

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА

©2002г. В. А. Большаков

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 24.10.2001 г.

На конкретных примерах проведен анализ использования магнитного и палеомагнитного, термолюминесцентного и изотопно-кислородного методов при изучении континентальных и морских осадков плейстоцена. Отмечены некоторые недостатки таких исследований и предложены рекомендации по более корректному использованию указанных методов.

"Не будь, геолог, шляпой,  
Не увлекайся каппой!"

(Из афоризмов профессора Г.Н. Петровой)

### ВВЕДЕНИЕ

При изучении геологического прошлого важное значение имеют физические методы исследования. Под "физическими" здесь подразумеваются методы, использующие достижения физики, химии, геофизики, астрономии и других научных дисциплин, не имеющих непосредственной геологической основы. Эти методы широко используются для стратиграфии и корреляции отложений. При изучении пород наиболее близкого к современности и наименее продолжительного четвертичного периода предъявляются повышенные требования к точности стратиграфических схем и геологических корреляции. Достижение этой цели для отложений плейстоцена затруднено значительной литолого-фациальной пестротой и фрагментарностью разрезов, связанных с резкими климатическими колебаниями (оледенениями и межледниковьями), характеризующими этот геологический период. Поэтому логично повышенное требование и к корректности использования физических методов, что не всегда наблюдается на практике, в частности, вследствие забвения установленных ранее положений. В данной работе будут рассмотрены некоторые вопросы использования каппаметрического, палеомагнитного, изотопно-кислородного (ИК) и термолюминесцентного (ТЛ) методов при изучении континентальных и океанских осадков. Среди континентальных отложений будут прежде всего рассмотрены породы лессовой формации (ЛФ), дающие наиболее полную и подробную информацию о развитии природы плейстоцена.

### КАППАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Данные об измерении магнитной восприимчивости  $k$ , или каппаметрии осадочных пород, все шире применяются при палеогеографических исследованиях [Thompson et al., 1980; Verosub and Roberts, 1995]. Этому способствуют небольшие затраты времени на измерения и дешевизна метода, возможность получения данных без нарушения целостности изучаемых объектов, т.е. измерение  $k$  прямо на разрезе или колонке донных осадков. Особенно полезным может быть использование каппаметрии для геологической корреляции различных разрезов в пределах регионов со схожими условиями осадкообразования. При этом отклонение изменений  $k$  от типичных для данного региона может рассматриваться как экспресс-информация об отличии условий осадконакопления в конкретном изучаемом месте от средних по региону. Наличие такой экспресс-информации позволяет еще на начальной стадии исследования объекта обратить особое внимание на изучение "аномальных" по  $k$  горизонтов с тем, чтобы обеспечить их тщательное исследование (привлечение новых методов исследования, дополнительный отбор образцов). Величина  $k$  является весьма чувствительным индикатором, характеризующим литологические особенности отложений, часто не видимые визуально. Поэтому каппаметрия успешно применяется для выявления литологических различий осадочных пород. Широкое распространение каппаметрия получила при исследовании не только континентальных разрезов, но и донных колонок океанов.

Методологические и методические аспекты использования каппаметрии для палеоклиматиче-

ческих интерпретаций и геологических корреляций довольно подробно рассматривались в ряде публикаций [Большаков, 1996; 2000б; 2001б], поэтому подчеркну лишь наиболее важные, на мой взгляд, аспекты проблемы. Утверждение многих авторов [Heller, Liu, 1984; 1986; Kukla et al., 1988; Liu et al., 1991; NaWrocki et al. 1996; Вирина и др. 1998; Chlachula et al., 1998; Болиховская и др. 1999; Додонов и др., 1999; Evans, 2000] о палеоклиматической значимости каппаметрии пород ЛФ не представляется обоснованным. Здесь уместно поставить вопрос - а что же такое конкретно "использование каппаметрии для палеоклиматических реконструкций", о котором говорят многие авторы? Единственной характеристикой магнитной восприимчивости пород является ее величина. Следовательно, логично считать, что *использование каппаметрии для палеоклиматических реконструкций - это имеющее неизменный характер как во времени, так и в пространстве непосредственное соотнесение определенных интервалов значений к с климатическими показателями* (значениями температуры, влажности, направления и силы ветра, влияющей на скорость седиментации). Из известных примеров совершенно очевидно, что эта задача в глобальном масштабе неразрешима, поскольку местные, региональные условия по-разному влияют не только на величину  $k$  лессов (Л) и погребенных почв (ПП) в отдельности, но даже на отношение  $k_{пп}/k_{л}$ . Разрешима ли такая задача в пределах отдельного региона, где выявлено однообразное изменение  $k$  в зависимости от палеоклимата (литологии), как, например, в разрезах Лессового плато Китая? Учитывая множественность причин, влияющих на величину  $k$ , можно сказать, что и в пределах одного региона решение такой задачи сопряжено с огромными трудностями учета *нескольких* климатических факторов, влияющих на величину  $k$ . Поэтому обоснование использования каппаметрии для палеоклиматических реконструкций может быть осуществлено только в случае выявления конкретного "механизма формирования магнитного сигнала (*конкретного* влияния климатических и других факторов на величину  $k$ ) в ледово-почвенных отложениях. Пока же часто цитируемые данные об изменениях  $k$  в лессово-почвенных разрезах Китая (рис. 1) ничего не могут сказать об отличиях условий формирования, например, ПП с более высокими (верхние части разрезов) и относительно пониженными (нижние части разрезов) значениями  $k$ . Тем не менее, необходимо отметить и случаи обоснованного использования каппаметрии для палеоклиматических реконструкций вулканических озер Франции [Thouveny et al., 1994].

О возможности использования каппаметрии для региональных корреляций генетически сходных отложений говорилось выше. Однако меж-

региональная корреляция, в частности, разрезов ЛФ обычно невозможна, что связывается в первую очередь с различными механизмами и условиями формирования магнитного сигнала, определяющими величину  $k$  пород ЛФ. (Было показано, в частности, что в породах ЛФ различных регионов может осуществляться не менее трех таких, механизмов [Большаков, 2001б]). Аналогичное заключение можно сделать и о донных осадках океанов. \*

Каппаметрия также используется для корреляции континентальных и глубоководных отложений, которая является одной из важных проблем изучения четвертичного периода. Решение этой проблемы позволит воссоздать наиболее полную картину изменения природной среды в плейстоцене. Только на этой основе возможно корректное прогнозирование будущих глобальных климатических изменений. Использование каппаметрии для корреляции заключается часто в сравнении каппаметрической и изотопно-кислородной кривой соответственно для лессово-почвенных разрезов и колонок глубоководных осадков (рис. 1). Главный, на мой взгляд, недостаток таких корреляций заключается в следующем [Большаков, 2001б]. ИК кривая является палеоклиматической, отражающей непосредственно глобальные палеоклиматические изменения. Этого никак нельзя сказать о каппаметрической кривой, которая не имеет глобального характера, а к тому же может определяться и неклиматическими факторами, например, местными геоморфологическими условиями или условиями преобразования магнитных минералов в течение длительного времени уже после захоронения соответствующих горизонтов. Поэтому обоснование возможности корреляции каппаметрических и ИК кривых, вообще говоря, нет, поскольку сравнивать, или коррелировать, имеет смысл только подобные события, имеющие общие причины, их вызывающие! Более логично проводить сопоставление ИК данных по колонкам глубоководных осадков непосредственно палеоклиматическими\* кривыми лессово-почвенных разрезов, полученными на основе надежно выявленных палеоклиматических изменений, даже региональных [Ding et al., 1991].

Таким образом, использование каппаметрии для решения различных задач при изучении плейстоцена должно быть объективно обоснованным, что и отражено в афоризме Г.Н. Петровой, послужившим Эпиграфом к данной статье. Впрочем, аналогичное заключение может быть сделано и по отношению ко всем другим методам изучения геологического развития Земли.

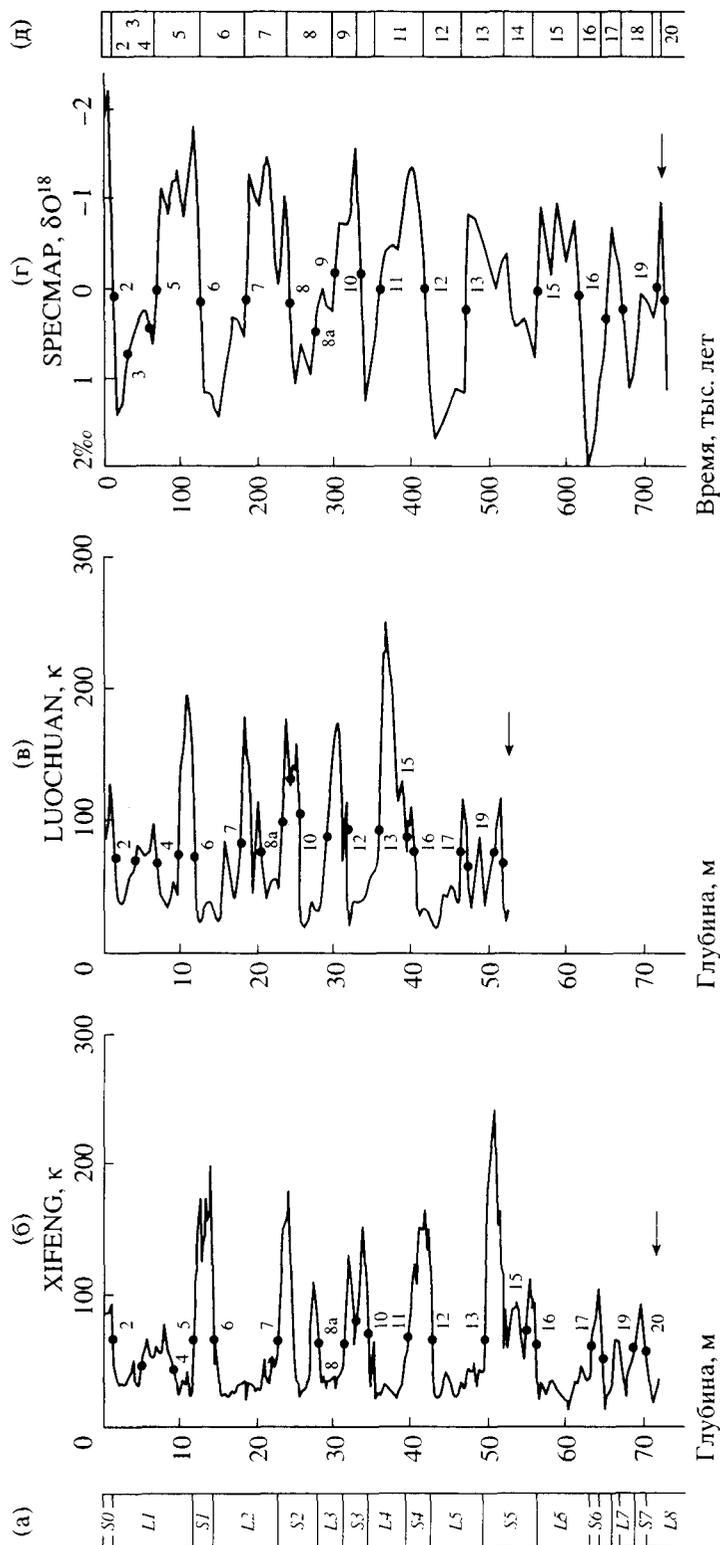


Рис. 1. Литология (а) и магнитная восприимчивость ( $2 \times 10^{-5}$  ед. СИ) в разрезах Хайфенг (б) и Лочуань (в), в сравнении с изотопно-кислородной (ИК) шкалой SPECMAP (г); (д) – нумерация ИК стадий, L – лессы, S – почвы. Жирные точки отмечают вершины ИК стадий и их предполагаемые временные эквиваленты в лессовых разрезах. Стрелки указывают на положение инверсии Матуяма–Брюнес. Рисунок взят из работы [Kukla et al., 1988, Fig. 2].

### НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАЛЕОМАГНИТНОГО МЕТОДА

Наиболее надежным и распространенным использованием палеомагнитного метода для изучения отложений плейстоцена является выделение границ между хронами и субхронами палеомагнитной полярности, прежде всего определение положения инверсии Матуяма-Брюнес (М-Б). К настоящему времени достаточно надежно установлено, что инверсия М-Б в донных осадках океанов проходит примерно в середине межледниковой 19-й ИК стадии [Shackleton, Opdyke, 1973; Imbrie et al., 1984; deMenocal et al., 1990; Schneider et al., 1992; Bassinot et al., 1994]. Однако для континентальных отложений такой определенности в положении инверсии М-Б нет. Поэтому остановимся на использовании инверсии М-Б для стратиграфии и корреляции пород ЛФ.

Прежде всего отметим, что практически во всех регионах, где есть отложения ЛФ (Китай, Приобье, Средняя Азия, Восточная Европа, Болгария), отмечаются противоречия в установлении стратиграфического положения этой инверсии у различных авторов. Есть и палеоклиматическое противоречие положения инверсии М-Б: несмотря на то, что в разрезах ЛФ различных регионов она зафиксирована в основном в горизонтах лессов, обычно связываемых с оледенениями, есть случаи ее фиксации и в почвенных горизонтах, считающихся межледниковыми [Большаков, 19%; 20016]. Положение инверсии в основном в "холодных" горизонтах лессов выявляет и очевидный недостаток корреляции лессово-почвенных разрезов с глубоководными отложениями, который состоит в том, что инверсия М-Б проходит в "теплой" ИК стадии 19 глубоководных отложений (рис. 1). Объективная часть таких противоречий может быть обусловлена в основном тремя причинами.

Первая - искажения палеомагнитной записи, связанные с процессами вторичного намагничивания, особенно когда есть новообразования магнитных минералов в породах ЛФ, что должно привести к удревнению палеомагнитной записи, т.е. смещению инверсии М-Б вниз по разрезу относительно ее истинного временного положения.

Вторая - неполнота геологической летописи и неоднозначная стратиграфическая трактовка горизонтов лессов и почв.

Третья - возможность, в отличие от широко распространенной точки зрения, сопоставления горизонтов лессов с периодами межледниковий, а почв - с оледенениями, которая поддерживается некоторыми исследователями [Пахомов, 1983; Деяткин, 1993; Болиховская, 1995].

Остановимся коротко на опубликованных к настоящему времени данных о положении инвер-

сии М-Б в некоторых регионах. Палеомагнитные исследования пород ЛФ Приобского плато проводились многими исследователями (подробный обзор дан в работе [Архипов и др., 1997]). Однако климатостратиграфическое положение инверсии М-Б остается неопределенным и сейчас. Более того, такая неопределенность существует даже в пределах одного, наиболее представительного разреза ЛФ Приобского плато, Белове. Казалось бы, все три перечисленные выше причины разногласий при исследовании одного разреза исключаются. Однако, например, в книге [Разрез ..., 1978] инверсия проводится в кровле 9-й ПП, в упомянутой работе [Архипов и др., 1997] инверсия М-Б находится существенно ниже этой почвы, в основании песков, перекрывающих суглинки кочковской свиты, а в публикации [Зыкина и др., 2000] инверсия проводится внутри 9-го, евсинского, почвенного комплекса. В публикации [Большаков, Свиточ, 1988] отмечено, что в разрезе Белово все изученные почвы прямонамагнитны, а обратная (аномальная) намагниченность зафиксирована только в нижележащих сизых суглинках краснодубровской (кочковской?) свиты. Такие гипсометрически различные положения границы М-Б в разрезе Белове, полученные разными авторами, использовавшими для выделения первичной намагниченности один и тот же способ - температурную чистку - труднообъяснимы. (Более того, исходя из изложенных в работах [Мотузко, Фаустов, 1970; Разрез..., 1978; Фаустов и др., 1986] результатах магнитной чистки и представленных графиках изменения направления намагниченности [Разрез..., 1978, рис. 5], можно сделать вывод о смене магнитной полярности в разрезе Белове как на границе кочковской и краснодубровской свит, так и примерно на 15 м. выше - в лессовидном суглинке под 9-й ПП. Однако, согласно сделанному в работах [Разрез..., 1978; Фаустов и др., 1986] окончательному заключению по разрезу, инверсия проходит еще выше - в кровле 9-й ПП). При этом ни в одной работе, строго говоря, в разрезе Белове не зафиксирована сама инверсия М-Б, поскольку не получено переходных значений углов склонения и наклона (переходных зон) при смене полярности намагниченности от обратной к прямой. Таким образом, пример разреза Белово указывает на существование, к сожалению, и субъективных причин разногласий в определении положения инверсии М-Б.

Похожая неопределенность положения инверсии М-Б имеет место и для разрезов (в том числе и лессово-почвенных) Восточной Европы [Стратиграфия и палеогеография... 1992; Красненков и др., 1993; Вирина, Ударцев, 1975; Лессово-почвенные..., 1997] и Китая [Heller, Liu 1982; 1984; 1986; Kukla et al., 1988; Hus, Han, 1992]. Таким образом, в разрезах ЛФ Приобского плато, Русской равнины, Китая не установлено не только одно-

значное палеоклиматическое, но и стратиграфическое положение инверсии М-Б. Это непростая и очень трудоемкая проблема, решение которой усложняется еще и тем, что даже нахождение разрезов, в которых есть переходная зона от хрона Матуяма к хрону Брюнес, представляет существенные трудности [Гурарий, 1988]. Большая часть разрезов, как показано в этой работе, не имеет переходных зон, что интерпретируется как наличие перерывов в осадконакоплении. Отсюда, кстати, следует забытый, вероятно, способ учета одной из объективных причин разногласий, связанной с неполнотой геологической летописи, которая обычно всеми признается, но тем не менее часто не принимается во внимание. Отсутствие переходной зоны инверсии может указывать на наличие перерыва в осадконакоплении в период времени, включающий возраст осуществления этой инверсии. Очевидно, что такой переход можно обнаружить, если скорость осадконакопления такова, чтобы переходная зона могла быть охарактеризована хотя бы тремя образцами. По разным оценкам [Clement, Kent, 1984; Schneider et al., 1992; Bassinot et al., 1994; Zhu et al., 1994], продолжительность переходной зоны М-Б заключена в основном в пределах от 4 до 10 тыс. лет. Полагая размер ребра кубического образца равным 2 см., получаем, что скорость осадконакопления должна быть не менее 1.5 см. в тысячу лет. Это условие обычно выполняется для континентальных отложений (например, в разрезах ЛФ Средней Азии зафиксированы переходные зоны инверсии М-Б более 2 м. [Гурарий, Пеньков, 1985; Гурарий, 1988]).

Еще одна объективная причина, затрудняющая определение точного положения инверсии М-Б, связана с процессами вторичного намагничивания. Здесь следует принять во внимание, что однородность химического состава магнитной фракции образцов по всему разрезу может с большой степенью вероятности говорить об отсутствии процессов вторичного химического намагничивания. Как известно, вторичную намагниченность химического происхождения наиболее трудно (например, по сравнению с вязкой или постседиментационной ориентационной намагниченностью) выделить или учесть в осадочных породах плейстоцена. Поэтому наиболее достоверная информация об изменениях геомагнитного поля может быть получена по разрезам (или их частям), характеризующимся однородностью магнитной фракции пород. В случае обнаружения в осадках неоднородного химического состава магнитных минералов, для обоснования палеомагнитных интерпретаций необходимы дополнительные тщательные исследования формирования магнитного сигнала в изучаемых породах.

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИК ЗАПИСЕЙ ГЛУБОКОВОДНЫХ ОСАДКОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПЛЕЙСТОЦЕНА

Использование ИК кривой в качестве климатохроностратиграфической шкалы плейстоцена получило широкое распространение в последние 20-30 лет. ИК кривая, отражающая в основном изменения глобального объема льда, указывает на существование циклических, прежде всего со средним периодом около 100 тыс. лет, планетарных палеоклиматических колебаний (оледенений и межледниковий) в последний миллион лет. Следует отметить общее внешнее сходство многих записей, позволяющее сделать предположение о глобальности выделенных в них ИК стадий. Это предположение получило свое дополнительное подтверждение хорошей сопоставимостью ИК кривых (Bassinot et al., 1994; Shackleton, 1995) с полученной теоретически орбитально-климатической диаграммой (ОКД) (Большаков, 2000а; в; 2001 а; в), что может также указывать на полноту и адекватность выделенных ИК стадий в качестве оледенений и межледниковий. Заметим, что декларируемое практически во всех публикациях использование теории М. Миланковича [1939] для палеоклиматических интерпретаций и хронометрирования ИК кривых, как показано ранее [Большаков, Большаков, 1999; Большаков, 2000а; 2001в], не отражает реальности. Хронометрирование ИК кривых проводится на основе теоретических расчетов вариаций орбитальных элементов, выполненных не Миланковичем, а специалистами по небесной механике, а также принятой еще в середине 19-го века довольно общей концепции об обусловленности циклических оледенений четвертичного периода вариациями орбитальных элементов Земли. При этом теория Миланковича даже усложняет задачу, позволяя пользоваться только двумя орбитальными периодами, связанными с прецессией и вариациями наклона земной оси. Прямое же сопоставление инсоляционных диаграмм с ИК кривыми, как показано Берге еще в 1978 г. [Berger, 1978а], не дало положительного результата. Поэтому была предпринята разработка новой концепции астрономической, а точнее назвать орбитальной, теории палеоклимата [Большаков, Большаков, 1999; Большаков, 2000а; в], существенно дополняющей и конкретизирующей первоначальную. В частности, было показано, что инсоляционные диаграммы Миланковича и его последователей [Миланкович, 1939; Berger, Loutre, 1991] не имеют глобальной палеоклиматической значимости, а также предложен упрощенный способ построения палеоклиматической кривой, которая была названа ОКД [Большаков, 2000в].

Согласно ИК кривым, в хроне Брюнес выделено 9 межледниковий (включая современное и

проверки [Пуннинг и др., 1992] следует считать вывод о том, что пределом измерения абсолютного возраста ТЛ методом может быть дата около 100 тыс. лет. Это противоречит теоретическим и практическим данным многих исследователей [Власов, Куликов, 1988; Архипов и др., 1997; Всероссийское совещание ..., 1998; Додонов и др., 1999; Shlukov et al., 2001; Shelkoplas, 2001], применяющих ТЛ метод и сейчас. Вопрос о необходимости проведения независимой проверки, т.е. выяснения, какой же ТЛ методике можно доверять, недавно поднимался снова [Большаков, 2001 г]. Необходимость проверки методов абсолютного датирования независимыми способами подтверждается и другими примерами. Прежде всего известным изменением калий-аргонового возраста инверсии М-Б от 730 до 780 тыс. лет, полученного с помощью методов "орбитальной подстройки" [Johnson, 1982; Shackleton et al., 1990; Spell, MakDougall, 1992]. Кроме этого, также известны вынужденные поправки к радиоуглеродному методу, принятые уже в процессе его использования и связанные с учетом вариаций магнитного поля Земли, вызывающих изменение содержания радиоактивного углерода в атмосфере. А ведь правильность использования этих 2-х методов тестируется межлабораторным контролем, связанным с определением соответствующих констант радиоактивного распада, о чем сообщается в специальных публикациях. Из сказанного следует, что, вообще говоря, по возможности все методы абсолютного датирования должны проходить независимое тестирование. По-видимому, это в наибольшей степени относится к ТЛ методу и, вероятно, методу электронного парамагнитного резонанса [Молодьков, 1993], поскольку физические механизмы использования этих методов менее прозрачны, в меньшей степени изучены и не поддаются такому же относительно простому тестированию, как методы, основанные на механизме радиоактивного распада. Пока же широкое использование ТЛ метода может восприниматься не как корректный подход к решению проблемы, а как субъективный способ подтверждения любой стратиграфической схемы, на что указывает анализ работ [Пуннинг и др., 1992; Додонов, 1986, Додонов и др. 1999; Лазаренко и др. 1977], а также многих других. Поэтому, на наш взгляд, организация независимого тестирования методик ТЛ анализа различных лабораторий является актуальной задачей для сообщества исследователей четвертичного периода как в нашей стране, так и за рубежом. К сказанному только добавим, что, в случае подтверждения методик В.К. Власова и О.А. Куликова, или В.Н. Шелкопляса, предполагающих возможность датирования до 2 млн. лет, исследователи плейстоцена избавились бы от многих трудностей изучения этого во многих отноше-

ях ключевого геологического периода развития природы Земли.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Подводя итог сказанному выше, можно заключить, что корректное использование физических методов далеко не всегда имеет место при изучении плейстоцена. К сожалению, примером этого является изучение, интерпретация и прикладное использование уникальной континентальной записи развития природы четвертичного периода, заключенной в осадках озера Байкал. В публикациях [Карабанов и др., 2001; Prokopenko et al., 2001] можно выделить многие из отмеченных выше недостатков.

На рис. 2, взятом из работы [Prokopenko et al., 2001], представлена запись содержания в байкальской колонке донных осадков *BDP-96-2* количества биогенного кремнезема (*BioSi*). Эта запись в основном хорошо согласуется с известными морскими ИК записями. Инверсия М-Б зафиксирована в колонке в межледниковом интервале записи *BioSi*, который авторы относят к аналогу 19-й ИК стадии. Однако такая согласованность может быть оспорена существенным различием записи ИК стадии 15 в глубоководных колонках и соответствующей ей записью *BioSi*. В середине стадии 15 *BioSi*, состоящей из двух подстадий, выделяется никак не объясняемое авторами похолодание, которое вполне может трактоваться как оледенение, существенно более мощное, чем региональные оледенения, отмечаемые для подстадий *5d* и *1d BioSi* (рис. 2).

Использование для хронометрирования байкальской записи *BioSi* инсоляционной кривой, рассчитанной для июньской инсоляции над 65° с.ш., не имеет обоснования, поскольку уже говорилось, что инсоляционная диаграмма Миланковича, рассчитанная для летнего калорического полугодия и 65° с.ш., не имеет глобальной палеоклиматической значимости, которая ей придавалась. Вычисление среднемесячной (июньской) инсоляции еще более усугубляет ситуацию, т.к. увеличивает прецессионный вклад в суммарную кривую, что равносильно вычислению летней инсоляции для более низких, чем 65° с.ш., широт [Большаков, 2001 в]. В этом легко убедиться, сравнив вычисленные А. Берге [Berger, 19786] изменения вариаций *полугодовой* инсоляции для 80°, 65°, 10° с.ш. с *июньской* инсоляцией для 65° с.ш. [Berger, Loutre, 1991].

Эта неправильная исходная позиция повлекла за собой и другие необоснованные заключения. На проблематичность сопоставления средне-ежегодных максимумов инсоляции, определяемых в основном прецессионными циклами со средней длительностью около 23 тыс. лет, с максимумами

соответствующее 19-й ИК стадии) и 8 оледенений. Следовательно, логично ожидать выделения такого же количества оледенений и межледниковий и в континентальных отложениях. Однако отражение палеоклиматических событий в ИК данных глубоководных осадков и в континентальных отложениях, даже в ледовых ядрах Антарктиды и Гренландии [Котляков, Лориус, 2000; Dansgaard et al., 1993], имеет свою специфику. Вариации  $\delta^{18}\text{O}$  океанских осадков отражают, как уже говорилось, изменения глобального объема льда, связанные в основном с изменением глобальной температуры. В то же время палеоклиматическая запись континентальных отложений, например ЛФ, зависит от региональных и местных условий, характеризующихся не только температурой, но и увлажненностью и другими факторами. Поэтому полного совпадения ИК кривых с континентальными палеоклиматическими кривыми ожидать не приходится. Более того, нельзя пока утверждать о наличии "стопроцентных" отличительных особенностей тех или иных ИК стадий. Наиболее яркими индивидуальными признаками обладают ИК записи стадий 1-5, стадии 7 с характерным глубоким минимумом (отражающим похолодание) в ее начале, стадии 15, характеризующейся тремя максимумами. Однако особенности ИК записей даже этих стадий проявляются не во всех колонках, что можно видеть из сравнения различных ИК записей [Shackleton, Opdyke, 1976; Samthein, Tiedemann, 1989; Aksu et al., 1989; Bassinot et al., 1994; Shackleton, 1995]. Палеоклиматические морские записи по другим индикаторам климатических изменений (соотношение различных видов фораминифер, содержание карбонатов, литологический состав осадков и др.) могут даже выявлять климатические периоды, не обнаруженные при анализе ИК записей [Pisias, Rial, 1988; Clemens, Prell, 1991].

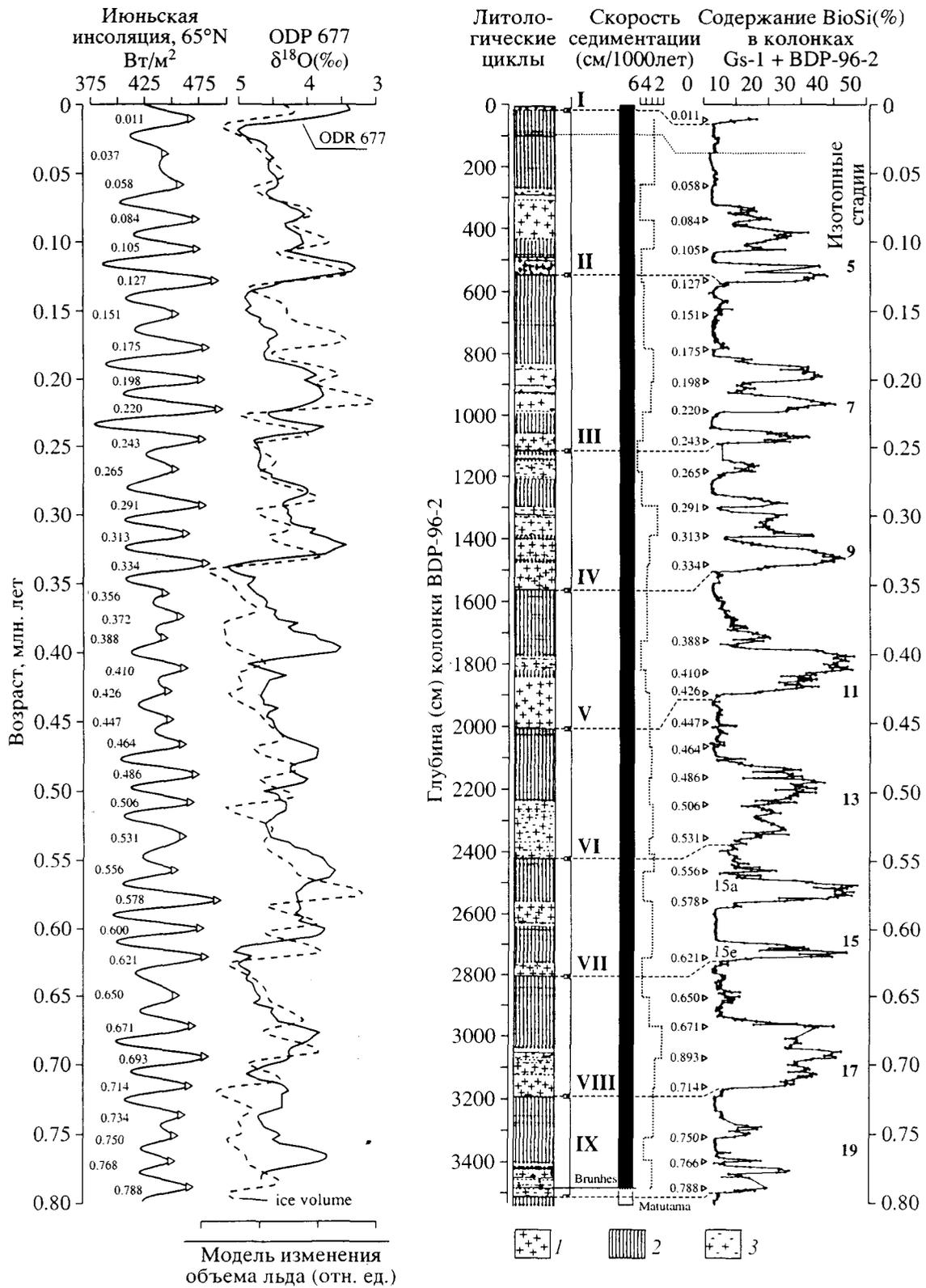
Из сказанного выше следует, что нельзя гарантировать надежное соотношение даже характерных стадий 1-5, 7, 15 для разных глубоководных колонок, особенно в случае перерыва в осадконакоплении. Это в еще большей степени относится к палеоклиматическим записям континентальных осадков, характеризующихся существенно большей степенью неполноты геологической летописи и гораздо более разнообразной спецификой этих записей для одних и тех же глобальных палеоклиматических событий. Отсюда следует перспективность сравнения различных палеоклиматических записей как для донных, так и для континентальных отложений с теоретически полученной ОКД, которую можно считать независимым эталоном (Большаков, 2001а; в). Это может способствовать объективному выделению наиболее отличительных особенностей в различных записях одних и тех же глобальных климатических событий, а также выявлению причин, вызывающих несоот-

ветствия этих записей между собой и с ОКД. Сравнение с ОКД может помочь и в выявлении перерывов в палеоклиматической записи. Разумеется, сказанное возможно только в случае выделения в палеоклиматической записи надежных хронологических реперов плейстоцена, среди которых одним из наиболее употребляемых является инверсия М-Б. Корректная корреляция континентальных и глубоководных отложений и ее интерпретация также требуют, как это ни банально звучит, углубленного изучения значимости климатических событий, выделяемых на соответствующих палеоклиматических кривых. И, конечно, недопустимо подстраивание (вольное или невольное) палеоклиматических данных для континентальных отложений под ИК шкалу. Тем самым мы обедняем и искажаем наши знания о природном процессе, которые необходимы для возможно более полного представления о глобальных климатических колебаниях плейстоцена и причинах, их вызывающих (в частности, о влиянии на их проявление региональных или зональных факторов).

### О ТЛ МЕТОДЕ ДАТИРОВАНИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Многими исследователями, особенно для изучения пород ЛФ, применяется термолуминесцентный метод датирования. Однако, как следует, например, из материалов Всесоюзной конференции [Москва-Таллин..., 1985] и Всероссийского совещания [Санкт-Петербург..., 1998], существует не менее пяти модификаций ТЛ метода, опирающихся на *индивидуальные* методики и гарантирующие различные временные возможности ТЛ метода - от 100-150 тыс. лет до 2-х млн. лет [Власов, Куликов, 1988; Совещание..., 1998; Додонов и др. 1999; Shlukov et al., 2001; Zoeller, 2001; Shelkoplak, 2001]. Кроме этого, существует ряд нерешенных вопросов ТЛ датирования [Хютт, Бродский, 1998]. Совершенно очевидно, что *объективно* в такой ситуации ни одной модификации метода доверять нельзя, не проведя *независимой* проверки, аналогичной осуществленной Пуннингом и др. [1992]. Этот межлабораторный контроль ТЛ датирования был организован в 1986 г. по решению Комиссии по изотопной геохронологии и Комиссии АН СССР по изучению четвертичного периода. Основанием для проведения такого контроля были практически те же причины, о которых сказано выше.

Из восьми организаций, которым были посланы образцы для ТЛ датирования, в тестировании ТЛ метода приняли участие лишь четыре. Образцы для тестирования были взяты из разреза Чарвак, расположенного в Приташкентском регионе. Исходя из принятой сейчас стратиграфической схемы отложений ЛФ Средней Азии [Додонов и др., 1999], основным результатом проведенной



**Рис. 2.** Байкальская палеоклиматическая запись в колонке и ее возрастная модель в пределах хрона Брюнес. Римские цифры отмечают нижние границы литологических циклов, соответствующих терминациям изотопно-кислородной шкалы. Условные обозначения литологической колонки: 1 – диатомовый ил, 2 – илстая глина, 3 – диатомовая смесь (неразделенные илстая глина и глинистый ил с различным содержанием диатомей). Юньская инсоляция дана по [Laskar et al., 1993], полые стрелки фиксируют временные точки для сопоставления кривой инсоляции и записи содержания биогенного кремнезема. Изотопно-кислородная запись колонки – по [Shackleton et al., 1990]. Теоретическая модель изменения глобального объема льда – по [Imbrie, Imbrie, 1980]. Рисунок взят из работы [Prokopenko et al., 2001, Fig. 2].

содержания *BioSi* указывают следующие факты. Представляется весьма призрачным выделение пиков *BioSi*, соответствующих максимумам инсоляции для временных дат 0.056; 0.151; 0.175; 0.447 и 0.464 млн. лет (рис. 2). Отметим и отсутствие в палеоклиматической записи пиков для 0.356; 0.372 и 0.6 млн. лет. Авторы [Prokopenko et al., 2001] непоследовательны, объясняя региональные оледенения, соответствующие подстадиям 5d и 7d, наиболее глубокими минимумами инсоляции (около 0.115 и 0.23 млн. лет) и ничего не говоря о причинах глобальных оледенений, приходящихся на гораздо менее глубокие минимумы (рис. 2). Декларируемое ими определяющее влияние на палеоклиматические изменения прецессионных инсоляций, конечно, не объясняет главных, глобальных климатических изменений плейстоцена - оледенений и межледниковий, отраженных в записях *BioSi*. В этом отношении дальше авторов обсуждаемой публикации пошел еще более 125 лет назад английский исследователь Дж. Кролль [Croll, 1875]. Он также придавал определяющее значение в глобальных климатических изменениях прецессионным вариациям, промодулированным колебаниями эксцентриситета. Однако им была сделана попытка объяснить столь сильное климатическое влияние прецессии усилением инсоляционного сигнала с помощью положительных обратных связей. Предложенная в публикации [Prokopenko et al., 2001] схема отклика биопродуктивности озера Байкал на климатические изменения никак не объясняет определяющее влияние на этот процесс прецессионных вариаций инсоляции. Ими не принимается во внимание, что, в случае жаркого лета, прецессия определяет в данном полушарии не только жарко, но и короткое лето, а также соответственно длительную холодную зиму. А объяснение преобладания в байкальской записи "прецессионных" климатических колебаний, которые, согласно ИК данным по океанским осадкам являются самыми слабыми в плейстоцене, требует серьезного обоснования. В низких широтах, где влияние прецессии на сезонные вариации инсоляции наибольшее, достаточно убедительным является механизм климатического влияния этих вариаций, связанных с изменениями интенсивности палеомуссонов, обусловленными температурными градиентами на границе океан - суша [Rosignol-Strick, 1983; Prell, Kutzbach, 1987]. Однако такой механизм не работает для внутриконтинентальных областей гораздо более высоких широт, где к тому же прецессионные вариации инсоляции меньше. В этой связи представляется весьма странным отсутствие влияния на палеоклиматическую запись (во всяком случае авторы [Prokopenko et al., 2001] об этом ничего не пишут) вариаций инсоляции, связанных с изменением угла наклона 8 земной оси к перпендикуляру к плоскости эклиптики. Оно тем более странно, что практиче-

ски этими же авторами в работе [Williams et al., 1997] приводится спектральная диаграмма этой же записи *BioSi*, где 41-тысячелетний пик, связанный с вариациями угла  $\epsilon$ , существенно преобладает над почти незаметным прецессионным пиком. Влияние указанного параметра представляется гораздо более определенным и действенным, поскольку, например, увеличение угла  $\epsilon$ , по Миланковичу [1939], вызовет *среднегодовое* потепление высоких, в частности "байкальских", широт. Одновременно увеличится и летнее дневное время, что, несомненно, будет способствовать увеличению биопродуктивности в озере. И еще один вопрос - стоит ли придавать настолько важное значение палеоклиматической записи в озере Байкал - в самом глубоком, но *внутреннем* водоеме - чтобы считать ее "палеоклиматическим стратотипом" для всей континентальной Азии [Prokopenko et al., 2001, p. 131]? Ведь известно, например, что изменения уровня аридных озер (даже Каспийского моря) и уровня Мирового океана в позднем плейстоцене были противофазны [Мурзаева и др., 1984]. Палеоклиматические записи по различным климатическим индикаторам в глубоководных осадках также имеют свои особенности [Imbrie et al., 1993]. Например, в двух колонках Лабрадорского моря [Aksu et al., 1989], записи  $\delta^{18}\text{O}$  и количества планктонных фораминифер имеют несовпадения (иногда существенные) внутри выделенных ИК стадий.

Авторы другой публикации [Карабанов и др., 2001, с. 50], обсуждая байкальскую палеоклиматическую запись, пишут о том, что три ИК стадии - 2, 3, и 4 - соответствуют одному оледенению, из чего следует, что в ИК записи глубоководных осадков и коррелируемой с ней записью *BioSi* озера Байкал проявляется, как это общепринято, 9 межледниковий и 8 оледенений в течение хрона Брюнес. Тем не менее, в работе (даже в резюме) говорится о выделении авторами 10 межледниковых и 9 ледниковых периодов, что искусственно усиливает несоответствие с западно-сибирской стратиграфией, в которой выделяются 8 межледниковых интервалов. Исходя из этого авторами [Карабанов и др., 2001, с. 54] делается необоснованный вывод о том, что "... в стратиграфической схеме Западной Сибири отсутствуют следы *двух* межледниковых и *двух* ледниковых интервалов" (курсив мой - В.Б.). Учитывая высказанное нами сомнение, о широкой региональной (для всей Азии) значимости байкальской записи нельзя согласиться и с категорическим соотношением Самаровского ледникового горизонта со стадией ИК 8 а не ИК 10. Такое соотношение делается на основе того, что Самаровский ледниковый горизонт имеет двучленное строение, как и запись *BioSi*, соответствующая 8-й ИК стадии (рис. 2). О недостаточной обоснованности такого заключения говорит и то, что имеющую также двучленное строе-

ние запись *BioSi*, соответствующую 18-й ИК стадии, коррелируют тем не менее с единым ледниковым Мансийским горизонтом [Карабанов и др., 2001, таблица].

Заметные отличия палеомагнитной записи и избыточное количество выделяемых экскурсов в хроне Брюнес в расположенных в непосредственной близости друг от друга колонках BDP-96-1 и BDP-96-2 [Кравчинский и др., 1998] указывают на возможность искажений палеоклиматической записи, скорее всего связанные с неоднородностью процессов осадкообразования в озере Байкал как в пространстве, так и во времени. Не исключена возможность такого же объяснения и необычной записи *BioSi*, соответствующей 15-й ИК стадии. Кстати, если трактовать похолодание внутри этой стадии, длящееся около 30 тыс. лет, как глобальное оледенение, то выделение в байкальской записи 10 межледниковий и 9 оледенений в хроне Брюнес становится обоснованным. Однако это будет противоречить интерпретации ИК записи глубоководных осадков. Таким образом, утверждение авторов [Карабанов и др., 2001, с. 49] о непрерывности байкальской записи, которая "...подтверждается отсутствием литологических перерывов в исследуемом керне BDP-96-2, постоянностью скорости седиментации (?) разреза, а также хорошей корреляцией с морскими изотопными кривыми" может быть подвергнуто сомнению, тем более, что оз. Байкал находится в сейсмически активной зоне [Николаев, 1996] (курсив и знак вопроса мой - В.Б. - поскольку постоянство скорости седиментации автоматически предполагает непрерывность записи. С другой стороны, как следует из рис. 2, скорость осадконакопления в Байкале менялась почти в два раза). Также вызывает недоумение корреляция ледникового Ермаковского горизонта с записью *BioSi*, соответствующей подстадиям 5a~5d межледниковой ИК стадии 5. Более того, этот интервал представлен в байкальской записи в основном диатомовым илом, который формировался, по мнению авторов [Карабанов и др., 2001], в межледниковье. Таким образом, учитывая сказанное выше, можно заключить, что говорить о байкальской записи как о "палеоклиматическом стратотипе Азии" пока рано.

Несколько слов об использовании авторами [Карабанов и др., 2001] ТЛ и ЭПР дат для корреляции байкальской записи с ледниковыми отложениями. К сожалению, и здесь можно отметить некоторую непоследовательность. С одной стороны, говорится о том, что "...возрастные оценки отложений среднего и раннего плейстоцена значительно расходятся с возрастом сопоставленных с ними изотопных стадий" [Карабанов и др., 2001, с. 57]. С другой стороны, при сопоставлении Самаровского ледникового горизонта с записью *BioSi* используется ТЛ дата ( $230 \pm 50$ - $260 \pm 56$ ) тыс. лет,

относящаяся к среднему плейстоцену. Также авторы отмечают совпадение абсолютных дат горизонтов позднего плейстоцена с возрастными соответствующих им ИК стадий. Однако это не обязательно указывает на адекватность как методов датирования, так и стратиграфических корреляций. Ведь если ИК стадию 5 сопоставлять не с казанцевским, а с лежащим выше каргинским горизонтом (чего, вероятно, нельзя исключить полностью), то и стратиграфическая схема, и датировки могут оказаться неправильными.

И в завершение коснемся использования каппаметрии при изучении байкальских осадков. В работе [Карабанов и др., 2001] в качестве иллюстрации климатостратиграфической сопоставимости глубоководных ИК кривых, кривой содержания *BioSi* и разрезов ЛФ Китая для последних приводится каппаметрическая кривая, подобная приведенным на рис. 1. Хорошая, на первый взгляд, сопоставимость этой кривой с байкальскими и глубоководными записями имеет однако недостаток, о котором говорилось выше и о котором авторы [Карабанов и др., 2001], по-видимому, не знают: инверсия М-Б в глубоководных осадках и байкальской записи проходит в межледниковой стадии 19, тогда как в разрезах Китая ее проводят в 8-м лессе, сопоставляемом с оледенением. Поэтому, в отличие от утверждений авторов, в китайских разрезах ЛФ в хроне Брюнес фиксируется, строго говоря, 8 ледниковых и 8 межледниковых горизонтов, поскольку палеопочва S5, сопоставляемая с ИК стадиями 13 и 15, представлена единым горизонтом (см. рис. 1).

Использование полученных непосредственно на байкальских осадках каппаметрических данных [Крайнев и др., 2001] для выделения палеоклиматических циклов путем проведения спектрального анализа вызывает следующие возражения. 1). В работе не приводятся никаких обоснований (не говоря уже о конкретном механизме) влияния только глобальных климатических изменений на величину *k*. Для этого было бы очень полезным сопоставление вариаций *k* не только с ИК кривой, а и с данными содержания кремнезема в той же байкальской колонке, чего сделано не было. Без обоснования механизма климатического влияния на величину *k* нельзя считать каппаметрическую запись палеоклиматической, как это сделано в работе [Крайнев и др., 2001]. 2). Проведение спектрального анализа требует установления надежной временной шкалы. Использование для этой цели корреляции каппаметрической и ИК кривой нельзя считать надежным, на что указывает и довольно низкий коэффициент корреляции этих кривых - 0.41. Даже визуально можно видеть трудности выделения ИК стадий 6-8, 13-14 и 17-21 в записи каппаметрической кривой. 3). Сопоставление с кривой содержания *BioSi*, приведенной в [Карабанов и др., 2001], выявляет мень-

шую выраженность ИК стадий в записи к. По-видимому, это говорит о различии факторов (возможно, не только глобальных климатических), определяющих содержание *BioSi* и величину к в байкальских осадках.

Сказанное в пп. 1)-3) подвергает сомнению не только палеоклиматическую значимость установленных с помощью спектрального анализа каппаметрических (особенно нетрадиционных) циклов, но и корректность их получения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Из рассмотренных выше примеров использования физических методов при изучении плейстоцена следует считать актуальной необходимость корректного с точки зрения физики и объективного анализа получаемых результатов. К сожалению, имеются факты субъективного подхода при получении и интерпретации данных, примером чего являются палеомагнитные исследования разреза Белово и комплексное изучение уникальной байкальской палеоклиматической записи. Следствием этого часто является необъективность и тенденциозность в интерпретации результатов исследования, которые могут породить сомнения и в репрезентативности представляемых первичных данных. Что может быть результатом таких исследований? В лучшем случае - самомистификация, в худшем - введение в заблуждение других исследователей.

Проведенный анализ использования некоторых физических методов при изучении плейстоцена позволяет сделать следующие выводы.

1. Наиболее точные и корректные выводы при использовании данных палеомагнетизма и особенно каппаметрии могут быть получены только на основе выявления конкретного механизма формирования магнитного сигнала в изучаемых породах. Заключение о конкретном положении геомагнитной инверсии в разрезе может быть сделано, как это было показано ранее [Гурарий, 1988], только при установлении зоны перехода от одной полярности к другой.

2. Данные методов абсолютного датирования, особенно ТЛ метода, следует рекомендовать к использованию только в случае подтверждения адекватности соответствующих методик путем независимой проверки.

3. При проведении корреляции глубоководных и континентальных разрезов плейстоцена с помощью палеоклиматических записей следует учитывать специфику таких записей, связанную как с различными палеоклиматическими индикаторами, так и с местными и региональными особенностями процессов осадкообразования, особенно для континентальных отложений. Обоснованность такой корреляции в большой степени зависит

от разработанности механизма климатической записи и от наличия в разрезах глобальных хроностратиграфических реперов, таких как инверсия Матуяма-Брюнес.

Автор благодарен А.Н. Храмову и Е.В. Деяткину за полезные замечания и внимание к работе. Тема данной работы находится в рамках поддержанного РФФИ проекта № 01-05-64073.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов С.А., Зыкина В.С., Круковер А.А., Гнибиденко З.Н., Шелкоплас В.Н.* Стратиграфия и палеомагнетизм ледниковых и лессово-почвенных отложений Западно-Сибирской равнины // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. Мс6. С. 1027-1048.
- Болхоевская Н.С.* Эволюция лессово-почвенной-формации Северной Евразии М.: Изд. МГУ. 1995. 270 с.
- Болхоевская Н.С., Вирина Е.И., Красенков Р.В. и др.* О связи магнитных свойств лессовой формации бассейна Верхнего Дона с изменениями климата в плейстоцене // Докл. РАН. 1999. Т. 368. № 5. С. 687-690.
- Большаков В.А.* Использование методов магнетизма горных пород при изучении новейших отложений. М.: ГЕОС. 1996. 192 с.
- Большаков В.А.* Теория М.Миланковича - новая концепция // Изв. РАН. Сер. Географическая. 2000а. М° 1. С. 20-30.
- Большаков В.А.* Использование каппаметрии при изучении плейстоцена: физические и палеогеографические аспекты // Физика Земли. 2000б. Мс 5. С. 76-86.
- Большаков В.А.* Новый способ построения диаграммы палеоклиматических изменений плейстоцена // Докл. РАН. География. 2000в. Т. 374. Мс 5. С. 692-695.
- Большаков В.А.* Орбитально-климатическая диаграмма как основа сопоставления палеоклиматических записей плейстоцена // Докл. РАН. География. 2001а. Т. 378. Мс 5. С. 675-678.
- Большаков В.А.* Данные магнитных исследований пород лессовой формации, их интерпретация и прикладное использование // Физика Земли. 2001б. Мс 8. С. 86-96.
- Большаков В.А.* Новая концепция астрономической теории палеоклимата: шаг вперед, после двух шагов назад // Физика Земли. 2001в. Мс 11. С. 50-61.
- Большаков В.А.* Термолюминесцентный метод - основа стратиграфии и корреляции антропогена Южного Таджикистана? // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2001. № 6. С. 104-109.
- Большаков В.А., Большаков П.В.* Астрономическая теория палеоклимата - новая концепция // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1999. Т. 7. Мс 6. С. 3-13.
- Большаков В.А., Свитон А.А.* Новые палеомагнитные данные по отложениям красnodубровской свиты Приобского плато. Перспективы развития минерально-сырьевой базы Алтая. Барнаул. 1988. Ч. 1. С. 50-51.
- Вирина Е.И., Фаустов С.С., Хеллер Ф.* Магнитные свойства лессовой формации Центра Русской Равнины и их связь с процессами почвообразования. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. М.: ОИФЗ РАН. 1998. С. 15-16.

- Власов В.К., Куликов О.А.* Радиотермолюминесцентный метод датирования рыхлых отложений. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1988. 72 с.
- Всероссийское совещание "Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке", тез. докл. ВСЕГЕИ. СПб. 1998. 336 с.
- Всесоюзная конференция "Геохронология четвертичного периода", тезисы докладов. АН СССР. Москва-Таллин. 1985. 120с.
- Гурарий Г.З.* Геомагнитное поле во время инверсий в позднем кайнозое. М.: Наука. 1988. 207 с.
- Гурарий Г.З., Пеньков А.В.* Инверсии магнитного поля Харамильо-Матуяма и Матуяма-Брюнес по результатам исследований в Таджикской депрессии // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1985. № 2. С. 47-54.
- Девяткин Е.В.* Меридиональный анализ экосистем плейстоцена Азии (основные проблемы) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1993. Т. 1. № 4. С. 77-83.
- Додонов А.Е.* Антропоген Южного Таджикистана. М.: Наука. 1986. 168 с.
- Додонов А.Е., Шеклтон Н., Жоу Л.П. и др.* Лессово-почвенная стратиграфия квартера Средней Азии: геохронология, корреляция и эволюция палеосреды // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1999. Т. 7. №6. С. 66-80.
- Зыкина В.С., Волков И.А., Семенов В.В.* Реконструкция климата неоплейстоцена Западной Сибири по данным изучения опорного разреза Белово // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2000. Вып. 2. С. 229-249.
- Карабинов Е., Прокопенко А. и др.* Оледенения и межледниковья Сибири - палеоклиматическая запись из озера Байкал и ее корреляция с западно-сибирской стратиграфией // Геология и геофизика. 2001. № 1-2. С. 48-63.
- Котляков В.М., Лориус К.* Четыре климатических цикла по данным ледяного керна из глубокой скважины на станции Восток в Антарктиде // Изв. РАН. Сер. Географическая. 2000. № 1. С. 7-19.
- Кравчинский В.А., Пек Дж., Сакаи Х. и др.* Магнито-стратиграфическая шкала позднего кайнозоя Центральной Азии по данным глубоководного бурения на Байкале. Глобальные изменения природной среды / Ред. Добрецов Н.А., Коваленко В.И. Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГ РАН. 1998. С. 73-77.
- Крайнов М., Кравчинский В., Пек Дж. и др.* Палеоклиматическая запись осадков озера Байкал по данным магнитной восприимчивости // Геология и геофизика. 2001. №1-2. С. 87-97.
- Лазаренко А.А., Пахомов М.М., Пеньков А.В. и др.* О возможности климатостратиграфического расчленения лессовой формации Средней Азии. Поздний кайнозой Северной Евразии. М.: ГИН АН СССР. 1977. Ч. 1. С. 70-132.
- Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.-Л.-д.: ГОНТИ. 1939. 207 с.
- Молодьков А.Н.* ЭПР анализ скелетного вещества моллюсков в хроностратиграфических исследованиях позднего кайнозоя. Автореф. дисс. д-ра геол. наук. Тарту. 1992. 33 с.
- Мотузко А.Н., Фаустов С.С.* О стратиграфическом положении границы палеомагнитных зон Брюнес-Матуяма в разрезе Белово. Корреляция новейших отложений севера Евразии. Л.: Изд-во ГО СССР. 1972. С.97-99.
- Николаев В.Г.* Конседиментационные и постседиментационные дислокации в осадочном чехле впадины оз. Байкал // Физика Земли. 1996. № 12. С. 79-85.
- Пахомов М.М.* Новые данные к палеогеографии лессово-почвенной серии Средней Азии // Докл. АН СССР. 1983. Т. 27. С. 967-972.
- Пунинг Я.-М.К., Власов В.К., Куликов О.А. и др.* Первый опыт и результаты межлабораторного контроля термолюминесцентного датирования лессовых пород // Геохронология четвертичного периода. М.: Наука. 1992. С. 5-10.
- Разрез новейших отложений Алтая / Под ред. Маркова К.К. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 208 с.
- Хютт Г.И., Бродский Л.И.* Люминесцентное датирование четвертичных отложений: проблемы и некоторые результаты. Всероссийское совещание "Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке", тез. докл. СПб.: ВСЕГЕИ. 1998. С. 290-291.
- Aksu A., de Vernal A., and Mudie P.* High-resolution foraminifer, palynologic, and stable isotopic records of Upper Pleistocene sediments from the Labrador sea: paleoclimatic and paleoceanographic trends // Proceedings of the Ocean Drilling Program, scientific results. 1989. V. 105. P. 617-652.
- Bassinot F.C., Labeurie 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.
- Berger A.* Theorie astronomique des paleoclimats, une nouvelle approche // Bull. Soc. Beige Geologic. 1978a. V. 87. P. 9-25.
- Berger A.* Long-term variation of caloric insolation resulting from the Earth's orbital elements // Quat. Res. 1978b. V. 9. P. 139-167.
- Berger A., Loutr e Mf.* Insolation values for the climate of the last 10 million years // Quat. Sci. Rev. 1991. V. 10. P. 297-317.
- Chlachula J., Evans M., Rutter N.* A magnetic investigation of a Late Quaternary loess/palaeosol record in Siberia // Geophys. J. Int. 1998. V. 132. P. 128-132.
- Clement E.M., Kent D.V.* Latitudinal dependency of geomagnetic polarity transition duration // Nature. 1984. V. 310. P. 488-491.
- Clements S., Prell W.* Late quaternary forcing of Indian ocean summer\*monsoon winds: a comparison of Fourier model and General Circulation Model results // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. P. 22683-22700.
- Dansgaard W., Johnsen S., Clausen H. et al.* Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record // Nature. 1993. V. 364. P. 218-220.
- Ding Z., Rutter N., Liu T. et al.* Climatic correlation between Chinese loess and deep-sea cores : a structural approach // Loess, Environment and Global Change. Science Press, Beijing, China. 1991. P. 168-186.

- Evans T.* Magnetoclimatology of aeolian sediments // Terra Nostra 2000/10: From secular variation to paleomagnetism - Workshop, Potsdam. P. 31-32.
- Heller F., Liu T.* Magnetostratigraphical dating of loess deposits in China // Nature. 1982. V. 300. P. 431-433.
- Heller P., Liu T.* Magnetism of Chinese loess deposits // Geophys. J. R. Astr. Soc. 1984. V. 77. P. 125-141.
- Heller F., Liu T.* Palaeoclimatic and sedimentary history from magnetic susceptibility of loess in China // Geophys. Res. Lett. 1986. V. 13. P. 1169-1172.
- Hus J., Han J.* The contribution of loess magnetism in China to the retrieval of past global changes - some problems // Phys. Earth Planet. Inter. 1992. V. 70. P. 154-168.
- Imbrie J., Berger A., Boyle A. et al.* On the structure and origin of major glaciation cycles. 2. The 100,000-year cycle // Paleoclimatology 1993. V. 8. P. 699-735.
- Imbrie J., Hays J., Martinson et al.* The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine  $^{18}\text{O}$  record // In: Milankovitch and Climate, NATO ASI Ser. C. 126. A.I. Berger et al. Eds. Reidel. Dordrecht. 1984. P. 269-305.
- Imbrie J., Imbrie J.Z.* Modelling the climatic response to orbital variations // Science. 1980. V. 207. P. 943-953.
- Johnson R.J.* Brunhes-Matuyama magnetic reversal at 790,000 yr. B.P. by marine-astronomical correlations // Quatern. Res. 1982. V. 17. P. 135-147.
- Kukla G., Heller F., Liu X. et al.* Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility // Geology. 1988. V. 16. P. 811-814.
- Laskar J., Joutel F., Boudin F.* Orbital, precessional and insolation quantities for the Earth from -20 Myr to +10 Myr // Astronomy and Astrophysics 1993. V. 270. P. 522-533.
- Liu X., Liu T., Show J. et al.* Paleomagnetic and paleoclimatic studies of Chinese loess // Loess, Environment and Global Change. Science Press, Beijing, China. 1991. P. 61-81.
- Nawrocki J., Wojcik A., Bogucki A.* The magnetic susceptibility record in Polish and western Ukrainian loess-palaeosol sequences conditioned by palaeoclimate // Boreas. 1996. V. 25. P. 161-169.
- Pisias N., Rea D.* Late Pleistocene paleoclimatology of the Central Equatorial Pacific: sea surface response to the Southeast trade winds // Paleoclimatology. 1988. V. 3. P. 21-37.
- Prell W., KuKbach J.* Monsoon Variability over the past 150,000 years. // J. of Geophys. Res. 1987. V. 92. P. 8411-8425.
- Prokopenko A., Karabanov E., Williams D. et al.* Biogenic silica record of the lake Baikal response to climatic forcing during the Brunhes // Quatern. Res. 2001. V. 55. P. 123-132.
- Rosignol-Strick M.* African monsoons, an immediate climate response to orbital insolation // Nature. 1983. V. 304. P. 46-49.
- Sarnthein M., Tiedemann R.* Toward a high-resolution stable isotope stratigraphy of the last 3.4 million years: sites 658 and 659 off Northwest Africa // Proceedings of the Ocean Drilling Program, scientific results. 1989. V. 108. College Station, Texas. P. 167-185.
- Schneider D.A., Kent D.V., 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.
- Shackleton N.* New data on the evolution of Pliocene climatic stability // In: Vrba E.S. et al. (eds) Paleoclimate and evolution with emphasis on human origins, Yale University Press, 1995. P. 242-248.
- Shackleton N.J., Berger A., and Peltier W.* An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene time scale based on OOP Site 677 // Trans. R. Soc. Edinb. 1990. V. 81. P. 251-261.
- Shackleton N., Opdyke N.* Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Pacific core V28-239 Late Pliocene to Latest Pleistocene. // Geol. Soc. Amer. Memoir 145. 1976. p. 449-464.
- Shlukov A.J., Usova M.G., Voskovskaya L.T., Shakovets S.A.* New dating techniques for quaternary sediments and their application on the Russian plane // Quatern. Sci. Rev. 2001. V. 20. P. 875-878.
- Spell T., McDougall.* Revisions to the age of the Brunhes-Matuyama boundary and the Pleistocene geomagnetic polarity timescale // Geophys. Res. Letters. 1992. V. 19. P. 1181-1184.
- Thomson R., Bloemendaal J., Dearing J. et al.* Environmental applications of magnetic measurements // Science. 1980. V. 207. P. 481-486.
- Thouveny N., de Beaulieu J.-L., Bonifay E. et al.* Climate variations in Europe over the past 140 kyr deduced from rock magnetism // Nature. 1994. V. 371. P. 503-506.
- Verosub K.L., Roberts A.P.* Environmental magnetism: past, present, and future // J. of Geophys. Res. 1995. V. 100. № B2. P. 2175-2192.
- Williams D., Peck J., Karabanov E., Prokopenko A. et al.* Lake Baikal record of continental climate response to orbital insolation during the past 5 million years // Science. 1997. V. 278. P. 114-1117.
- Zhu R., Laj C., Mazaud A.* The Matuyama-Brunhes and Upper Jaramillo (UJ) transitions recorded in a loess section at Weinan, north-central China // Earth Planet. Sci. Lett. 1994. V. 125. P. 143-158.

Сдано в набор 27.03.2002 г.

Подписано к печати 24.05.2002 г.

Формат бумаги 60 x 88 V

Офсетная печать

Усл. печ. л. 12.0

Усл. кр.-отг. 3.4

Уч.-изд. л. 11.2

Бум. л. 6.0

Тираж 269 экз.

Зак. 6368

Свидетельство о регистрации № 0110188 от 04.02.93 г. в Министерстве печати и информации Российской Федерации

Учредители: Российская академия наук

Адрес издателя: 117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

Отпечатано в ППП. "Типография "Наука", 121099, Москва, Шубинский пер., 6