

УДК 551.583.7

В.А. БОЛЬШАКОВ

ТЕОРИЯ М. МИЛАНКОВИЧА: НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

Как известно, главная особенность четвертичного периода – наличие неоднократных материковых оледенений. Именно для объяснения этого феномена была разработана астрономическая теория палеоклимата, связывающая климатические изменения с вариациями поступающей на Землю солнечной радиации. Особая роль в ее разработке принадлежит М. Миланковичу, впервые рассчитавшему параметры солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы, для разных широт Земли за последние 600 тыс. лет (Миланкович, 1939). По теории Миланковича, изменения инсоляции, связанные с вариациями эксцентриситета e , пропорци-

ональны $\frac{1}{\sqrt{1-e^2}}$ и максимальное изменение инсоляции за последние 600 тыс. лет составляет всего 0,11%. Вследствие этого он заключил, что изменения солнечной радиации, связанные с вариациями эксцентриситета, не имеют самостоятельного значения, и при расчете поступающей на верхнюю границу атмосферы солнечной энергии учитывал его только как параметр, модулирующий процессионные вариации (при большом e амплитуда изменений солнечной радиации за счет прецессии будет больше). Изменения количества солнечной радиации ΔQ , получаемой разными широтами на верхней границе атмосферы Земли, относительно определенного момента времени геологической истории планеты для летнего (ΔQ_s) и зимнего (ΔQ_w) калорических полугодий Северного полушария выражаются следующими формулами:

$$\Delta Q_s = \Delta W_s \cdot \Delta \epsilon - m \cdot \Delta(e \cdot \sin P), \quad (1)$$

$$\Delta Q_w = \Delta W_w \cdot \Delta \epsilon - m \cdot \Delta(e \cdot \sin P), \quad (2)$$

где ΔW – зависящее от широты изменение солнечной радиации при изменении наклона земной оси $\Delta \epsilon$ на 1° ; m – множитель, зависящий от широты; P – долгота перигелия Земли. Из приведенных формул следует, что годовые изменения радиации для любой широты за счет прецессии (вторые слагаемые в правых частях формул (1) и (2)) равны нулю. Уравнения (1) и (2) были основой для получения знаменитой инсоляционной кривой Миланковича, в которой, естественно, нет явно выраженных периодов около 100 тыс. лет, связанных с изменением эксцентриситета. Согласно его расчетам, за 600 тыс. лет на Земле было 4 оледенения, что соответствовало известной климатической схеме Пенка и Брюкнера с ледниковыми эпохами вюрм, рисс, мындель и гюнц. Расчеты Миланковича впоследствии в основном подтвердили вычисления, сделанные Шараф и Будниковой (1967, 1969), Берже (1978, 1988) и др. Однако полученные изотопно-кислородные (ИК) данные по донным осадкам океанов (Emiliani, 1955; Shackleton, Opdike, 1973, 1976; Hays et al., 1976) внесли существенные коррективы, и в хроне Брюнес стали выделять 8 оледенений

© В.А. Большаков, 1999

(Боуэн, 1981). Тем не менее спектральный анализ ИК-записей подтвердил наличие периодичностей 100, 41, 23 и 19 тыс. лет, связываемых с орбитальными параметрами, после чего астрономическая теория приобрела практически всеобщее признание. Очевидно огромное значение данной теории не только для наук о Земле, но и для физики и астрономии.

Однако задачей дальнейшего исследования астрономической теории и ее применения, в особенности для изучения континентальных отложений, следует считать не автоматическое подкрепление этой без сомнения прогрессивной и величественной (помня о поколениях ученых разных специальностей, внесших свой вклад в ее создание) теории, а объективное изучение, в частности в целях более точного и полного ее использования. Поэтому, не останавливаясь на достоинствах, перейдем к недостаткам теории, выделив основные из них.

1. Несоответствие количества оледенений инсоляционной диаграммы Миланковича их количеству согласно ИК-данным в пределах хрона Брюнес.

2. Эти оледенения приходятся на интервалы пониженных значений эксцентриситета, по крайней мере за последние 500–650 тыс. лет (Haas et al., 1976; Imbrie et al., 1984). Однако определяющее влияние прецессионного цикла на изменение инсоляции в рамках астрономической теории, напротив, предполагает возникновение оледенений в периоды наибольших значений эксцентриситета.

3. Преобладающее значение во всех записях $\delta^{18}\text{O}$ до 1 млн лет имеют периоды около 100 тыс. лет (Haas et al., 1976; Imbrie et al., 1984). Именно эти периоды, близкие к циклам изменения эксцентриситета, отсутствуют явно в теории Миланковича и его последователей.

4. Теория Миланковича не объясняет смены преобладающего в течение хрона Матуяма периода климатических колебаний в 41 тыс. лет на 100 тыс. лет в пределах хрона Брюнес (Ruddiman et al., 1986; Имбри Дж., Имбри К.П., 1988; Berger, 1988; Shackleton et al., 1990).

5. Теория основана на постоянстве, в геологических масштабах времени, мощности излучаемой солнечной энергии, однако ни это, ни обратное утверждение не имеют пока строгих доказательств.

Более того, полученные к настоящему времени материалы скорее говорят в пользу переменной светимости Солнца. Данные спутниковых наблюдений (Скляров, 1994; Чистяков, 1997; Nesme-Ribes et al., 1996) указывают на циклические изменения солнечной постоянной S_0 , близкие к 0,1%, которые находятся в фазе с 11-летними циклами изменения солнечной активности. При этом максимум S_0 совпадает с максимумом чисел Вольфа. То, что величина изменения солнечной радиации в 11-летнем цикле близка к величине изменения инсоляции за счет вариаций эксцентриситета ($\cong 0,11\%$), позволяет сделать предположение, что глобальные климатические изменения – оледенения и межледниковья – можно связывать с вариациями эксцентриситета, если считать доказанной связь изменений солнечной активности (СА) и климатических колебаний. (Этой теме посвящено множество работ.) Можно полагать, что региональный характер и нестабильность во времени климатических проявлений 11-летних циклов связаны не только со слабыми изменениями суммарной радиации, но и с относительно *малым периодом ее воздействия* (всего 11 лет) на высокоэнергетичную и инертную климатическую систему Земли, что, по-видимому, совершенно недостаточно для ее планетарной перестройки. В связи с этим особое значение приобретают периоды длительных аномальных изменений СА, связанные с соответствующими им периодами климатических колебаний. Это известные минимумы солнечной активности Вольфа ($\cong 1281$ – 1347 гг.), Шперера ($\cong 1400$ – 1510 гг.), Маундера (1645–1715 гг.) и предшествующий им средневековый максимум СА (Эдди, 1978; Витинский и др., 1986; Иванов-Холодный, Чернопруд, 1990). Максимум СА вызвал малый климатический оптимум в 10–12 веках, а минимумы СА были связаны с известным общепланетарным “малым ледниковым периодом” – 14–18 веков (Эдди, 1978; Хейс, 1980;

Климанов, 1994, 1997; Дамон, 1980; Nesme-Ribes et al., 1996; Чистяков, 1997; Gallardo, 1997).

Наиболее достоверные корреляции СА с климатом, естественно, связаны с минимумом Маундера, поскольку и измерения чисел Вольфа и климатических параметров частично обеспечены в этот период непосредственными инструментальными наблюдениями, которые дополняются историческими сведениями, дендрохронологией. На мой взгляд, это наиболее надежный факт, позволивший В.Ф. Чистякову сделать вывод: “В ходе исследований в широком временном интервале, от 100 лет до 2,5 млрд лет, было прослежено влияние физических вариаций Солнца на колебания климата, которое во всех случаях представляется следующим образом: усиление активности и светимости Солнца сопровождается потеплением климата” (1997, с. 5). Установление связи минимума Маундера с завершающей стадией “малого ледникового периода” означает, что длительное (по сравнению с 11-летним периодом) уменьшение СА может вызвать общепланетарное климатическое похолодание. Поэтому логично предположить, что гораздо более длительные изменения инсоляции примерно такой же амплитуды (0,1%), происходящие при изменении эксцентриситета, тем более должны вызвать климатические изменения. Такое заключение согласуется с наличием главной (~100 тыс. лет) периодичности климатических изменений за последние 600 тыс. лет и корреляции оледенений с минимумами e (Hays et al., 1976; Imbrie et al., 1984). При минимальном значении эксцентриситета среднее расстояние от Земли до Солнца будет максимальным (поскольку, согласно законам небесной механики, величина большой полуоси орбиты Земли остается постоянной), а следовательно, достигающая Земли солнечная радиация – минимальной. Это – простое и естественное объяснение периодичности в 100 тыс. лет в отличие от менее обоснованных физически математических соотношениях между обратными периодами эксцентриситета и частотами прецессии (Berger, Loure, 1988, 1992).

Очевидное возражение предположению автора заключается в том, что, исходя из полученных Миланковичем теоретических оценок, величина изменения инсоляции за счет прецессии или угла наклона более чем на порядок превышает аналогичную величину, связанную с эксцентриситетом, вследствие чего вклад за счет последнего просто не проявится. Разрешением этого несоответствия может быть предположение об уменьшении реального влияния вариаций угла наклона и прецессии на инсоляцию, калорические изменения у поверхности Земли и соответственно климатические колебания. Естественно, необходимо и реальное физическое обоснование возможности этого уменьшения. Далее будет сделана попытка такого обоснования.

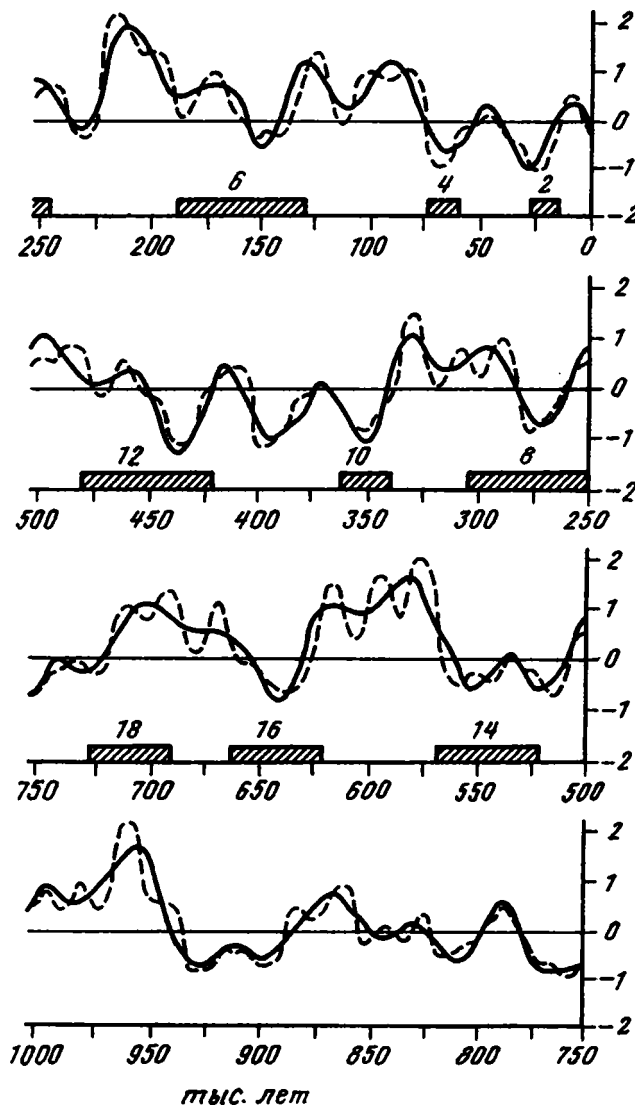
При расчетах приповерхностной температуры Миланкович рассматривал неподвижную атмосферу и плоскую однородную поверхность Земли, т.е. фактически не учитывал главных земных климатообразующих факторов: наличия Мирового океана, динамического взаимодействия и циркуляции атмосферы и гидросферы. Глобальность этих факторов существенно осложняет разработку общепланетарной климатической модели. Тем не менее некоторые следствия динамики атмосферы и океана достаточно очевидны. Известно, что циркуляция атмосферы и гидросферы приводит к сглаживанию температурных градиентов между различными регионами планеты. Вследствие этого, например, реальный температурный градиент между полюсами и экватором меньше, чем теоретически подсчитанный, на что указывал и сам Миланкович (1939). Таким образом, существующее на Земле распределение температур определяется конкуренцией двух главных факторов – астрономически обусловленного распределения солнечной радиации по поверхности планеты и земных процессов теплообмена, действующих в данном случае как отрицательная обратная связь, направленная на уменьшение возникающего температурного градиента между полюсами и экватором. Аналогичный процесс должен происходить и с изменением солнечной радиации за счет вариаций угла наклона,

поскольку максимальные амплитуды изменений инсоляции будут наблюдаться в высоких широтах, тогда как в низких изменения будут меньше *и обратного знака*.

Иными словами, в земных условиях будет происходить сглаживание вызванного вариациями угла ϵ изменения **пространственного распределения** солнечной радиации, **общее количество которой неизменно**, и, следовательно, реальное уменьшение амплитуды вариаций солнечной радиации, связанных с этим параметром, и влияния нутации на климат. В сравнении с этим изменения инсоляции, вызванные вариациями эксцентриситета, относятся к планете *в целом*, т.е. определяют **одновременное, с периодичностью около 100 тыс. лет, повышение или понижение** **приходящей к Земле солнечной радиации для всех широт** **обоих полушарий**. За счет этого, по нашему мнению, и повышается *относительное* значение колебаний инсоляции, вызванных изменениями e .

На основании спектрального анализа ИК-кривых за последние 3 млн лет и полученных данных о совпадении оледенений с минимумами e и одновременными (по данным бурения ледовых колонок) похолоданиями и потеплениями в Гренландии и Антарктиде (Lorius et al., 1985; Монин, Шишков, 1979; Будыко, 1980) можно сделать вывод о преобладании климатической значимости нутации над прецессией. Меньшая роль прецессии в климатических изменениях по сравнению с вариациями ϵ может быть обусловлена в первую очередь тем, что *годовое* изменение инсоляции, определяемое прецессией, равно нулю для любой широты (см. (1), (2)). Очевидно, именно для выделения прецессионного вклада Миланкович вычислял полугодовые, а не годовые суммы радиации. Тогда возникает вопрос: насколько критично рассмотрение полугодовой или годовой инсоляции, когда вычисляются ее вариации за сотни тысяч лет, а сами вариации вызывают общеклиматические изменения с периодом в десятки тысяч лет? И можно ли полагать, что летняя инсоляция воздействует на климат, а зимняя – нет? По-видимому, это – искусственное разделение. Реальный вклад вариаций инсоляции в климатические изменения, если учесть огромную энергетику и инерционность климатической системы Земли, должен усредняться во времени. Следовательно, в соответствии с вычислениями Миланковича [ур. (1) и (2)] годовые и более длительные суммы прецессионной радиации будут нулевыми, что и объясняет уменьшенное влияние прецессии на климатические изменения плейстоцена, отраженные в ИК-данных. Однако это не означает, что прецессия не влияет на климат, а означает, что влияние это будет заключаться не в калорических изменениях, а, например, в вариациях увлажненности. С другой стороны, широтное изменение инсоляции, связанное с вариациями угла наклона, более выдержано во времени: в течение одного полупериода (около 20 тыс. лет) инсоляция, например высоких широт, будет уменьшаться, а в течение последующего – соответственно увеличиваться. Кроме того, в периоды минимальных e эффекты прецессии значительно ослабевают. Эти обстоятельства, а также почти вдвое больший период нутации по сравнению с прецессией могут являться факторами, обуславливающими меньшую роль последней в климатических изменениях, фиксируемых в колонках донных осадков плиоцена–плейстоцена. Не исключено, что несоразмерно большое значение, которое придавалось прецессии предшественниками, в какой-то степени повлияло на М. Миланковича и его последователей.

Итак, полагая главным фактором воздействия на климат Земли **длительность и однородность** изменений инсоляции, можно заключить, что основными орбитальными параметрами Земли, определяющими глобальные климатические изменения плейстоцена – оледенения и межледниковья, будут эксцентриситет и угол наклона земной оси. Принимая во внимание в первую очередь изменения e и ϵ и считая, что их минимальные значения соответствуют похолоданиям, можно определить периоды **наибольших похолоданий и потеплений (ледниковий и межледниковий)**. Например, используя величины e и ϵ , вычисленные А. Берже (Berger, 1978), и считая, что



Радиационно-климатическая кривая для последнего млн лет.

Сплошная линия – учет вклада за счет изменений эксцентриситета и угла наклона, штриховая – учет изменений всех трех орбитальных параметров. Заштрихованные участки – периоды четных ИК стадий по данным Imbrie J. et al. (1984). По оси ординат дано суммарное изменение значений орбитальных параметров относительно их средней величины, в усл. ед.

оледенениям будут благоприятствовать совокупные значения e и ϵ , меньшие их средних значений за последний миллион лет, можно получить оценочные даты ледниковий. Для этого мною была построена кривая, которую я назвал “радиационно-климатической” (рисунок). Кривая строилась следующим образом: изменения e , ϵ и $e \cdot \sin P$ во времени наносились на отдельные графики. За 0 осей ординат принималось среднее значение соответствующего параметра за весь рассматриваемый период – 1 млн лет. Таким образом, значения, меньшие среднего, были отрицательными, большие – положительными. (При этом кривая прецессии, по данным Берже (Berger, 1978), переворачивалась вокруг оси абсцисс на 180° , поскольку похоло-

дания в Северном полушарии соответствуют максимумам значений $e \cdot \sin \Pi$.) Затем на оси ординат для всех трех кривых вводился единый безразмерный масштаб. Соотношение единиц этого масштаба принималось для разных графиков таким: максимальное изменение эксцентриситета равно единице, максимальное изменение угла наклона – 0,71 и соответственно для прецессии – 0,43.

Такой масштаб был выбран произвольно, приведенные цифры отражают *качественную* степень влияния соответствующих орбитальных параметров на климат, т.е. определяют как бы “эффе́ктивную” инсоляцию. Конкретные цифры были выбраны только для удобства построения “радиационно-климатической” (РК) кривой, которая была получена суперпозицией трех упомянутых графиков после приведения их к единому масштабу с учетом указанных выше коэффициентов. Отрицательные значения на кривой должны соответствовать оледенениям, положительные – межледниковьям. Для сравнения с изотопно-кислородными данными по донным осадкам (см. рисунок) штриховкой показаны полученные Имбри (Imbrie et al., 1984) в рамках программы SPECMAP временные интервалы четных стадий (оледенений). Построенная РК-кривая лучше соответствует изотопно-кислородным данным, нежели инсоляционные кривые Миланковича, Берже и других авторов. В частности, выделяются два, а не три существенных похолодания в пределах последних 130 тыс. лет. Определенно выделяется похолодание в интервале 190–140 тыс. лет (стадия 6) с главным пиком около 150 тыс. лет, которого нет на кривой Миланковича. Можно отметить стадию 7 с характерным минимумом инсоляции в ее начале, обычно четко выраженным на кривых $\delta^{18}\text{O}$ и т.д. Отсутствие минимума на кривой (см. рис.), соответствующего оледенению около 700 тыс. л. н., связано с несовершенством шкалы SPECMAP для периода свыше 650 тыс. лет (Shackleton, 1995). Таким образом, РК-кривая соответствует количеству оледенений, фиксируемых ИК-данными за последние 800 тыс. лет, а теплая, – 19-я стадия, где проходит инверсия Матуяма/Брюнес (М/Б), имеет возраст около 780–790 тыс. лет, что согласуется с оценками, сделанными Джонсоном, Шеклтоном и др. (Johnson, 1982; Shackleton et al., 1990). Оледенения приходятся на интервалы пониженных значений эксцентриситета. Кстати, полученная Джонсоном оценка возраста инверсии М/Б основана на том, что он, пользуясь инсоляционными кривыми Берже, сопоставлял оледенения не с минимумами инсоляции, а с минимумами эксцентриситета.

Представленная на рисунке кривая имеет и некоторые несоответствия с ИК-данными. Например, менее глубокий по сравнению с двумя более поздними минимумом, соответствующий стадии 6, несоответствие продолжительности оледенения 410–340 тыс. лет (согласно РК-кривой) продолжительности стадии 10 по оценке Имбри (Imbrie et al., 1984). При этом необходимо помнить, что кривая получена мной на основе качественных предпосылок о соотношении влияния разных орбитальных параметров на климатические изменения, а количественные оценки весьма сложны. Однако такой подход обладает преимуществами. Например, полученные результаты и их интерпретация относятся не к отдельным широтам, как у Миланковича и его последователей, а к планете в целом (или к полушариям, когда используются три орбитальных элемента). Это значительно в большей степени соответствует глобальности оледенений и межледниковий, нежели инсоляционные кривые М. Миланковича и его последователей, которые, например для высоких и низких широт находятся в противофазе в течение значительных интервалов времени. Очевидно, что РК-кривая требует усовершенствования в будущем.

Однако, на мой взгляд, несоответствия могут возникать и в связи с некоторой неоднозначностью интерпретации изотопно-кислородных данных, которая может быть вызвана, в частности, большим количеством факторов, влияющих на точность и адекватность получаемых ИК-кривых. Кроме того, возможным возмущающим фактором, как следует из вышесказанного, может быть измене-

ние светимости солнца. Несомненно, что феномен глобальных оледенений в значительной или даже главной степени определяется эволюцией планеты в целом (изменения состава атмосферы, соотношения суши и океана, географического расположения континентов и др.). Согласно некоторым теориям, климатические изменения на Земле могут иметь характер автоколебательных процессов с периодами в десятки тысяч лет, обусловленными внутренними планетарными взаимодействиями в климатической системе океан–атмосфера–криосфера–литосфера (Фейрбридж, 1966; Хейс, 1980; Будыко, 1980; Монин, Шишков, 1979). Не исключено, что проявление таких автоколебательных процессов, или изменение СА, было причиной отсутствия длительного похолодания, отраженного на полученной нами РК-кривой в период от 410 до 340 тыс. лет (см. рисунок). Причинами смены главных периодов в спектре изотопно-кислородных кривых (от 41 к 100 тыс. лет) на рубеже эоплейстоцена–плейстоцена также считают изменения земных факторов – орографии, циркуляции атмосферы и гидросферы (Ruddiman et al., 1986).

ВЫВОДЫ

1. Теория М. Миланковича не единственно возможный способ учета влияния вариаций орбитальных параметров Земли на климат. Происходящие в реальных земных условиях процессы трансформации солнечной радиации в циркуляцию атмосферы и гидросферы и в результирующие изменения температуры должны вызвать существенные отличия от рассмотренного Миланковичем соотношения вклада различных орбитальных параметров в климатические изменения, фиксируемые в геологических разрезах. Именно в этом в первую очередь видится причина отсутствия прямой сопоставимости инсоляционных кривых, полученных в соответствии с теорией М. Миланковича, с изотопно-кислородными данными.

2. Построенная автором РК-кривая, учитывающая изменения эксцентриситета и угла наклона земной оси, хорошо соответствует основным климатическим этапам, зафиксированным в ИК-данных глубоководных осадков в пределах хрона Брюнес. В свою очередь, это позволяет: а) вновь обратиться к изначальной цели астрономической теории палеоклимата – непосредственному сопоставлению отраженных в геологических записях климатических изменений с вариациями орбитально обусловленных изменений инсоляции; б) считать предложенные качественные соотношения реального влияния орбитальных элементов на климат соответствующими действительности. Последнее обстоятельство может иметь определенное значение при климатическом моделировании.

3. Несоответствие астрономической теории палеоклимата и геологических данных не только возможно, но и весьма вероятно. Не учитываемые астрономической теорией изменения солнечной активности и земные процессы могут существенно повлиять на глобальную, а тем более региональную, климатическую запись, в частности изменяя продолжительность или ритмику некоторых этапов глобального климатического цикла в плейстоцене.

Автор выражает благодарность М.А. Певзнеру и Э.А. Вангенгейм за полезные критические замечания.

ЛИТЕРАТУРА

- Боуэн Д. Четвертичная геология М.: Мир, 1981. 272 с.
Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 351 с.
Витинский Ю.И., Копецкий Г.В., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, 1986. 296 с.

Дамон П. Вариации потоков энергичных частиц на расстоянии 1 а.е., связанные с солнечной активностью // Поток энергии Солнца и его изменения / Ред. О. Уайт. М.: Мир, 1980. С. 464–478.

Иванов-Холодный Г.С., Чернопруд В.Е. Солнечные циклы в прошлом и будущем. М.: ВИНТИ, 1990. (Итоги науки и техники. Исследования космического пространства; Т. 33).

Имбри Дж., Имбри К.П. Тайты ледниковых эпох. М.: Прогресс, 1988. 264 с.

Климанов В.А. Климат малого климатического оптимума на территории Северной Евразии // Докл. РАН. 1994. Т. 335, № 2. С. 232–236.

Климанов В.А. Изменение климата Северной Евразии за исторический период (по палинологическим данным) // Материалы метеорологических исследований. М.: ИГРАН, 1996. № 16. С. 180–192.

Краковецкий Ю.К. Минимум Маундера: (Новые факты) // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. М.: Наука, 1985. № 72. С. 57–64.

Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата М.; Л.: ГОНТИ, 1939. 207 с.

Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 407 с.

Скляр Ю.А. Солнечная постоянная: (Состояние исследований) // Исслед. Земли из космоса. 1994. № 4. С. 96–109.

Фейрбридж Р.У. Сходимость данных об изменениях климата и об эпохах оледенения // Солнечная активность и изменения климата. Л.: Гидрометеиздат, 1966. С. 270–315.

Хейс Дж. Изменения климата и их возможная зависимость от изменения солнечного излучения // Поток энергии Солнца и его изменения / Ред. О. Уайт. М.: Мир, 1980. С. 64–87.

Чистяков В.Ф. Солнечные циклы и колебания климата. Владивосток: Дальнаука, 1997. 156 с.

Шараф Ш.Г., Будникова Н.А. О вековых изменениях элементов орбиты Земли, влияющих на климаты геологического прошлого // Бюл. Ин-та теорет. астрономии. 1967. Т. 11, № 4. С. 231–261.

Шараф Ш.Г., Будникова Н.А. Вековые изменения элементов орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата // Тр. Ин-та теорет. астрономии. 1969. Вып. 14. С. 48–84.

Эдди Дж.А. История об исчезнувших солнечных пятнах // УФН. 1978. Т. 125, № 2. С. 315–329.

Berger A. Long-term variation of caloric insolation resulting from the Earth's orbital elements // Quatern. Res. 1978. Vol. 9. P. 139–167.

Berger A. Milankovitch theory and climate // Rev. Geophys. 1988. Vol. 26. P. 624–657.

Berger A., Loutre M.F. Astronomical solutions for paleoclimate studies over the last 3 million years // Earth and Planet. Sci. Lett. 1992. Vol. 111. P. 369–382.

Emiliani C. Pleistocene temperatures // J. Geol. 1955. Vol. 63. P. 538–578.

Gallardo Y. Solar shaping of Medieval optimum and Little Ice Age // Ann. Geophys. 1997. Voll 15, suppl. P. S508.

Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N. Variation in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages // Science. 1976. Vol. 194. P. 1121–1132.

Imbrie J., Hays J., Martinson N. et al. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record // Milankovitch and climate / Ed. A.I. Berger et al. Dordrecht: Reidel, 1984. P. 269–305. (NATO ASI Ser.; C. 126).

Johnson R.J. Brunhes–Matuyama magnetic reversal at 790,000 yr. B.P. by marine-astronomical correlations // Quatern. Res. 1982. Vol. 17. P. 135–147.

Lorius C., Jouzel J., Ritz C. et al. A 150,000-year climatic record from Antarctic ice // Nature. 1985. Vol. 316. P. 591–596.

Nesme-Ribes E., Baliunas S., Sokoloff D. Sunspot cycles – on other stars – are helping astronomers study the Sun's variations and the ways they might affect the Earth // Sci. Amer. 1996. Vol. 275, N 2. P. 31–36.

Ruddiman W.F., Raymo M., McIntyre A. Matuyama 41,000-year cycles: North Atlantic Ocean and northern hemisphere ice sheets // Earth and Planet. Sci. Lett. 1986. Vol. 80. P. 117–129.

Shackleton N. New data on the evolution of pliocene climatic stability // Paleoclimate and evolution with emphasis on human origins / Ed. E.S. Vrba et al. Vel. Univ. pres, 1995. P. 242–248.

Shackleton N., Berger A., Peltier W. An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene time scale based of ODP Site 677 // Trans. Roy. Soc. Edinburgh. 1990. Vol. 81. P. 251–261.

Shackleton N., Opdyke N. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 year and 10^6 year scale // *Quatern. Res.* 1973. Vol. 3. P. 39–55.

Shackleton N., Opdyke N. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Pacific core V28-239 Late Pliocene to Latest Pliocene // *Geol. Soc. Amer. Mem.* 1976. N 145. P. 449–464.

ABSTRACT

The deep sea oxygen isotope records, solar activity variations and its correlation with climate changes were analysed. It was concluded that real correlation between the influence of the orbital elements on the Earth climate in Pleistocene should be different from that of Milankovitch theory. The “radiation-climatic” curve, proposed by the author is well correlated with the oxygen isotope record of the Brunhes chron.