

ДИСКУССИОННАЯ ТРИБУНА

DOI: 10.7868/S0869587313010118

В № 7 за 2011 г. нашего журнала была опубликована статья В.А. Большакова и А.П. Капицы "Уроки развития орбитальной теории палеоклимата". Обсуждаемая в ней тема является предметом острых дискуссий среди специалистов, один из которых решил выступить с комментариями к статье и привёл доводы в защиту астрономической теории палеоклимата.

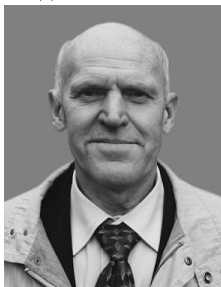
АНАЛИЗ УРОКОВ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПАЛЕОКЛИМАТА

И.И. Смутьский

Проблема астрономической теории палеоклимата, рассмотренная В.А. Большаковым и А.П. Капицей [1], настолько важна, что имеет смысл ещё раз проанализировать уроки её развития. В статье упомянутых авторов астрономическая теория ледниковых периодов (так её обычно раньше называли) анализируется по разным аспектам, в том числе и по её авторству, и по названию. Большаков и Капица назвали её *орбитальной теорией палеоклимата*.

Как отмечают авторы статьи, в литературе установилось мнение, что эта теория создана М. Миланковичем. Однако у него были выдающиеся предшественники, такие как Ж. Адемар [2], Дж. Кролль [3] и другие. Например, Адемар полагал, что оледенение в полушарии может наступить, если зима придёт на афелий орбиты Земли. То есть смена ледниковых периодов обусловлена перемещением афелия либо перигелия, что часто называют прецессией.

Авторы полагают, что незаслуженно забыт и вклад Кролля в астрономическую теорию ледниковых периодов. Он считал, что малое влияние изменения инсоляции на климат усиливается другими климатическими процессами, например, даже небольшое расширение площади снежного и ледового покровов в результате увеличения альбедо Земли будет способствовать дальнейшему оледенению.



СМУТЬСКИЙ Иосиф Иосифович – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института криосферы Земли СО РАН.

Другим фактором, который приведёт к похолоданию в Северном полушарии, можно считать отдаление Гольфстрима от Европы.

Эти два фактора Большаков [1, 4] называет двумя положительными обратными связями. Выступая с критикой работ Миланковича, он предлагает отказаться от названия "астрономическая теория колебаний климата", считая, что, единственное, на что может претендовать теория Миланковича, это орбитальная теория инсоляции. А орбитальную теорию палеоклимата ещё нужно создавать, так как в настоящее время исследователи придерживаются прямо противоположных представлений о влиянии ряда факторов.

Основная направленность обсуждаемой публикации – против теории Миланковича. Авторы статьи видят следующие недостатки его теории. Климатические циклы определяются 100-тысячелетней периодичностью, обусловленной эксцентриситетом, а Миланкович не учитывает эксцентриситет. Ледниковые события попадают на минимумы эксцентриситета, а в теории Миланковича – на максимумы. По теории Миланковича, во время оледенений летняя температура снижается, а зимняя – растёт, в то время как, по мнению Большакова и Капицы, и та и другая падают. После 1 млн. лет основная климатическая периодичность в 41 тыс. лет изменяется на 100 тыс. лет, и это не учитывается в теории Миланковича. Колебания климата изменяются синхронно в обоих полушариях, а не асинхронно, как в теории Миланковича. Миланкович придал палеоклиматическую значимость летней инсоляции на 65° с.ш.: наименьшие её значения он интерпретировал как оледенения, что хорошо соотносилось с распространённой тогда альпийской схемой Пенка и Брюкнера, но в дальнейшем не нашло подтверждения.

Авторы статьи сформулировали приведённые выше недостатки теории Миланковича на основе анализа литературных источников, описывающих исследования второй половины XX в. В частности, на рисунке 1 своей статьи они сопоставляют изменения эксцентриситета с изотопно-кислородной кривой, по которой видна корреляция экстремумов этих зависимостей. Основываясь на приведённой зависимости, Большаков утверждает о прямом воздействии эксцентриситета на климат.

АРГУМЕНТЫ В ЗАЩИТУ ТЕОРИИ М. МИЛАНКОВИЧА

Большаков и Капица отмечают, и с этим нельзя не согласиться, что Миланкович разработал строгую математическую теорию расчёта инсоляции. По ней инсоляция Земли зависит от параметров её орбиты и оси вращения. Изменение инсоляции Земли не обусловлено, как считают упомянутые авторы, изменениями трёх орбитальных элементов: эксцентриситета орбиты Земли e , угла наклона ε земной оси к перпендикуляру к плоскости эклиптики и прецессии земной оси. Это не только орбитальные элементы.

В действительности изменения инсоляции определяются двумя группами независимых движений. С одной стороны, вследствие взаимодействия тел Солнечной системы меняются орбиты планет, а с другой – в результате сплюснутости Земли окружающие тела создают момент сил, воздействующий на неё, благодаря чему изменяется её вращательное движение. Изменение орбиты происходит в результате четырёх движений: она деформируется (изменяется эксцентриситет); вращается в своей плоскости против часовой стрелки; ось орбиты по часовой стрелке вращается вокруг неподвижного в пространстве вектора момента количества движения Солнечной системы; ось орбиты совершает колебания относительно этого вектора [5]. Все четыре движения характеризуются своими периодами и амплитудами. На рисунке 1 приведены основные периоды колебаний элементов орбиты. Здесь вращение оси орбиты отражается колебаниями двух параметров i и φ_Q с периодом вращения оси $T_S = T_i = T_Q = 68.7$ тыс. лет.

Ось вращения Земли движется по часовой стрелке вокруг подвижной оси её орбиты и колеблется относительно неё, поэтому инсоляция Земли обусловлена относительными параметрами этих двух групп движений: углом ε наклона между подвижными плоскостями орбиты Земли и её экватора и углом $\varphi_{p\gamma}$ между перигелием и линией пересечения перечисленных плоскостей. И лишь третий параметр, эксцентриситет e , относится только к орбите.

Приведённые выше параметры применимы при рассмотрении движения Земли из космоса, а при наблюдении Солнца с поверхности Земли параметры e , ε и $\varphi_{p\gamma}$ означают следующее: эксцен-

триситет e определяет наименьшее за год расстояние $R_p = a(1 - e)$ Солнца от Земли. Здесь a – среднее за год расстояние до Солнца. Оно практически неизменно во все годы. Угол ε определяет угловую высоту Солнца над горизонтом в полдень 22 июня. Например, на широте φ высота Солнца будет $90^\circ - \varphi + \varepsilon$. Угол $\varphi_{p\gamma}$ эквивалентен числу дней, прошедших от дня с наибольшим приближением Солнца (в современную эпоху это 3 января) до дня весеннего равноденствия 22 марта.

Следует отметить, что многие авторы, говоря о влиянии прецессии на климат, не понимают, о чём идёт речь. В расчётах инсоляции используется вышеупомянутый угол $\varphi_{p\gamma}$, а он обусловлен тремя вращениями: орбиты в своей плоскости против часовой стрелки с периодом 147 тыс. лет и по часовой стрелке: плоскости орбиты или её оси с периодом 68.7 тыс. лет и оси Земли с периодом 25.8 тыс. лет.

Кроме отмеченных шести движений на инсоляцию Земли влияют ещё два – суточное и годовое. Более 2.5 тыс. лет, начиная с вавилонских астрономов, эти движения изучались, создавались их математические модели. Миланкович досконально изучил геометрию всех движений и, обобщив работы предшественников, разработал теорию расчёта инсоляции. Большаков считает, что в своих расчётах Миланкович пренебрёг прямым вкладом изменений эксцентриситета в инсоляционную кривую. Освещение площадки земной поверхности зависит от трёх факторов: её расстояния от Солнца, угла наклона луча к ней и длительности освещения. Миланкович создал теорию расчёта инсоляции Земли с учётом всех движений, и в итоге в неё вошли три ранее упомянутых параметра: e , ε и $\varphi_{p\gamma}$. Больше в эту теорию ничего не надо добавлять – ни прямо, ни косвенно. Сущность данного явления полностью понята Миланковичем и строго математически описана.

Задача науки Большакову и Капице представляется в ином виде, и они пишут, что в инсоляционной кривой Миланковича механически соединены качественно (структурно) различные инсоляционные сигналы отдельных орбитальных элементов. Далее мы увидим, как эти высказывания воплощаются в подходе их авторов.

Без расчёта инсоляции не может быть астрономической теории палеоклимата. А рассчитать инсоляцию можно только по теории Миланковича. Поэтому вызывают удивление некоторые высказывания из обсуждаемой статьи, например такое: "Утверждение о правильности теории Миланковича является одной из длительных научных мистификаций XX в." [1, с. 609]. Повидимому, здесь подразумевается укоренившаяся тенденция все обнаруженные палеоявления объяснять изменением инсоляционной кривой. В этом отношении можно согласиться с мнением

авторов статьи, но дело тут не в теории Миланковича, а в её применении нашими современниками.

Остановимся на одном из перечисленных авторами статьи недостатков теории Миланковича, а именно на факторе инсоляции на 65° с.ш. Выбор определённой характеристики инсоляции в качестве главного палеоклиматического фактора – сложная задача. Нужно провести предварительные исследования и определить, какая характеристика инсоляции коррелирует с палеоклиматическими явлениями. На основании исследований ледниковых отложений в Европе предшественники и современники Миланковича пришли к выводу, что "для возникновения ледникового периода решающим моментом оказалась комбинация холодных лет с относительно тёплыми зимами" [7, с. 151]. Причина накопления снега заключалась в том, что летом он не успевал растаять. Этот вывод подтверждался также сопоставлением прежнего климата в Средней Европе и современных условий в Гренландии и Антарктике: низкая температура не допускает таяния осадков и приводит к их накоплению. Миланкович приводит аргументы Пенка, Брюкнера и других исследователей в доказательство того, что причиной депрессии снеговой линии в Альпах является уменьшение суммы летних температур, а не увеличение осадков. К такому же выводу исследователи пришли при сопоставлении "части Сибири, расположенной между 60 и 70° широты" [7] с Южной Гренландией, лежащей на этой же широте. Южная Гренландия, покрытая льдом, имеет среднюю температуру на 9°C выше, чем указанная часть Сибири. Однако лето в Южной Гренландии на 11°C холоднее лета в Сибири. Поэтому Кеппен и Миланкович пришли к выводу, что решающую роль в процессе оледенения играет лето, и в качестве палеоклиматического фактора выбрали инсоляцию на широте 65° в течение летнего полугодия.

На новой основе учёные пересмотрели и орбитальную задачу, и проблему вращения Земли, и теорию инсоляции. По первым двум пунктам появились уточнения теорий и даже были получены новые результаты. Теорию инсоляции переложили на новый математический аппарат, результаты Миланковича пересчитали с учётом использованных им параметров орбиты и вращения Земли. Результаты совпали: Миланкович сделал работу добротной и на века.

Следует отметить, что теория инсоляции позволяет рассчитать инсоляцию на любой широте. Тот, кто использует эту теорию, определяет, на какой широте необходимо рассматривать изменение инсоляции. При изучении глубоководных осадков в Индийском океане их динамику необходимо исследовать на фоне изменения инсоляции в точке отбора осадков. А структуру ледовых кернов в Антарктиде следует сопоставлять с эволюцией инсоляции на Южном полюсе.

Миланкович уделил много внимания разнообразным факторам, которые, помимо инсоляции, влияют на климат. Так, он исследовал возможность определения температуры нижнего слоя воздуха по рассчитанной инсоляции. Он разработал теорию процессов в атмосфере, почве и океане, в результате которых при определённой инсоляции устанавливается их температура [5]. Учёный вывел некоторые соотношения, которые можно использовать для ориентировки. Отметим, что эта проблема, которую он попытался решить почти 100 лет назад, "неподъёмна" для современной науки. Тем не менее он нашёл обходной путь. Миланкович рассуждал так: если инсоляция в какую-то эпоху T на широте φ_T равна инсоляции на широте φ_0 в современную эпоху $T=0$, то следует считать, что в эпоху T климат был такой, как сейчас на широте φ_0 . Представление инсоляции в эквивалентных широтах позволило проводить не только качественные, но и количественные исследования по связи инсоляции с эволюцией климата. Этот подход частично учитывает все прямые и обратные связи, которые установились на Земле и которые современная наука ещё не выявила.

Отметим также, что Миланкович ввёл калорические полугодия, позволяющие адекватно сравнивать инсоляцию в разные эпохи. Так как длина астрономических полугодий изменяется, то сравнение инсоляции по ним приводило бы к искажённым представлениям об изменении климата. Поэтому вслед за Большаковым и Капицей можно с осторожностью отнестись к обобщениям, в которых для характеристики колебаний климата используются среднесуточные или среднемесячные изменения инсоляции.

В своей книге [4] Большаков представил обширный анализ литературы и изложил положения, которые объединил в виде новой концепции орбитальной теории палеоклимата. Но пока, кроме астрономической теории Миланковича, других теорий нет. О тех, кто что-то сделал, говорят: "Сделал, как мог, а кто может, пусть сделает лучше". А лучшего, чем теория Миланковича, пока не существует.

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Что предлагают авторы статьи и в чём суть новой концепции орбитальной теории ледниковых периодов? Предполагается, что теория инсоляции должна быть дополнена влиянием обратных связей. Имеются в виду увеличение отражающей способности снежно-ледового покрова и усиление роли инсоляции в связи с отклонением Гольфстрима. Кроме того, по мнению Большакова и Капицы, должны приниматься в расчёт и другие обратные связи, в том числе отрицательная – перенос тёплого влажного воздуха из низ-

ких широт в высокие. Подобный перенос сглаживает разность между уровнем инсоляции этих широт. При увеличении разности перенос усиливается, и переохлаждение высоких широт ослабевает. Предлагается "такая цепочка взаимодействий в процессе климатических колебаний плейстоцена: изменение инсоляции → первичное изменение температуры, прежде всего высоких широт → изменение площади снежного и ледового покрова → положительная альбедная обратная связь и последующее глобальное изменение температуры → изменение концентрации CO₂ плюс дальнейшее изменение площади снега и льда → обратные связи за счёт альбедо и парникового эффекта → итоговое изменение температуры" [4].

Большаков подходит к проблеме изменения климата как к "чёрному ящику". Есть три входных сигнала: эксцентриситет, наклон, прецессия. В качестве выходного сигнала он использует изотопно-кислородную кривую глубоководных осадков, подобрав так три коэффициента (1, 0.7 и -0.55) к трём входным сигналам и соответствующие масштабы изображения кривых, чтобы изменение общей кривой входных сигналов в наилучшей степени совпало с изменением изотопной кривой. Большаков считает, что она неплохо отражает 100-тысячелетнюю периодичность.

Итак, теория построена. Однако выясняется, что она не отражает 40-тысячелетнюю периодичность. Так как теория верна, её дополняют новой гипотезой, выдвигается избирательный механизм параметрического резонанса в климатической системе. Далее приводится масса гипотетических построений с привлечением положительных и отрицательных обратных связей. Здесь Большаков оперирует с неким объектом "климатическая система". Мы не знаем, что это такое – каковы её составляющие, свойства, какие процессы в ней протекают, как они математически описаны и т.п. Нам не известен механизм воздействия эксцентриситета на изотопный состав осадков. В этом нет необходимости, так как климатическая система рассматривается в виде "чёрного ящика", на который прямо действуют входные сигналы, в том числе эксцентриситет. Вряд ли такая теория будет лучше теории Миланковича, в которой установлена однозначная математическая связь инсоляции с эксцентриситетом.

Работа Большакова является ярко выраженным примером подхода, сложившегося в науке XX в. Сейчас не требуется изучения явлений окружающего мира до такой степени, чтобы все стороны его были понятны. Негласно считается, что понять всё может только Бог, а учёные руководствуются принятой в их сообществе парадигмой. В рамках парадигмы нужно выдвинуть несколько плодотворных гипотез и построить теорию. А если появится новый Эйнштейн или Миланкович, парадигму можно будет сменить и построить новые теории.

В XX столетии таких теорий было построено немало, особенно для объяснений микро- и макромира. Теперь о мире мы знаем много диковинного, но не знаем, как в действительности он устроен. Когда человечество столкнулось с проблемой потепления климата, оно поставило перед учёными вопросы: почему происходит потепление и каковы его возможные неблагоприятные последствия? Межправительственная группа самых видных специалистов в этой области [8], столкнувшись с массой гипотетических построений, созданных наукой XX в., приписала им разные степени неопределённости. Естественно, выводы этой группы учёных также оказались в значительной мере неопределёнными – от 100 до 50%. Неопределённость 50% означает, что может быть так, а может быть с точностью до наоборот.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Теория Миланковича соответствует традициям науки XIX в. В ней реализована попытка установления детерминированных связей, которые позволили бы с абсолютной определённой сказать о будущем климате Земли. Однако оказалось, что знания о прошлом климата даже в настоящее время далеко недостаточны для решения этой задачи, выяснились многие недостатки указанного подхода, которые справедливо отмечают авторы работы [1]. Главный из недостатков состоит в том, что небольшие колебания инсоляции не могут объяснить размах колебаний палеоклимата от ледниковых эпох до почти тропических условий.

Но все ли возможности астрономической теории исчерпаны? Оказывается, что орбитальная задача и задача о вращении Земли решены ещё не до конца. В XX столетии при решении орбитальной задачи за большие интервалы времени получили расходящиеся орбиты планет и пришли к выводу о неустойчивости Солнечной системы [9], поэтому утвердилось мнение о невозможности рассчитать инсоляцию за периоды большие 20 млн. лет [10]. Однако в последние десятилетия был разработан новый метод численного интегрирования уравнений орбитального движения [11], который позволил решить орбитальную задачу на период в 100 млн. лет [5]. Получены все периоды и амплитуды колебаний параметров орбит планет. (На рисунке 1 они показаны для орбиты Земли.) Оказалось, что орбиты всех планет устойчивы, и нет признаков их нарушения.

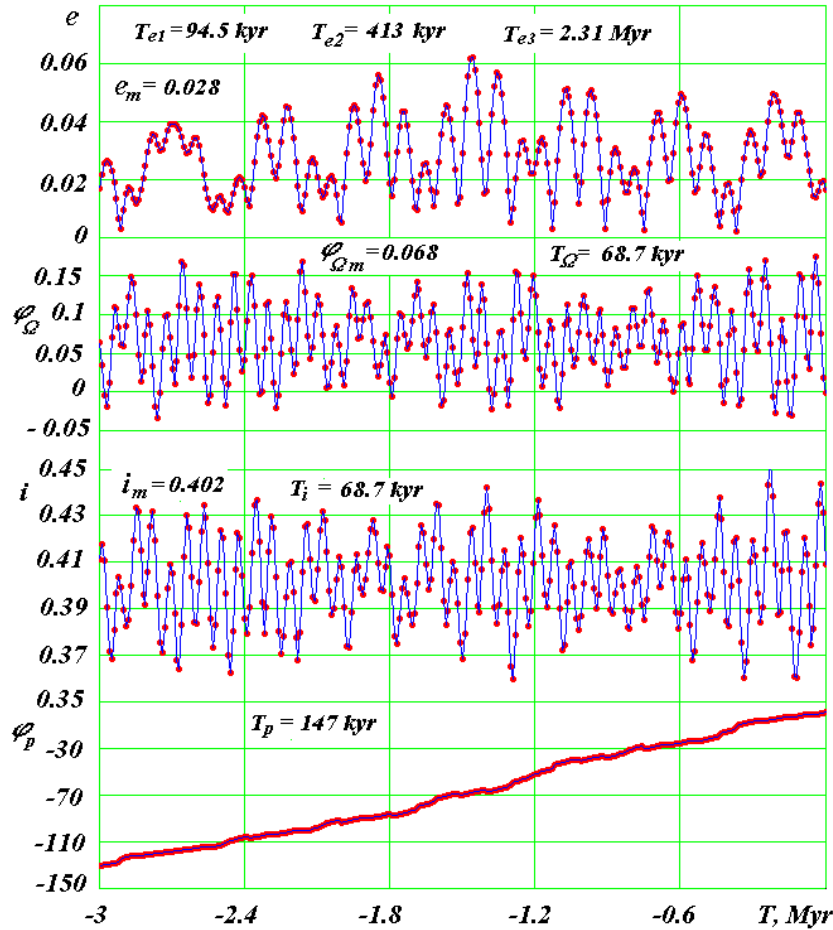


Рис. 1. Эволюция орбиты Земли за 3 млн. лет [6]

e – эксцентриситет; φ_{Ω} – угловое положение восходящего узла плоскости орбиты на неподвижной плоскости экватора; i – угол наклона плоскости орбиты к неподвижной плоскости экватора; φ_p – угловое положение перигелия от восходящего узла орбиты. Углы даны в радианах, а время T в млн. лет начиная с 30.12.1949 г. На графиках величины с индексом m – средние значения параметров за 50 млн. лет; T_e , T_i , T_{Ω} , – основные периоды колебаний соответствующих параметров в тысячах и миллионах лет, а T_p – средний за 50 млн. лет период обращения перигелия

Если орбитальная задача в астрономической теории палеоклимата решалась приближённо, то задача о вращении Земли не решалась вообще. Были использованы наблюдаемые данные о прецессии Земной оси, которые продлевались во времени с учётом влияния Солнца и Луны. Поэтому в теорию вошли только колебания оси с периодом 41 тыс. лет, которые обусловлены относительной прецессией оси Земли и оси её орбиты. А ось Земли совершает разнообразные колебания с более короткими периодами. Весь набор колебаний может быть учтён только после полного решения задачи о вращении Земли с учётом воздействия всех тел. На новой основе были выведены дифференциальные уравнения вращательного движения [12] и проинтегрированы с учётом воздействия на Землю планет, Солнца и Луны по отдельности. На рисунке 2 показана динамика угла θ наклона оси вращения Земли к не-

подвижной оси орбиты при воздействии этих тел. Наибольшее воздействие оказывает Луна. Воздействие Солнца в 2 раза меньше. Из планет на вращение Земли сильнее всего влияют Венера и Юпитер.

Задача о вращении Земли – самая трудная задача механики. Многие вопросы остаются невыясненными. Поэтому проводилась серия исследований по моделированию вращательного движения с помощью составной модели Земли [13]. В этом случае часть массы нашей планеты распределяется между периферийными телами. Окружающие тела – Луна, Солнце и планеты – изменяют орбиту периферийного тела, а ось его орбиты моделирует ось вращения Земли. Задача для

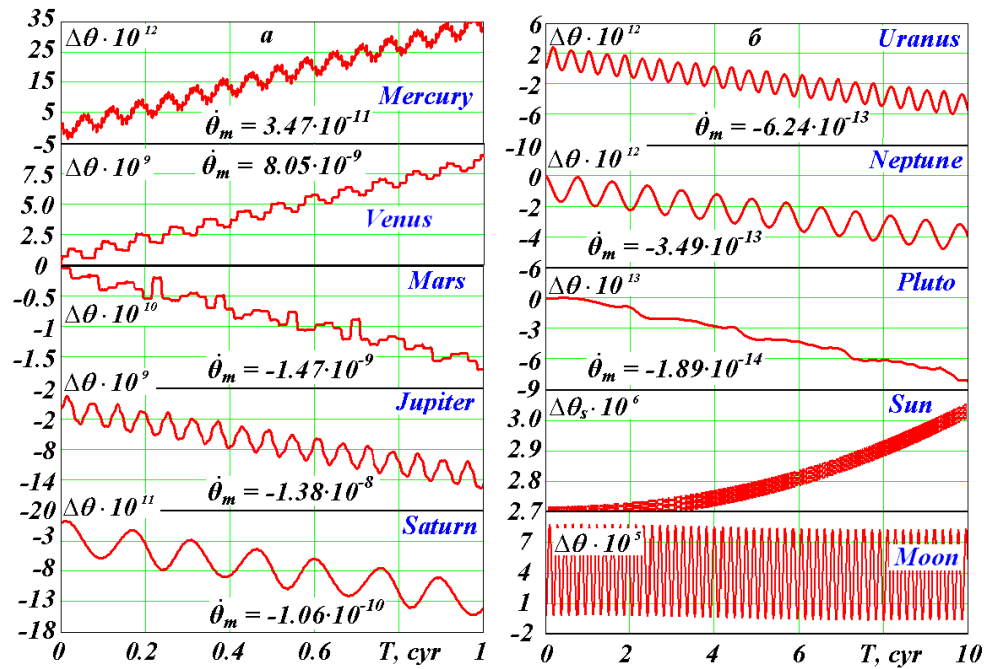


Рис. 2. Колебания и тренды оси Земли при одиночном воздействии планет, Солнца и Луны *a* – на интервале 100 лет, *б* – на интервале 1000 лет; θ – угол наклона плоскости экватора к неподвижной плоскости орбиты. На приведённых интервалах времени колебания угла θ идентичны колебаниям угла ε . $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ – разность углов наклона, где θ_0 – угол наклона в начальную эпоху 30.12.1949 г.; $\dot{\theta}_m$ – средняя скорость наклона в радианах в столетие; на графиках периоды основных колебаний оси Земли равны от Меркурия до Луны, соответственно: 6.6, 8.1, 15.8, 5.9, 14.7, 42, 82.4, 248, 0.5, 18.6 лет. Углы даны в радианах [12]

трёх разных моделей была рассмотрена для интервала в 110 тыс. лет. Получены короткопериодические колебания угла ε , периоды которых совпали с наблюдениями. Однако период в 41 тыс. лет в этих решениях отсутствовал. К сожалению, модель отражает не все свойства Земли, поэтому

окончательные выводы можно будет сделать только после решения основной задачи.

Когда мы приступили к решению задачи воздействия на неё всех тел, то не ожидали получить существенно отличные от других авторов результаты. Поэтому представленная

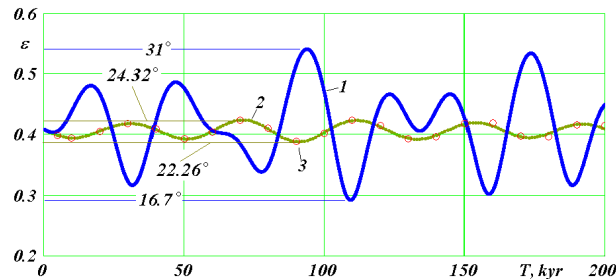


Рис. 3. Эволюция угла наклона ε (в радианах) плоскости экватора Земли к плоскости её орбиты в интервале 200 тыс. лет. 1 – по результатам численного интегрирования уравнений вращательного движения при одновременном воздействии планет, Солнца и Луны; 2 – по теории Дж. Ляскара и др. [10]; 3 – по теории Ш.Г. Шараф и Н.А. Будниковой [14]. В графиках приведены максимальные и минимальные значения угла ε

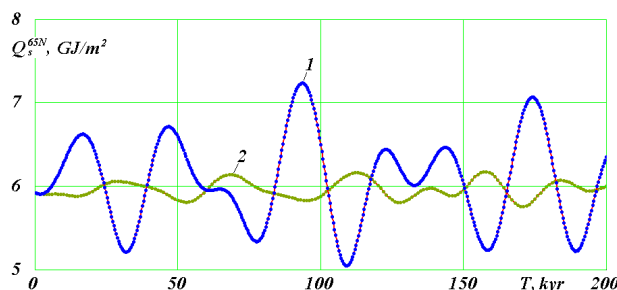


Рис. 4. Эволюция удельного (на 1 м^2) количества тепла Q (в гигаДж/м 2) за летнее калорическое полугодие на 65° с.ш. за 200 тыс. лет

1 – по нашим расчётам; 2 – по расчётам Дж. Ляскара и др. [10]

линией 1 на рисунке 3 эволюция угла наклона ε превзошла все ожидания. Если в прежних астрономических теориях (линия 2 и точка 3) изменения угла ε проходили от 22.3° до 24.3° , то в полученных нами решениях угол наклона колеблется от 16.7° до 31° . Таким образом, диапазон колебаний угла наклона ε увеличился в 7 раз. Это должно привести к принципиально другим колебаниям инсоляции, которые по-иному влияют на климат.

На рисунке 4 рассчитанная нами инсоляция на широте 65° Северного полушария (линия 1) сопоставлена с инсоляцией по прежней теории (линия 2). Колебания её также больше в 7 раз. Кроме того, из сопоставления с рисунком 3 видно, что динамика инсоляции Q копирует динамику угла наклона ε , то есть остальные параметры – эксцентриситет e и перигелий $\varphi_{p\gamma}$ – не играют существенной роли. Значит, полученная динамика инсоляции иначе воздействует на климат. В отличие от прежней теории, новые результаты свидетельствуют об одновременном потеплении или похолодании в обоих полушариях. Именно это положение прежней астрономической теории вызывало основное возражение авторов статьи [1].

Следует отметить, что эксцентриситет e и перигелий $\varphi_{p\gamma}$ влияют на динамику угла наклона ε , то есть благодаря этим параметрам колебания ε на рисунке 3 имеют нерегулярную форму. Кроме того, существует дополнительное воздействие параметров e и $\varphi_{p\gamma}$ на инсоляцию, которое значительно при малых колебаниях ε и незначительно при больших.

В новых решениях высокая амплитуда колебаний инсоляции полностью, без привлечения дополнительных факторов объясняет имевшие место колебания климата. Например, через 93.6 тыс. лет (см. наибольший максимум на рис. 4) летняя инсоляция на широте 65° будет выше, чем сейчас на экваторе, а через 109.1 тыс. лет (наибольший минимум на рис. 4) инсоляция станет

значительно ниже современной летней инсоляции на полюсе. Кроме того, в этих решениях существенно изменяется не только летняя, но и годовая инсоляция. Так, в указанные эпохи на полюсе в тёплый период годовая инсоляция будет больше в 1.79 раза, а на широте 65° – в 1.23 раза по сравнению с холодной эпохой. (Отметим, что практическая неизменность годовой инсоляции в соответствии с прежней астрономической теорией также вызывала возражение Большакова и Капицы.) Подобные изменения инсоляции способны создать в высоких и средних широтах как необходимые условия для существования мамонтовой фауны, так и покровные ледники.

Итак, полученные данные о колебании оси вращения Земли могут объяснять имевшие место колебания климата. Однако поскольку задача о вращении Земли решена впервые, – а это сложная задача, – не исключена вероятность ошибки. Больше года проводились различные проверки. Полученные решения на малых интервалах времени дают периоды и амплитуды колебаний земной оси такие же, как и по наблюдениям. Новые изменения угла наклона ε до 2.5 тыс. лет совпадают с изменениями ε в прежних теориях. В итоге все проверки в рамках уравнений вращательного движения нашей планеты были выполнены, ошибок не обнаружено. Поэтому мы начали решать эту задачу другим способом, а именно, создав такую составную модель вращательного движения Земли, чтобы она наилучшим образом моделировала эволюцию оси нашей планеты. Мы рассмотрели более 10 разных моделей, пока не нашли скорость прецессии, которая совпала бы со скоростью прецессии оси Земли. Колебания наклона ε этой модели на малых интервалах времени (300 лет) совпали с наблюдаемыми колебаниями земной оси. Теперь необходимо получить решения за 1–2 сотни тыс. лет.

Эта задача требует много вычислительного времени. Возможно, на её решение уйдёт не-

сколько лет. Но если результаты составной модели подтвердят результаты, показанные на рисунке 3, тогда мы сможем выполнить расчёты изменения инсоляции за прошедшие эпохи и начать сопоставление с данными о палеоклимате. В целом астрономическую теорию изменения климата мы представляем следующим образом: эволюция орбит → эволюция оси Земли → изменение инсоляции → корреляция инсоляции и палеоклимата → прогноз тысячелетних изменений климата Земли.

Мы изложили наш план работы в форме, эквивалентной плану работы авторов статьи [1], чтобы они были сопоставимы. Наш план является продолжением детерминистского направления в науке XIX столетия. Отметим, что Г. Борчардт [15] проанализировал историю развития человеческой мысли и пришёл к выводу, что в науке периоды индетерминизма и детерминизма чередуются. Возможно, в XXI в. наука вступит в эпоху детерминизма, и астрономическая теория внесёт определённую ясность в прошлое Земли. Однако история учит, что кажущиеся выполнимыми в пределах имеющегося знания намерения впоследствии наталкиваются на непреодолимые проблемы. Поэтому программа авторов обсуждаемой работы заслуживает внимания. Их подход актуален именно сейчас, когда человечество накопило большое количество разнообразных сведений о происходивших на Земле изменениях. Эти данные необходимо анализировать с разных позиций, в зависимости от разных обстоятельств.

В настоящее время положение дел таково, что даже в случае появления детерминированной теории инсоляции с учётом больших её колебаний определённость в понимании палеоклимата значительно не возрастёт. Причина заключается в том, что имеющиеся данные о палеоклимате – его флоре, фауне, почвах, рельефе, континентальных и морских осадконакоплениях, ледниковых кернах – взаимно не увязаны. Пока они не дают целостной картины об изменениях климата в прошлом. Необходима работа по установлению связи между ними, по их интерпретации, а также по целенаправленному поиску дополнительных сведений.

О НАЗВАНИИ ТЕОРИИ

Предлагаемое В.А. Большаковым и А.П. Капицей название "орбитальная теория палеоклимата" не учитывает вклада вращательного движения в эволюцию инсоляции. Конечно, существует масса других астрономических факторов, которые могут оказывать влияние на климат. Не вызывает сомнений, что облик Земли мог изменяться вследствие падения на неё других тел. Орбиталь-

ное и вращательное движения Солнца также эволюционируют. Смены его движений могут приводить к изменению физических условий на Солнце, а следовательно, оказывать влияние на климат Земли [5]. Не исключено воздействие на Солнечную систему соседних звёзд. В литературе часто упоминается галактическое воздействие: вводят галактические циклы длительностью в 200 млн. лет, равные периоду обращения Солнца вокруг центра Галактики. Рассматривается также периодическое замутнение межпланетного пространства при пересечении Солнечной системой рукавов Галактики. Многие из этих факторов гипотетические и не имеют надёжного основания. Например, рукава спиральных галактик созданы звёздами, движущимися вдоль них, а не поперёк. Спиральность галактики свидетельствует об отсутствии в ней орбитального движения, подобного обращению Земли вокруг Солнца. Скорее, движение происходит в виде сворачивания и разворачивания спирали. Перечисленные научные проблемы, как и галактическое воздействие на климат Земли, ещё предстоит исследовать.

Сейчас из астрономических факторов в теории климата учитываются только два: орбитальное и вращательное движения Земли. Поэтому вслед за создателями теории следует сохранить её название – "астрономическая теория изменений климата". Если в последующем какой-то дополнительный фактор окажется значащим, то он станет дополнением к этим двум. А если их будет несколько, то наши потомки, безусловно, найдут подходящие термины, чтобы адекватно отразить все воздействия на климат нашей планеты. Следует отметить, что для решения вышеупомянутых галактических задач разработана система свободного доступа "Galactica" [11]. С её помощью мы решили орбитальную задачу и моделировали задачи о вращении Земли [13] и Солнца [16, 17].

* * *

Какие уроки развития астрономической теории палеоклимата мы извлекаем из статьи В.А. Большакова и А.П. Капицы и представленных выше рассуждений? Теория зародилась давно и нужно помнить о её создателях – Кролле, Адемаре, Миланковиче и других. Время от времени необходимо вспоминать об их первоначальных идеях – какая из них реализована, а какая упущена и должна быть рассмотрена повторно. Миланкович сформулировал строгую теорию инсоляции Земли, проанализировал связь инсоляции с изменением климата Земли и своим подвижничеством трудом достиг того, что астрономическая теория ледниковых периодов стала главным инструментом, с помощью которого учёные смогли интерпретировать палеоклиматические данные. Со

времен Миланковича несколько групп исследователей повторяли его вычисления. Они увеличили изучаемый период до 30 млн. лет [14], однако принципиальные результаты остались прежними. Существует ряд несоответствий между выводами теории и накопившимися данными об изменениях климата в прошлом: небольшие колебания инсоляции и сильные изменения климата, асинхронные изменения инсоляции в полушариях на фоне синхронных колебаний климата в них и т.д. Предстоит дальнейшая работа по развитию астрономической теории климата.

За прошедшие полтора столетия первоначальные идеи создателей астрономической теории о влиянии колебаний орбиты и оси вращения Земли на климат подтвердились. Однако имеющиеся несоответствия между теорией и наблюдениями, а также отсутствие цельной картины об изменении палеоклимата Земли пока не позволяют установить однозначную связь между инсоляцией и климатом. Необходимо провести множество исследований во многих областях, чтобы астрономическая теория палеоклимата приобрела завершённый вид.

Может возникнуть вопрос: зачем нужна астрономическая теория изменения климата? Если она будет создана, то все науки о Земле приобретут однозначную хронологическую основу, что приведёт к более эффективному использованию знаний. Другое применение теории – решение проблемы современного потепления климата. Успех здесь во многом зависит от понимания причин колебания палеоклимата. Работа Межправительственной группы экспертов по изменению климата [8] не дала ответа на вопрос о причинах современного потепления, но её деятельность помогла определить направление дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Большаков В.А., Капица А.П.* Уроки развития орбитальной теории палеоклимата // Вестник РАН. 2011. № 7.
2. *Adhemar J.A.* *Revolutions de la mer: Deluges Periodiques*, Carilian-Goëury et V. Dalmont. P., 1842.
3. *Croll J.* *Climate and time in their geological relations: a theory of secular changes of the Earth's climate*. L.: Edward Stanford, 1875.
4. *Большаков В.А.* Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. М.: Изд-во МГУ, 2003.
5. *Мельников В.П., Смольский И.И.* Астрономическая теория ледниковых периодов: новые приближения. Решённые и нерешённые проблемы. Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2009.
6. *Смольский И.И.* Некоторые астрономические проблемы эволюции криосферы // Десятая Международная конференция по мерзлотоведению. Т. III. Тюмень: Тюменский Государственный нефтегазовый университет, 2012.
7. *Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.–А.: ГОНТИ, 1939.
8. Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Четвёртый доклад МГЭИК об оценках. Изд-во Кембриджского ун-та, 2007.
9. *Laskar J.* Marginal stability and chaos in the Solar System // *Dynamics, ephemerides and astrometry of the Solar System / Ferraz Mello S. et al. (eds.)*. IAU: Netherlands, 1996. P. 75–88.
10. *Laskar J., Robutel P., Joutel F. et al.* A Long-term numerical solution for the Earth // *Icarus* 170. 2004. Iss. 2.
11. *Smulsky J.J.* Galactica Software for Solving Gravitational Interaction Problems // *Applied Physics Research*. 2012. № 2.
12. *Smulsky J.J.* The Influence of the Planets, Sun and Moon on the Evolution of the Earth's Axis // *International Journal of Astronomy and Astrophysics*. 2011. V. 1. P. 117–134.
13. *Мельников В. П., Смольский И.И., Смольский Я.И.* Составная модель вращения Земли и возможный механизм взаимодействия континентов // *Геология и геофизика*. 2008. № 11.
14. *Шараф Ш.Г., Будникова Н.А.* Вековые изменения элементов орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата // *Труды Института теоретической астрономии*. Вып. XIV. Л.: Наука, 1969.
15. *Borchardt G.* *The Scientific Worldview: Beyond Newton and Einstein*. Berkely (USA): Progressive Science Institute, 2007.
16. *Смольский И.И.* Численное моделирование эволюции спутника вращающегося тела // *Теоретические и прикладные задачи нелинейного анализа*. М.: ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, 2008. С. 100–118.
17. *Smulsky J.J.* New Components of the Mercury's Perihelion Precession // *Natural Science*. 2011. № 4.