та же альбедная обратная связь будет существенно разным образом воздействовать на эти сигналы. Если для первого сигнала есть механизм непосредственного, прямого климатического усиления, то для второго механизм усиления должен быть опосредованным, реагирующим не на полное годовое (равное нулю) изменение инсоляции, а на изменение её сезонных контрастов. Следовательно, объединять эти сигналы в один, например, в летнюю инсоляцию для  $65^\circ$  с.ш., как это сделал Миланкович, нельзя. Достаточно очевидно, что, к примеру, увеличение такой составной инсоляции в 2 раза по своему климатическому воздействию (посредством усиления опять же за счёт наибо-

лее сильной, обусловленной изменением площади снега и льда, альбедной обратной связи) будет совершенно иным (меньшим), нежели такое же увеличение инсоляции, но обусловленное только вариацией угла  $\varepsilon$ .

Сказанное выше для вычисленной Миланковичем инсоляционной кривой летнего калорического полугодия под  $65^\circ$  с.ш. в ещё большей степени относится к инсоляционным кривым его последователей, вычисленным для месячных и даже суточных изменений инсоляции под  $65^\circ$  с.ш. Дело в том, что вклад прецессионной составляющей в месячную или суточную инсоляцию существенно преобладает над вкладом, обусловленным вариациями угла  $\varepsilon$ . Следовательно, такие (дискретные и локальные) инсоляционные кривые тем более нельзя использовать для палеоклиматических интерпретаций и моделирования. Данное заключение в отношении диаграммы Миланковича подтверждается её известным несоответствием эмпирическим, прежде всего изотопно-кислородным (ИК) данным.

Основой стратиграфических корреляций и построений четвертичного периода в последние десятилетия является изотопно-кислородная климатохроностратиграфическая шкала. Хронология зафиксированных в этой шкале ледниковых и межледниковых событий (соответственно четных и нечетных ИК стадий) основана на: 1) наличии в глубоководных разрезах хронологических реперов, прежде всего связанных с датированными палеомагнитными инверсиями, такими как Матуяма-Брюнес (0,78 млн лет), Харамильо-Матуяма (0,99 млн лет), Матуяма-Харамильо (1,07 млн лет), Олдувей-Матуяма (1,77 млн лет), Матуяма-Олдувей (1,95 млн лет) и Гаусс-Матуяма (2,6 млн лет) и 2) выделении в ИК записях глубоководных отложений орбитальных периодичностей (так называемый метод «орбитальной настройки», или «подгонки» – orbital tuning). Наличие временной шкалы ИК записей позволило открыть, в частности, одно из наиболее интересных и изучаемых событий эволюции и динамики плейстоценовых оледенений – «среднеплейстоценовый переход» (the middle Pleistocene transition). Наиболее надёжным эталоном ИК записей пока является глобально осреднённая по 57 глубоководным колонкам Мирового океана составная, для последних 5,3 млн лет, изотопно-кислородная запись по бентосным фораминиферам LR04 [Lisiecki, Raymo, 2005].

Поэтому, для подтверждения сделанного заключения относительно правомочности использования для палеоклиматических интерпретаций среднемесячных и суточных вариаций инсоляции, обратимся к рис. 1, на котором изменения июльской инсоляции под  $65^\circ$  с.ш. для последних



**Рис. 1.** Сопоставление изменений  $\delta^{18}\text{O}$  кривой LR04 [Lisiecki, Raymo, 2005], утолщенная кривая), с вариациями июльской инсоляции под  $65^\circ$  с.ш. [Berger, Loutre, 1992], тонкая кривая). Уровень современной инсоляции показан горизонтальной штриховой прямой.

полутора миллионов лет сравниваются с глобальными климатическими колебаниями, отражёнными в ИК записи LR04. Напомним, что изменения содержания тяжелого изотопа кислорода  $\delta^{18}\text{O}$  в глубоководных осадках отражают в основном колебания глобального объёма льда и, в меньшей степени, температуры. Повышение значения  $\delta^{18}\text{O}$  указывает на увеличение объёма льда и понижение температуры, понижение  $\delta^{18}\text{O}$  – наоборот, на уменьшение объёма льда и повышение температуры. Поскольку ось  $\delta^{18}\text{O}$  на графике рис. 1 направлена вниз, минимумы кривой  $\delta^{18}\text{O}$  соответствуют похолоданиям (самые глубокие минимумы – оледенениям), максимумы – потеплениям (межледниковьям).

Можно видеть, что отмеченное на рисунке 1 довольно низкое значение современной инсоляции (а сейчас, как известно, межледниковье) приходится на существенно различные климатические обстановки, от оледенения до межледниковья. Из сопоставления инсоляционной и ИК кривой также очевидно, что значительные и минимумы, и максимумы инсоляции приходятся как на ледниковые, так и на межледниковые события, а также и на переходы между ними. Помимо этого, на рис. 1 хорошо видно, что связанное с явлением среднеледникового перехода изменение периодичности и амплитуды колебаний  $\delta^{18}\text{O}$ , происходящее на возрастном рубеже около 1250 тыс.

лет назад, осуществляется на фоне неизменного характера колебаний инсоляции. Иными словами, в целом, количественные изменения дискретной инсоляции не соответствуют палеоклиматическим изменениям.

Приведенные факты делают загадочным использование многими исследователями дискретных инсоляционных кривых для палеоклиматических интерпретаций, имеющее место в большом количестве статей, в которых рассматриваются палеоклиматические изменения. Один из ярких примеров такой необоснованной и потому невразумительной попытки – сопоставление широко известной палеоклиматической записи по ледовому керну станции «Восток», расположенной в Антарктиде на  $80^\circ$  южной широты, с инсоляционной кривой, рассчитанной для  $65^\circ$  северной широты [Petit et al., 1999]!

Таким образом, для инсоляционного сигнала, связанного с каждым орбитальным элементом, необходимо разработать индивидуальные механизмы усиливающих эти сигналы обратных связей. (Здесь имеется в виду и эксцентриситетный инсоляционный сигнал, имеющий свою индивидуальную структуру: вариации эксцентриситета изменяют полную годовую инсоляцию всей Земли, хотя это изменение и относительно невелико). Кроме этого, несомненно, необходимо учитывать полностью структуру каждого инсоляционного

сигнала, т.е. распределение инсоляции по всем широтам и сезонам года – ведь приходящий солнечный сигнал реально действует на всю планету в течение всего года.

Разумеется, дискретно-локальные инсоляции такой возможности не дают, отражая лишь часть реально воздействующих на климат Земли орбитально обусловленных вариаций инсоляции. Иными словами, повторим, используемые сейчас обычно месячные или суточные изменения инсоляции под одной широтой не являются органически единым сигналом. Они представляют собой механическое смещение двух разнородных сигналов, к тому же требующих воздействия принципиально различных механизмов обратных связей для своей трансформации в климатические изменения и потому не могут использоваться в качестве единого целого для палеоклиматических интерпретаций и моделирования.

Итак, для создания корректной орбитальной теории палеоклимата (и, в частности, получения шаблонной кривой колебаний климата в плейстоцене) необходимо учитывать полные годовые и глобальные изменения инсоляции и все воздействующие на них обратные связи. В настоящее время эта задача не представляется полностью разрешимой по крайней мере по двум причинам. 1. Недостаточное знание механизмов обратных связей, самыми сложными из которых обычно считаются влияние облачности, аэрозолей. 2. Огромное количество компьютерного времени, требуемое для расчёта моделей, в полной мере учитывающих указанные выше факторы.

### **Построение орбитально-климатической диаграммы**

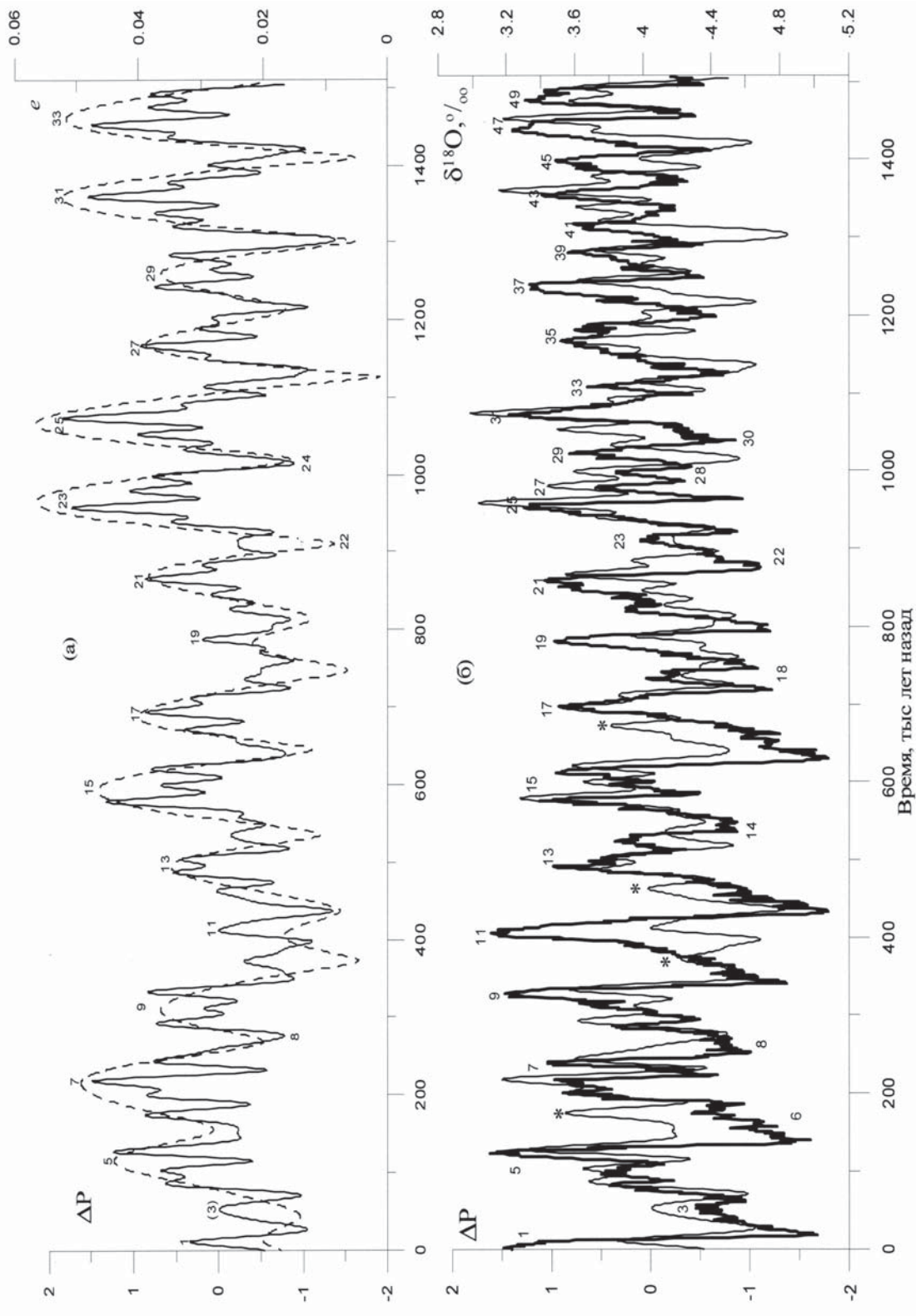
Поэтому, исходя из эмпирических данных о влиянии вариаций орбитальных элементов на климат, был предложен [Большаков, 2000, 2003б] упрощенный способ построения диаграммы палеоклиматических колебаний плейстоцена, обусловленных вариациями инсоляции, связанными с квазипериодическими изменениями орбитальных элементов. Эта диаграмма, ОКД, представляет условную относительную вероятность ( $\Delta P$ ) осуществления оледенений (для отрицательных  $\Delta P$ ) и межледниковий (для положительных  $\Delta P$ ) за последний миллион лет. ОКД диаграмма была построена как сумма нормированных относительно среднего значения вариаций орбитальных элементов, умноженных на так называемые коэффициенты климатической значимости (ККЗ). ККЗ находились путем подбора так, чтобы получаемая ОКД наиболее хорошо соответствовала палеоклиматическим (изотопно-кислородным) кривым.

Наиболее подходящими оказались ККЗ, равные 1; 0,7; -0,55 соответственно для вариаций эксцентриситета, наклона земной оси и прецессии. Соотношение абсолютных значений ККЗ указывает на то, что, в соответствии с эмпирическими данными, наибольший вклад в ОКД и, соответственно, в климатические изменения последнего миллиона лет вносят вариации эксцентриситета, наименьший – прецессионные вариации.

При построении ОКД принимались самые общие механизмы глобального климатического влияния вариаций орбитальных элементов. В частности, предполагалось, что уменьшение эксцентриситета орбиты (приводящее к уменьшению годовой инсоляции Земли) и угла  $\epsilon$  приводят к глобальному похолоданию. Также было принято, что к похолоданию в *Северном* полушарии приводят определяемые прецессией климатические условия, характеризующиеся длительным прохладным летом и короткой мягкой зимой в этом полушарии (поэтому у ККЗ прецессии стоит знак «минус», что соответствует механизму, принятому Миланковичем). При этом отмечалось, что существующие *одновременно* в *Южном* полушарии условия с длительной холодной зимой и жарким коротким летом (механизм, принятый Кроллем) могут способствовать похолоданию этого *океанического* полушария (Большаков, 2003б; 2010). Иными словами, учёт физико-географических различий противоположных полушарий может сгладить проблему противофазного климатического влияния прецессии в этих полушариях. Поэтому ОКД (учитывая ещё и наименьшее климатическое влияние прецессии равноденствий) можно считать эталоном *глобальных* колебаний климата последнего миллиона лет. Сравнение ОКД с изотопно-кислородной кривой LR04 для последних 1,5 млн лет показано на рисунке 2.

### **Сопоставление ОКД и изотопно-кислородной кривой LR04**

В пределах последних 900 тысяч лет ОКД неплохо согласуется с ИК кривой LR04. Наиболее хорошо это сходство проявляется и по хронологии, и по форме кривых для стадий 1–5, 7, с глубоким минимумом в середине стадии, 13–15, 17–21. Особо отметим, что соответствующий 19-й ИК стадии максимум диаграммы приходится на интервал времени 770–790 тыс. лет. Это хорошо соответствует новой оценке возраста палеомагнитной инверсии Матуяма-Брюнес – около 780 тыс. лет [Spell, McDougal, 1992; Cande, Kent, 1995], которая проходит примерно в середине 19-й ИК стадии [deMenocal et al., 1991; Schneider et al., 1992; Bassinot et al., 1994; Tauxe et al., 1996; Большаков, 1999].



**Рис. 2.** Сравнение орбитально-климатической диаграммы (ОКД, тонкая сплошная линия) с изотопно-кислородной (ИК) кривой LR04 (утолщённая сплошная линия). Цифрами на графике показаны традиционно используемые стадии ИК шкалы. Звёздочками отмечены наиболее значительные несоответствия формы ОКД и LR04 для последнего миллиона лет.

ОКД логично опережает по времени ИК запись изменения глобального объёма льда и температуры, отражая инерцию ответа климатической системы на орбитальное (инсоляционное) воздействие. Эта инерционная задержка для наиболее надёжно определённых временных реперов позднего неоплейстоцена (оптимума голоцена, максимума последнего оледенения и оптимума ИК стадии 5e) оценивается величиной около 5 тысяч лет, что позволяет хронометрировать ИК запись путём временного сопоставления наиболее характерных экстремумов ИК записей и ОКД [Большаков, 2003а, Большаков и др., 2005]. Таким образом, ОКД гораздо лучше сопоставляется с ИК записью LR04, нежели кривые дискретной инсоляции (рис. 1, 2). Тем не менее, есть и несоответствия, которые вполне ожидаемы при столь простом способе построения диаграммы палеоклиматических изменений.

Наиболее значительные *временные несоответствия* между ОКД и LR04 в течение последнего миллиона лет отмечаются для приходящегося на ИКС 8 наиболее глубокого минимума  $\delta^{18}\text{O}$  и соответствующего ему минимума ОКД, а также основного минимума  $\delta^{18}\text{O}$  ИКС 22 и соотносимого с ним минимума ОКД (см. рисунок 2). Орбитальный сигнал опережает климатический отклик на 24 и 20 тысяч лет соответственно для ИКС 8 и 22. Таким образом, согласно хронометрированию с помощью ОКД, необходимо удревнение времени главных минимумов ИКС 8 и 22 на кривой LR04 соответственно на 19 и 15 тыс лет. Данное несоответствие, по-видимому, в первую очередь отражает различия в подходах к хронометрированию ИК кривой, использованных в работах [Большаков, 2003а; Большаков и др., 2005] и [Lisiecki, Raymo, 2005]. Фактически в них используется один и тот же метод «орбитальной настройки». Однако метод, описанный в публикациях [Большаков, 2003а; Большаков и др., 2005], представляется более надёжным, т.к. использует, помимо вариаций, связанных с наклоном земной оси и прецессией, и наиболее хорошо выраженные в ИК записях последнего миллиона лет 100-тысячелетние эксцентриситетные вариации.

На рисунке 2 видны и некоторые *несоответствия формы* ИК кривой и ОКД. Наиболее заметные из них – практически не отраженные в ИК записи, но тем не менее значительные максимумы ОКД (помечены звёздочками). Также несоответствием является соотношение наибольшего по амплитуде ИК сигнала 11-й ИКС с небольшим максимумом СОКД 11 (отражающее известную «проблему 11-й ИКС») и слабо выраженный минимум СОКД 6 с глубоким минимумом ИКС 6. Как показано в работе [Большаков, 2010], эти несоответствия частично

связаны с тем, что в графике ОКД хорошо выражен 400-тысячелетний эксцентриситетный цикл, который не проявляется в ИК записи. Дальнейший анализ этих несоответствий представляется весьма необходимым, поскольку он касается важной проблемы установления механизмов отклика климатической системы на орбитальное инсоляционное воздействие. Отметим при этом прозрачность и простоту интерпретации ОКД, обусловленные тем, что она построена на основе простых и ясных предположений о климатическом влиянии вариаций орбитальных элементов.

В целом же эксцентриситетные 100-тысячелетние циклы ОКД хорошо согласуются с аналогичными циклами ИК записи последнего миллиона лет, как видно на рисунке. Данное обстоятельство позволяет продолжить ОКД далее в прошлое с целью её сравнения с ИК записью и исследования проблемы среднеплейстоценового перехода (СПП). СПП заключается в происшедшей около миллиона лет назад смене периодичности глобальных ледниковых циклов от доминирующей до этого времени 41-тысячелетней к преобладающей после него примерно 100-тысячелетней периодичности, [Ruddiman et al., 1986; Clark et al., 2006; Elderfield et al., 2012]. Это явление сопровождалось увеличением среднего объёма льда на планете, большим размахом колебаний уровня Мирового океана, глобального объёма льда и глобальной температуры в циклах оледенение-межледниковье, что не могло не отразиться на многих геофизических параметрах Земли. Несмотря на столь значительную, связанную с СПП, перестройку природной среды, согласованного мнения о причинах этого явления до сих пор нет. Также существуют различные мнения о характеристиках этого перехода – его длительности, времени начала и окончания, сопровождающих его изменениях климатических характеристик.

Проведённый мною [Большаков, 2013] анализ этого явления позволил заключить, что среднеплейстоценовый переход начался около 1240 тысяч лет назад. Именно с этого момента времени, вплоть до современности, в ИК записи фиксируются эксцентриситетные (100-тысячелетние) циклы межледниковье-оледенение, сменившие 41-тысячелетние циклы. Вообще говоря, из этого факта следует, что нумерация ИК стадий, принятая в восьмидесятых годах прошлого столетия, в связи с заключением о наличии 41-тысячелетней цикличности в раннем плейстоцене вплоть до временной отметки около 900 тысяч лет назад, должна быть изменена. Более конкретно, 41-тысячелетние ИК стадии, от 23-ей по 37-ю должны быть заменены соответственно 100-тысячелетними ИК стадиями, подобными тем, которые отражают ледниковые ци-

клеты последних 900 тысяч лет. Отмечу, что в работе [Clark et al., 2006], где дана близкая к полученной мною оценка времени смены орбитальной периодичности в ИК записи LR04 (около 1250 тысяч лет назад), это логичное заключение сделано не было.

### Выводы

1. Дискретно-локальные инсоляционные кривые (диаграммы) М. Миланковича и его последователей не могут быть использованы для палеоклиматических реконструкций, корреляций и климатического моделирования. Это связано с тем, что они не представляют полностью реально воздействующие на климатическую систему Земли, в течение всего года и на все широты, имеющие индивидуальную специфику, вариации инсоляции, связанные с колебаниями всех трёх орбитальных элементов. Необходимость учитывать индивидуальную специфику орбитальных сигналов обусловлена тем, что механизмы преобразования связанных с отдельными орбитальными элементами инсоляционных сигналов в климатические колебания, также как и вовлечённые в эти преобразования обратные связи, будут различными.

2. Орбитально-климатическая диаграмма (ОКД), построенная на основе упрощённых представлений о механизмах глобального климатического влияния вариаций орбитальных элементов, является предпочтительной альтернативой необоснованно используемым для палеоклиматических интерпретаций и корреляций дискретным инсоляционным кривым. Сопоставление ОКД и изотопно-кислородной записи LR04 показывает неплохое в целом подобие в интервале времени 0–1250 тысяч лет назад.

Работа выполняется при поддержке РФФИ, проект № 11-05-00147а.

### Литература

- Большаков В.А.* О глубине фиксации палеомагнитной записи и климатостратиграфическом положении инверсии Матуйама-Брюнес в глубоководных осадках // *Физика Земли*. 1999. №6. С.93–96
- Большаков В.А.* Новый способ построения диаграммы палеоклиматических изменений плейстоцена // *Доклады АН. География*. 2000. Т.374. №.5. С.692–695.
- Большаков В.А.* Новая концепция астрономической теории палеоклимата: шаг вперед, после двух шагов назад // *Физика Земли*. 2001. № 11 С.50–61.
- Большаков В.А.* Новый способ хронометрирования изотопно-кислородных записей колонок глубоководных осадков // *Доклады АН*. 2003а. Т.388. №1. С.105–108
- Большаков В.А.* Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. М.: МГУ, 2003б. 256 с
- Большаков В.А.* Проблема межледниковой 11-й морской изотопной стадии с позиций новой концепции орбитальной теории палеоклимата // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 2. С. 236–247
- Большаков В.А.* Что такое «теория Миланковича»? // *Квартер во всём его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы УП Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода: отв. ред. О.П. Корсакова, В.В. Колька. Апатиты, Геологический ин-т КНЦ РАН, 2011. Т. 1. С.77–80*
- Большаков В.А.* Исследование характеристик «среднеплейстоценового перехода» с помощью сопоставления изотопно-кислородной записи LR04 с орбитально-климатической диаграммой // *Доклады АН 2013 Т. № 1. В печати*
- Большаков В.А. Большаков П.В.* Астрономическая теория палеоклимата – новая концепция // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 1999. Т.7. №6. С. 3–13
- Большаков В.А. Капица А.П.* Уроки развития орбитальной теории палеоклимата // *Вестник РАН*. 2011. Т. 81. № 7. С. 603–612
- Большаков В.А., Иванова Е.В., Прудковский А.Г.* Некоторые результаты применения нового метода хронометрирования палеоклиматических записей глубоководных колонок донных осадков // *Океанология*. 2005. Т. 45. № 6. С. 916–926.
- Имбри Дж. Имбри К.П.* Тайны ледниковых эпох М.: Прогресс, 1988. 264 с
- Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.-Л.: ГОНТИ, 1939. 207 с.
- 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
- Bol'shakov V. A.* How long will the «precession epoch» last in terms of Pleistocene glacial cycles? // *Russian Journal of Earth Sciences*, 2008. V. 10, ES3004, doi: 10.2205/2008ES000299.
- Cande S.C., D.V. Kent* Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic // *J. Geophys. Res.* 1995. V. 100. No B4. P. 6093–6095
- Clark P.U., D. Archer, D. Pollard, J.D. Blum, J.A. Rial, V. Brovkin, A.C. Vix, N. G. Pisias, M. Roy.* The middle Pleistocene transition: characteristics, mechanisms, and implications for long-term changes in atmospheric  $pCO_2$  // *Quatern. Science Reviews*. 2006. V. 25. P. 3150–3184
- Croll J.*, Climate and time in their geological relations: a theory of secular changes of the Earth's climate, Edward Stanford, London, 1875, 577 pp
- Elderfield H., Ferretti P., Greaves M., Crowhurst S., McCarve I.N., Hodell D., Piotrowski A.M.* Evolution of ocean temperature and ice volume through the mid-Pleistocene climate transition // *Science* / 2012. V. 337. P. 704–709
- Hays J. D., J. Imbrie, and N. Shackleton*, Variation in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages, *Science* // 194 (1976) 1121–1132



- Imbrie J., Berger, A. Boyle A., et al.*, On the structure and origin of major glaciation cycles. 2. The 100,000-year cycle // *Paleoceanography*, 8 (1993) 699–735.
- 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 // in: *Milankovitch and Climate*, NATO ASI Ser. C. 126. A.L.Berger et al. Eds. Reidel. Dordrecht. 1984. P.269–305
- Lisiecki L.E., Raymo M.E.* A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records // *Paleoceanography*, V. 20, PA 1003, doi: 10.1029/2004PA001071, 2005
- deMenocal P.B. Ruddiman W.F. Kent D.V.* Depth of post-depositional remanence acquisition in deep-sea sediments: a case study of the Brunhes-Matuyama reversal and oxygen isotopic Stage 19.1 // *Earth and Planet. Sci. Letters*. 1990. V.99. P.1–13
- Muller R. MacDonald G.* Glacial cycles and orbital inclination. // *Nature*. 1995. V.377. P.107–108
- Petit J, Jouzel J., Raynaud D. et al.*, Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // *Nature*. 1999. V.399 P.429–436
- Raymo M.E., K. Nisancioglu*, The 41-kyr world: Milankovitch's other unsolved mystery // *Paleoceanography* 18(1) (2003) 1011, doi: 10.1029/2002PA00079
- Roe G.* In defence of Milankovitch // *Geophys. Res. Letters* 2006, V. 33 L24703, doi: 10.1029/2006GL027817
- Ruddiman W.F. Raymo M. and McIntyre A.* Matuyama 41,000-year cycles: North Atlantic Ocean and northern hemisphere ice sheets // *Earth and Planet. Sci. Letters*. 1986. V.80 P.117–129
- Schneider D.A. Kent D.V. and Mello G.A.* A detailed chronology of the Australasian impact event, the Brunhes-Matuyama geomagnetic Polarity reversal, and global climate change // *Earth and Planet. Sci. Letters*. 1992. V.111. P.395–405
- Spell T., McDougall I.* Revisions to the age of the Brunhes-Matuyama boundary and the Pleistocene geomagnetic polarity timescale. // *Geophys. Res. Letters*. 1992. - V.19. - P.1181–1184
- Tauxe L., Herbert T., Shackleton N., Kok Y.* Astronomical calibration of the Matuyama-Brunhes boundary: consequences for magnetic remanence acquisition in marine carbonates and Asian loess sequences // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1996. V.140. P.133–146

**V. A. Bol'shakov**

## **THE ORBITAL-CLIMATIC DIAGRAM AS THE ALTERNATIVE TO THE DISCRETE INSOLATION CURVES FOR PALAEOCLIMATIC IMPLICATIONS AND CORRELATIONS**

The paper demonstrates that discrete insolation curves (DIC) of Milankovitch and his followers can not be used for palaeoclimate modeling, palaeoclimatic interpretations and as a correlation tool. The reason is that DICs do not represent all variations of insolation produced by oscillations of all three orbital elements that influence the climatic system, act at all latitudes and in all seasons and exhibit individual features. Taking into account the specific character of orbital signals is necessary because transformation of each kind of signal into climate oscillations is governed by different mechanisms. Compared to DICs, the orbital-climatic diagram constructed by the author demonstrates better similarity with benthic oxygen isotopic stack LR04 [Lisiecki and Raymo, 2005] in the last 1250 kyr.