



2. ГОСТ 17.4.01.-81. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния. М., 1981.
3. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М., 1983.
4. ГОСТ 17.4.3.01-83. Почвы. Общие требования к отбору почв. М., 1983.
5. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М., 1984.
6. Методические указания по оценке степени опасности

загрязнения почвы химическими веществами (№ 4266–87 от 13.03.87). М., 1987.

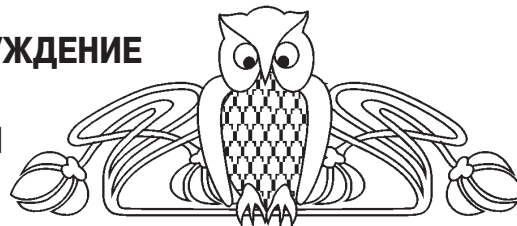
7. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229–91). Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.020–94. М., 1995.

8. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. М., 2006.

9. Атлас Саратовской области / под ред. В.Г. Лебедева. М., 1978.

УДК 550.2

ЗЕМНОЙ ОТКЛИК НА ОРБИТАЛЬНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ И ИЕРАРХИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ И ПОРОДНЫХ ЦИКЛИТОВ НА ПРОТЯЖЕНИИ НОВЕЙШЕГО ВРЕМЕНИ



В.Ф. Салтыков

Саратовский государственный университет,
лаборатория петрофизики
E-mail: dekanat@geol.sgu.ru

В результате рассмотрения опубликованных материалов показано, что циклические вариации земного отклика практически совпадают с флюктуациями орбитальных параметров при учете временного лага величиной 5–6 тыс. лет. Но в земном отклике изменения периодичностей носят более сложный характер за счет явления резонанса и появления многочисленных обратных связей в системе, в результате чего возникают дополнительные периоды. Ход земных процессов проходит точку бифуркации с изменением амплитуды, темпа и направления развития, что отражается в цикличности седиментогенеза как в океане, так и на континенте. Такой подход позволяет представить обновленную иерархию климатических событий и породных циклитов. Для плейстоцена предлагается вариант Общей хроностратиграфической шкалы, на которой отражены палеомагнитные и изотопно-кислородные данные.

Ключевые слова: орбитальные параметры Земли, иерархия, климатические события, цикличность, седиментогенез, плейстоцен.

Earth's Response to Orbital Excitation and Hierarchy of Climatic Events and Rock Cyclites Over the Recent Time

V.F. Saltykov

Analysis of the published material has made it possible to show the cyclic variations of the earth's response to be practically coincident with the orbit parameter fluctuations, when the time lag of 5–6 thousand years is considered. In the earth's response, however, periodicity changes are more complicated due to resonance phenomena and to numerous feedbacks in the system responsible for additional period occurrences. The course of the earth's processes passes the bifurcation point with changes in the development amplitudes, rates and directions, which are reflected in sedimentogenesis cyclicity both, in the ocean and on the continent. Such approach allows to present an updated hierarchy of climatic events and rock cyclites. A version

of General chronostratigraphic scale is proposed for the Pleistocene, with paleomagnetic and oxygen-isotope data presented.

Key words: Earth's orbital parameters, hierarchy, climatic events, cyclicity, sedimentogenesis, Pleistocene.

Интерпретация откликов земной климатосферы на орбитальное возбуждение

Основной объем информации о климатической изменчивости в течение новейшего времени получен в результате анализа особенностей распределения изотопов кислорода в непрерывных разрезах глубоководных осадков. Дополнительные сведения, касающиеся вариаций парниковых газов, основаны на изучении ледовых колонок в Антарктиде и Гренландии. В итоге можно констатировать следующее:

1) вариации соотношения изотопов химических элементов являются откликами на изменения полуметодической инсоляции за счет циклических колебаний орбитальных параметров; при этом установлен факт запаздывания отклика на внешнее возбуждение и его величина в настоящее время оценивается в 5–6 тыс. лет;

2) флюктуации отклика происходят циклически в соответствии с подобным поведением орбитальных компонентов;

3) последние действуют как в отдельности, так и совместно, а также вызывают многочисленные обратные связи в климатосфере. В результате здесь возникают дополнительные периодичности как отражение резонанса влияния первоначальных элементов;

4) вопрос о периодах изменения сигналов отклика обстоятельно обсуждается во многих публикациях при использовании математических моделей различного ранга. Важным моментом является установление и объяснение закономерного колебания между двумя климатическими состояниями –



гляциальным и интергляциальным, что качественно было известно давно и является характерной чертой эволюции палеоклимата в течение позднего кайнозоя. Аналогичное явление свойственно и древним эпохам [1];

5) использование разнообразной информации позволяет построить количественные модели строения одного климатического цикла и оценивать изменения периодичностей различных циклов в течение достаточно длительного времени с надежным датированием их расположения, выраженным в тысячах лет. Последнее обстоятельство очень важно для решения одной из основных проблем стратиграфии новейших отложений;

6) при создании моделей большую роль играют закономерности нелинейной динамики, причем некоторые из них выявлены именно при анализе климатической изменчивости.

Сопряженность пары противоположных событий при изучении палеоклимата в новейшее время, возникающих при орбитальном возбуждении, является достоверно установленным научным фактом. Х.С. Лиу [2] его образно показал (рис. 1). Такая система действует как детектор, когда внешняя сила толкает ее к переходу от одного состояния к другому. Если мячик на рис. 1 задерживается в одном положении, это означает, что система не получает соответствующего сигнала и мячик осциллирует внутри одного из отстойников. Приходящие сигналы I_m и I_g достоверно отображают количество поступающей солнечной энергии. Это представление позволяет объяснить изменение продолжительности климатического цикла в пределах 80–120 тыс. лет, что хорошо согласуется с колебаниями параметра $\delta^{18}O$ на изотопном графике в течение последнего миллиона лет.

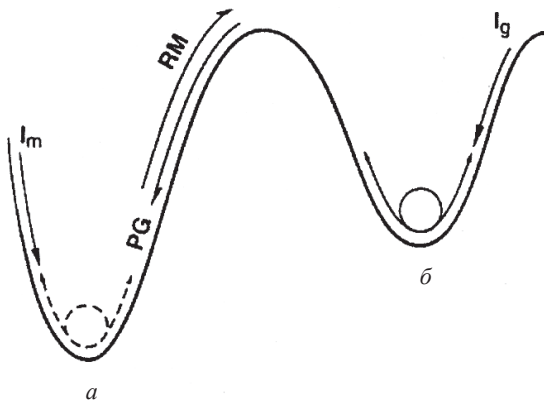


Рис. 1. Бистабильная климатическая система Земли как отклик на орбитальное возбуждение; «образный мячик» меняет свое положение в одном из двух потенциальных отстойников, разделенных барьером: *a* – стабильное гляциальное состояние; *b* – стабильное интергляциальное состояние; *RM* – быстрое таяние ледника; *RG* – продленная гляциация; I_m и I_g – количество поступающей солнечной энергии [2]

Такой же подход демонстрируется в работах Г. Николиса и И. Пригожина [3] и в модели Д. Пейлларда [4]. М.Е. Реймо поддерживает предложенные представления. Она отмечает: «Наше понимание механизмов климатического изменения – «правил», которые управляют переходами между состояниями, еще далеки от совершенства. Однако они вовлечены в процессы в системе «океан – атмосфера – лед», которые могут изменять температуру атмосферы, содержание CO_2 , метана, океаническую циркуляцию и температуру морской поверхности на таких временных интервалах, как столетия, даже когда они задаются орбитальными изменениями, которые встречаются в течение многих тысячелетий [5, p. 1468].

В этом отношении следует отметить изменение конфигурации земной орбиты, на что обратил внимание В.И. Шмуратко [6], который показал, что оледенения в течение прошлых 800 тыс. лет происходили тогда, когда орбита максимально приближается к круговой. В это время сезонность изменяется в узком диапазоне, так как расположение точек летнего и зимнего солнцестояния при квазикруговой орбите существенно не влияет на значение этого параметра. Такие эпохи этот исследователь назвал эпохами потенциальных оледенений, когда климатосфера намного более чувствительна к изменению внешних условий и в то же время обладает наибольшей инерционностью.

В целом можно констатировать, что в течение одного цикла климатическая система осциллирует между двумя метастабильными состояниями, продолжительность которых существенно отличается между собой – явно доминирует интергляциальное состояние, тогда как собственно гляциация охватывает более короткий промежуток, занимающий не более 25% объема всего цикла, как отметили А.В. Жирмунский и В.И. Кузьмин [7]. Большая часть цикла занимает промежуточное состояние, характеризующееся незначительными частыми климатическими изменениями от тепла к холоду и обратно. Важным моментом является быстрая дегляциация. Следовательно, климатический цикл имеет асимметричное строение, обусловленное не только вариациями орбитальных параметров, но и возникновением множества обратных связей в системе.

При рассмотрении этих особенностей и учете роли океана В.И. Шмуратко выделяет четыре стадии (он их называет режимами). Стадия А, когда уровень океана является максимально высоким, объем ледников минимален, площадь растительного покрова на континентах наибольшая. Стадия С, когда инерционность системы по отношению к внешнему возбуждению является минимальной, появляются оледенения, вследствие чего возрастает планетарное альbedo, увеличивается продуктивность океана, что фиксируется в поглощении CO_2 из атмосферы. Процесс протекает ступенчато и нарастание его темпов приводит к возникновению стадии В, когда рост ледников становится максимальным, достигая некоторого «порогового» значения, сопровожда-



емого понижением уровня океана и изменением механизмов океанической и атмосферной циркуляции; климат обладает наибольшей инерционностью, увеличивается значение серджинга, особенно при приближении к окончанию стадии, что обеспечивает отрицательную обратную связь при изменении темпа получаемой инсоляции. Наконец, стадия D (или терминация) характеризует наиболее нестабильное поведение климатической системы, которая очень чувствительна к внешнему воздействию. В это время обилен серджинг, что приводит к созданию колебательного режима океанической циркуляции и тем самым к возникновению различных температурных режимов, но при нарастании темпа потепления, что в конце концов способствует переходу к стадии А.

Близкое строение одного климатического цикла дают Дж. Имбри с соавторами [8], которые, взяв за основу простую модель океанической циркуляции В.С. Брёкера и Г.Х. Дентона [9] и используя множество переменных в течение последних 500 тыс. лет, уделили особое внимание последовательности событий в одном цикле. Они всю систему представили в виде подсистем или сдвигов между двумя стабильными модами. Ход течения процесса они изобразили на модельном рисунке (рис. 2). Исследователи выделяют следующие состояния или, точнее, стадии: интергляциал, прегляциал, гляциал, дегляциал, т. е. вместо двух наиболее стабильных режимов, разделенных промежуточным метастабильным состоянием, как предложили Г. Николис с И. Пригожиным и Д. Пейл-

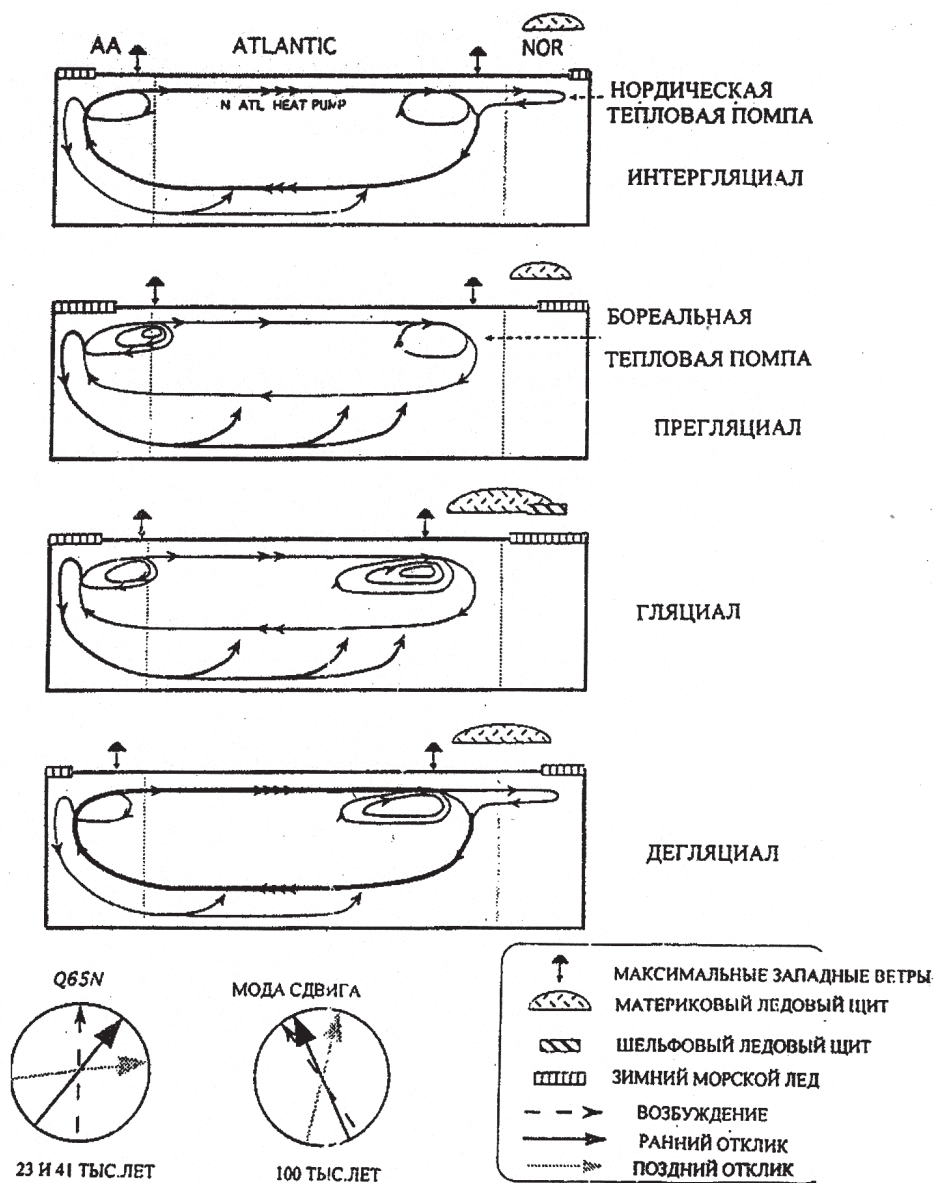


Рис. 2. Временные индексы для быстрого таяния льда (I_m – пунктир) и большой гляциации (I_g – сплошные линии) предсказывают главные события интергляциал-гляциального цикла; цифры в кружках – последовательность гляциальных стадий; нерегулярные циклы изменялись от 80 до 120 тыс. лет в течение последнего миллиона лет [2]



лард, описываются четыре стадии, что согласуется с представлениями В.И. Шмуратко. Заметим, что в этой работе Дж. Имбри с соавторами рассматриваются только линейные отклики, чтобы установить строение цикла. На самом деле, чаще в литературе указывают на нелинейность процессов. Подробный анализ этого вопроса обсуждается в другой работе Дж. Имбри с соавторами [10].

Орбитальное возбуждение вызывает отклики в изменении интенсивности и характере океанической циркуляции в Северной Атлантике, особенно промежуточных вод. Намечаются две траектории: 1) конвекция открытого океана в бореальную Атлантику, обозначенная как бореальная тепловая помпа, 2) истечение промежуточных вод из Северного моря в Атлантику, обозначенное как нордическая тепловая помпа. Установлено, что сдвиги от одно- к двухпомповой циркуляции характерны для перехода от гляциального через дегляциальное в интергляциальное состояние. Противоположное направление возникает, когда система двигается от интергляциала через прегляциал к гляциалу. За счет действия циркумпольного течения вокруг Антарктики в Южном океане в течение гляциалов создается углеродная ловушка в глубинных водах.

Циклы гляциации с периодами 23 тыс. и 41 тыс. лет влияют на каждую часть климатической системы. В первом приближении они являются непрерывными линейными откликами на орбитально управляемые изменения в земном радиационном бюджете. Отождествляя интергляциал с голоценом, модель рассматривает поле морского льда и широтный температурный градиент, чтобы воспроизвести картину атмосферной циркуляции, океанических фронтов и распределения планктонных сообществ (см. рис. первая фигура сверху).

В ответ на непрерывное уменьшение летней инсоляции атмосфера и поверхность океана в Арктике охлаждаются, испарение убывает и поля снега и морского льда расширяются. Вследствие этого в Арктике происходит опреснение поверхностных вод, что замедляет и ограничивает появление вод истечения, которые погружением более теплых вод транспортировали тепло к югу. Система находится в однопомповой моде с перекачиванием минимального тепла в Северную Атлантику. Все эти эффекты действуют на уменьшение меридионального контраста, что подразумевает более сильный северный поток глубинных вод южного происхождения в Северную Атлантику, перемещая смешивающий фронт между водами северного и южного происхождения дальше на север. Более холодные поверхностные воды способствуют быстрому расширению поля морского льда, что увеличивает температурный градиент и сдвигает ветровые фронты к северу (см. рис. 2, вторая фигура сверху).

Рост ледового щита контролирует скорость, температуру и содержание водяного пара. Когда рост достигает максимума в районе доминируют холодные сухие ветры. Охлажденные поверхностные воды океана будут и дальше изымать CO_2 из атмосферы.

Накопление льда способствует понижению уровня океана (см. рис. 2, третья фигура сверху).

В ответ на непрерывное увеличение летней инсоляции в Арктике атмосфера и поверхность океан теплеют, испарение возрастает и снеговые поля и площади морских льдов сокращаются. Бюджет массы ледового щита становится отрицательным, вызывая его край к отступанию. Начало этого процесса незначительно сказывается на изменении уровня океана, но влияние на океаническую циркуляцию значительно, в результате чего к северу направляются потоки соленых и теплых вод, увеличивая обмен с Северным морем. Этот поток обеспечивает приток тепла, способствует таянию льдов, поддерживает соленость морской воды, увеличивает конвекцию вод и повышает содержание CO_2 в атмосфере по мере его выделения из морской воды. С вторжением атлантических вод в Северное море включается нордическая помпа и система возвращается к двухпомповой моде (см. рис. 2, четвертая фигура). Авторы модели считают, что четыре стадии являются минимально необходимыми, чтобы адекватно описать эволюцию системы.

Предложенная генетическая модель развития одного климатического цикла является весьма показательной, принимая во внимание наименование стадий, наличие которых хорошо согласуется с данными по изучению ледниковых отложений на континентах. Но она использует линейное влияние различных параметров, не учитывает различие температурного отклика в разных регионах земного шара, в которых наблюдается неодинаковое распределение суши и моря. Используя энергобалансовую модель для генерации температурного отклика при разном распределении суши и моря, Д.А. Шорт с коллегами [11] выявили влияние географического фактора при фильтровании орбитального сигнала в частотной области.

Полученные результаты можно свести к следующим положениям:

1) на северных площадях суши средних широт сезонный температурный отклик на орбитальное возбуждение является значительным (более 10°C), но изменения в океанических регионах на порядок меньше (1°C), и здесь орбитальный сигнал подавляется океанической циркуляцией;

2) хотя моделированный сезонный отклик на орбитальное возбуждение в антарктическом регионе составляет 6°C , эффект годовой температуры имеет менее 2°C и ограничивается периодами, продолжительностью около 41 тыс. лет, но появляются пики на 54 и 29 тыс. лет. Прецессионные эффекты усредняются почти до нуля в годовом бюджете. Здесь значительную роль в климатической изменчивости играют вариации концентраций CO_2 и пыли;

3) низкоширотные регионы записывают богатый спектр модельного отклика. Имеются прецессионные гармоники 9,5 и 11,5 тыс. лет, сильные пики на 19, 23, 41, 100 и 400 тыс. лет. Последние два усиливаются над экваториальными площадями суши;



4) модельно генерированные пики прецессии и эксцентриситета лучше проявляются в тропиках, так как там Солнце дважды в год проходит через экватор, создавая максимальную температуру и тем самым аннулируя эффекты похолодания афелия. Мощность 100000-летнего сигнала генерируется при максимальном, а не при минимальном возбуждении, и амплитуда температурного отклика может быть значительной, чтобы отразиться в геологической записи;

5) важное значение имеет обратная связь влажности на температурный отклик, который может быть экспортирован к более высоким широтам атмосферной циркуляцией.

Следовательно, в высоких широтах на первое место в климатической системе выходит влияние ледников, атмосферной и океанической циркуляции. Таким образом, распределение суша – море будет значительно модифицировать приходящий орбитальный сигнал и особенно в частотной области. Явления нелинейности процессов усиливают отклики на модулирующих периодах.

Несмотря на недостаточный учет ряда факторов, в работе Дж. Имбри с соавторами [8] выявлено влияние вариаций эксцентриситета, наклона земной оси и прецессии за последний миллион лет в виде следующих пределов: от 1: 0,52: 0,38 до 1: 0,86: 0,45. Использование этих коэффициентов в усредненной форме позволило В.А. Большакову [12] построить орбитальную кривую, представляющую собой эталон климатической изменчивости за рассматриваемый временной диапазон.

В следующей работе Дж. Имбри с соавторами [10] обсуждаются проблемы нелинейности климатической системы и возникновение 100000-летних циклов в течение последних 2 млн лет. Отмечается, что эта цикличность проявляется в изотопно-кислородной записи совместно с периодичностями прецессии и наклона начиная примерно с 1 млн лет, тогда как в древней части доминировали главным образом циклы наклона. Эксцентриситетом управляемый радиационный цикл является слишком малым, и его фаза существенно запаздывает, чтобы возбудить соответствующий климатический отклик. Введение в модель свободной осцилляции явления резонанса (наложение друг на друга различных циклов) не решает проблему. В то же время следует отметить, что В.А. Большаков периодичность в 29 тыс. лет относил именно к резонансу наклона по типу неизвестного механизма нелинейного усиления в климатической системе.

Дж. Имбри с соавторами предлагают концептуальную модель, которая идентифицирует массивные ледовые щиты Северного полушария в качестве большого инерционного источника (параметра порядка). Когда эти ледовые щиты, созданные за счет колебаний инсоляции, возбужденных прецессией и наклоном, достигают критического размера, они прекращают отклик и управляются только атмосферными и океаническими откликами. В результате соединенная система действует как нелинейный

ускоритель, который является особо чувствительным к вариациям эксцентриситета и управляемым модуляциями в 23000-летнем цикле и канализирует энергию в 100000-летней полосе через обратные связи, темп этих связей задан ледовыми щитами. Увеличение амплитуды 100000-летнего цикла после 1 млн лет обусловлено повышенной способностью глубоководного океана к захвату и освобождению углерода в ответ на гляциал-интергляциальные изменения в экспорте глубинных вод Северной Атлантики.

Роль частотного модулятора в проявлении различных периодичностей обсуждается в теоретической работе Дж. А. Риала [13]. Используя изотопно-кислородные записи за 2,1 млн лет до н.э., автор заметил, что мощность частотной полосы эксцентриситета изменяется вдоль приблизительно синусоидальной кривой, когда периодичности от 120 до 80 тыс. лет встречаются каждые 400 тыс. лет. На этом основании он предположил частотную модуляцию 100000-летних сигналов эксцентриситета более долговременных 413000-летних компонентов или кратных гармоник последнего. Тогда, согласно расчетам автора, появляются периоды 75, 85, 95, 107, 123 и 143 тыс. лет. Их обилие затуманивает проявление самого 413000-летнего сигнала в записях, так как первые располагаются в предсказанных частотных полосах вокруг главного модулятора. Данный исследователь отмечал, что точный механизм пока еще не вполне ясен, но такая частотная модуляция высокочастотного носителя низкочастотным модулирующим сигналом давно известна в электронной технике. Тогда климатическая система представляется в виде потенциального резонансного осциллятора, который начинает становиться особо действенным в присутствии ледовых щитов, выступающих в качестве параметров порядка.

В статье Н. Дж. Шеклтона [14] – одного из авторов идеи о связи 100000-летнего цикла с глобальным объемом льда, – обосновывается положение, что он, вероятно, не возникает из динамики ледового щита, а является откликом на глобальный углеродный цикл, который генерирует сигнал эксцентриситета. Несмотря на разную форму предложенных Дж. Имбри с соавторами и Н. Дж. Шеклтоном механизмов, их роднит предположение о роли обратных связей, к которым некоторые исследователи [12] относят и вариации CO₂, и большое значение океана в климатической изменчивости, что является несомненным.

Следует кратко коснуться вопроса перехода от раннего и среднему плейстоцену (между эо- и неоплейстоценом по русской терминологии), так как именно на этом рубеже ранее даже проводили нижнюю границу квартала. В.Ф. Раддиман с коллегами [15] впервые показали смену 41000-летней цикличности в древней части на 100000-летнюю выше по разрезу в диапазоне 900–400 тыс. лет. Впоследствии другие исследователи указывали на иной возраст этого рубежа, но все отмечали существенное увеличение объема льда. М. Мудлси и М. Шульц [16] изучили распределение δ¹⁸O по различным глубоко-



водным колонкам и выполнили анализ образцов во временной и частотной областях, применив новый способ изучения исходных данных. Они показали, что переход фиксируется в диапазоне от 810 до 925 тыс. лет со средним значением возраста 922 тыс. лет, и считали, что это несинхронное событие триггеруется быстрым увеличением объема льда. К нему приурочено возрастание $\delta^{18}\text{O}$ на 0,29%. Его продолжительность составляет примерно 40 тыс. лет. На рубеже 641 ± 9 тыс. лет резко доминирует 100000-летний климатический цикл, а в промежутке между 950 тыс. и 650 тыс. лет появляется периодичность 77–78 тыс. лет. Следовательно, данный переход является хотя и резким, но несинхронным в разных районах мира и охватывает достаточно широкую временную полосу. Поэтому он может быть признан в качестве рубежной границы в стратиграфии плейстоцена лишь условно.

Помимо отмеченной роли эксцентриситетного возбуждения обсуждается влияние другого важного элемента земной орбиты – наклоения. В этом отношении интересна теоретическая работа Х.С. Лиу [2] в обосновании идеи, согласно которой динамическая нестабильность в развитии гляциаций и дегляциаций ледовых щитов может быть триггерирована пульсациями изменения орбитальных и ротационных параметров, связанных нелинейно друг с другом. Автор полагал, что мощность в частоте цикла наклоения является большей, чем таковая в цикле эксцентриситета, и может быть стимулом для возникновения климатического цикла. Применяя частоты возмущений других планет Солнечной системы к анализу изменения наклоения планеты во времени, автор установил, что частотная вариация имеет период в 100 тыс. лет, образующая пик на частотной диаграмме. Кроме того, выделяются пики 22, 41 и 185 тыс. лет, при этом первый и третий пока не находят своего объяснения. Возможно, это обертоны и суперпозиции цикличности в 41 тыс. лет.

В качестве обоснования своих расчетов Х.С. Лиу отмечал, что согласно законам небесной механики вариации земного наклоения производятся соотношением движения его орбитальной плоскости вследствие гравитационных пертурбаций других планет и прецессии оси вращения, которая результируется из солнечного момента вращения, влияющего на земную экваториальную выпуклость. Вариации по величине этого солнечного момента вращения определяются одновременным расстоянием от Земли до Солнца, которое управляется эксцентриситетом. Вероятно, максимальная скорость частотной флюктуации наклоения может встречаться только тогда, когда эксцентриситет является высоким, а минимальная скорость может встречаться независимо от его величины. Автор полагал, что если предложенная идея является корректной, 100000-летний цикл эксцентриситета не может быть возбуждающим механизмом для возникновения климатического цикла в течение последнего миллиона лет, а может рассматриваться в качестве вспомогательного фактора.

На основании своих расчетов Х.С. Лиу предложил внутреннюю структуру климатических изменений в течение последнего миллиона лет и дал временные привязки каждому климатическому циклу. При этом находит свое объяснение и появление указанных циклов с различной продолжительностью – от 80 до 120 тыс. лет. Автор рассматривал климатическую систему как двухмодальную, колеблющуюся между двумя стабильными состояниями. Если внешняя сила является незначительной, система задерживается в одном состоянии и осциллирует в нем с различными и относительно малыми периодичностями и поэтому не показывает доминирующего сигнала в 100 тыс. лет. При увеличении мощности внешнего толчка система скачком (явление бифуркации) переходит в другое состояние.

На представленном графике (рис. 3) показано, что продолжительность климатического цикла изменяется от 80 до 120 тыс. лет в течение плейстоцена, т. е. повторяются неодинаковые интервалы со средним периодом в 100 тыс. лет. Исследователь предложил два временных индекса – I_m и I_g – соответственно для быстрого таяния льда и развития гляциации, которые предсказывают главные события климатического цикла. Эти индексы равны максимальным и минимальным величинам частоты наклоения. При I_m Земля получает самую высокую солнечную радиацию, а при I_g – самую низкую. Максимальная скорость частотной вариации наклоения может встречаться только при высоком значении эксцентриситета, а минимальная – может наблюдаться независимо от его величины. На рис. 3 цифрами $I-I$ показаны интервалы климатических циклов с вычисленной продолжительностью каждого из них. Эта картина хорошо сопрягается с изотопно-кислородной кривой и отражает циклическое развитие наступания и отступления ледовых щитов в Северном полушарии. Любопытно, что представленные материалы свидетельствуют об определенной правильности указанной цикличности, которая может быть основой для построения хроностратиграфической шкалы плейстоцена с использованием изотопно-кислородных данных.

Таким образом, можно констатировать, что тонкая привязка изотопно-кислородной кривой к временной «линейке», несмотря на ряд до сих пор неразрешенных проблем, может служить хроностратиграфическим каркасом для надежного установления последовательности породных комплексов даже в континентальных разрезах. При этом необходимо сопрягать моренные горизонты с холодными (четными) изотопными стадиями, учитывать изложенные соображения по цикличности событий и принимать идею существования гляциал-интергляциального цикла на протяжении плейстоцена.

Иерархия климатических событий и породных циклитов на протяжении новейшего времени

Для обоих природных явлений – функционирования климатической системы и образования породных комплексов – свойственно одно важное свойство:

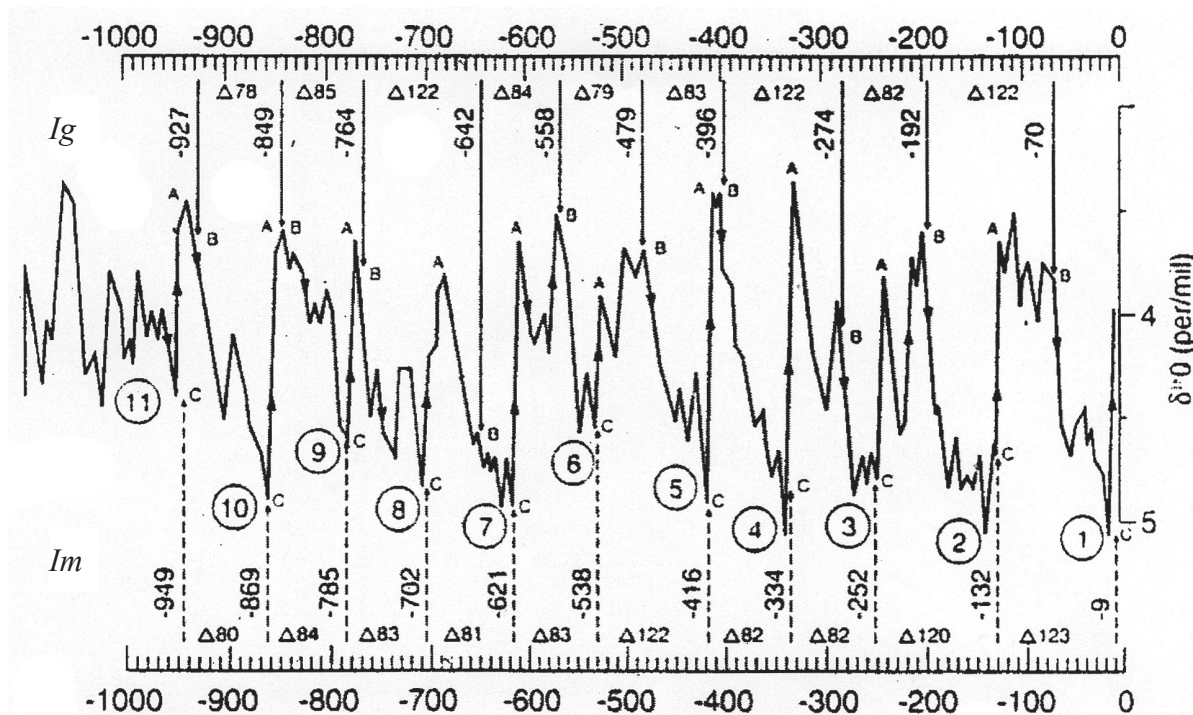


Рис. 3. Модельный процесс генетического климатического цикла, устанавливающий основные траектории, вдоль которых продвигается климатическая изменчивость; меридиональные разрезы через Северное море (NOR), Атлантический и Антарктический океаны (AA) показывают ключевые элементы поверхностной циркуляции и геометрию морского льда и ледовых щитов при различных климатических состояниях; интенсивность глобальной перемешивающей циркуляции обозначается толщиной линий [8]

генерирующие процессы протекают циклически. Это дает возможность проводить их сопоставление, используя периодичность, установленную для вариаций палеоклимата, которая уверенно датирована на основе астрономической хронологии. Возраст событий является лучшим инструментом для выяснения причинно-следственных связей между различными природными феноменами. Такой принципиальный климатический подход на качественном уровне давно применяется при изучении новейших отложений на материках. Однако, как справедливо заметил В.А. Зубаков, «...сами по себе такие понятия, как “ледниковоье”, “межледниковоье”, “межстадиал”, “плювиал” и т.п. пригодны лишь для местного употребления» [17, с. 22]. Он предлагает положить в основу иной принцип – прослеживание и сопоставление непрерывных рядов геолого-фаунистических и изотопно-кислородных записей, что дает возможность увязывания событий в океанах и на континентах.

Методология исследований подробно описана В.А. Зубаковым в ряде работ [17, 18]. Он использовал частично устаревшие сведения по изотопно-кислородным записям из глубоко-водных осадков и возрастной последовательности отложений на континенте (на суше и в морях). Однако принципиальный подход был подтвержден позднейшими исследованиями в обоих типах разрезов. Разработанная классификация ритмостратиграфических (циклостратиграфических) подразделений включена в Стратиграфический кодекс России, хотя «...в

настоящее время нет единообразия в понимании, классификации и применении их в стратиграфической практике» [19, с. 17], так как «многие геологи вообще отрицают возможность выделения стратонов на этой основе» [19, с. 19].

В качестве глобальной единицы («материально-го носителя» климатического события) В.А. Зубаков предлагает климатостратиграфическое подразделение, именуемое «климатомом». «Это безранговый термин, в определение которого не вводится ни длительность, ни амплитуда температурного тренда, а только синхронность изменений» [17, с. 23]. Каждый из них подразделяется на крио- и термомеры как части единого климатического цикла. Они обладают практически изохронными стратиграфическими границами вследствие одновременности изменения глобального температурного тренда. Эти границы в конкретных разрезах регистрируются и прослеживаются на основе комплекса применения различных методов исследования. Система таксонов В.А. Зубакова дана в табл. 1. Предложенные термины не получили широкого распространения, хотя их применимость к изучению новейших отложений является очевидной. Чаще используется термин «климатолит». Это породный комплекс, отвечающий определенной климатической обстановке формирования отложений. Понятие «климатолит» включает представление о периодичности, строении цикла (ритма), его длительности и соответствующие породные ассоциации.



Таблица 1

Таксономическая система климатостратиграфических и климатохронологических единиц [17]

Климатические события, их длительность и примеры	Климатостратиграфические подразделения	Климатохронологические единицы и примеры
Части ритмов в 1–2,5 тыс. лет (аллеред + дриас 3)	Наноклиматем (НКТ)	Нанотермохрон (аллеред) Нанокриохрон (дриас 3)
Части 100000-летнего ритма (рисс – вюрм + вюрм)	Ортоклиматем (ОКТ)	Ортотермохрон (рисс – вюрм) Ортокриохрон (вюрм)
Части 400 000-летнего ритма (миндель – рисс + рисс)	Суперклиматем (СКТ)	Супертермохрон (миндель – рисс)
Части 1 200 000-летнего ритма (тегелен + эбурон и менап)	Гиперклиматем (ГКТ)	Гипертермохрон (тегелен) Гиперкриохрон (эбурон и менап)
Климатоокеанические режимы – оранжерейно-термогалинный и ледниково-психросферный, 50–250 млн лет	Трендклиматем (ТКТ)	Трендтермохрон (мезозойскоэоценовый) Трендкриохрон (позднекайнозойский)

Принимая в целом изложенную методологию, автор настоящей статьи при анализе результатов исследований, проведенных за последние 20 лет, пришел к необходимости некоторого уточнения таксономической системы В.А. Зубакова. При этом в основу положены периодичности климатических событий, привязанных к временной «линейке» с обозначением их возраста в первые миллионы или тысячи лет. Здесь обсуждаются только иерархия и терминология событий, а их стратиграфическая сущность с учетом палеонтологических сведений рассматривается в самостоятельной работе.

В течение длительной истории Земли характерным ее состоянием является отсутствие ледовых шапок, т.е. существование так называемой безледной Земли. Этот диапазон обычно прослеживается в течение долгого времени. Образование ледниковых покровов происходит за сравнительно короткий временной промежуток, точно так же они существуют относительно недолго в зависимости от масштаба явления. Характерным свойством является достаточно резкая и хорошо выраженная граница на переходе от ледникового к безледовому состоянию, тогда как в обратном направлении наблюдается ступенчатое, постепенное нарастание процесса. Поэтому целесообразно признать за начало цикла любого ранга развитие безледного состояния, а его окончание приурочить к разрушению ледовых покровов, тем более что на временном уровне глобальность такого явления является наиболее синхронной, что позволяет достаточно надежно его выделять на основе применения комплекса геологических исследований.

На протяжении миллионов лет в геологической истории Земли выделены термо- и криозэры [20]. Им соответствуют оранжерейно-термогалинный и ледниково-психросферный климатические режимы, описанные В.А. Зубаковым [18]. Любопытно, что с этими климатическими режимами совпадают крупные тектонические события – циклы Бертраана [21] и «великие вымирания» организмов [22]. Их продолжительность сопоставляется с длительностью галактического года [23], изменяемой в пределах 180–250 млн лет по разным расчетам. При этом

диапазон существования термоэры оценивается в 60–90% объема всего цикла, что хорошо показано при анализе событий в течение мезозоя [1].

Безледному состоянию Земли соответствует несколько геологических систем. Их выделение производится на основе использования биостратиграфического метода при учете смены органических сообществ. При этом важное значение имеет массовое вымирание организмов, происходящее с периодичностью в 30 млн лет, когда наблюдаются колебания орбиты Солнечной системы относительно ее плоскости. Следует отметить фактор запаздывания земного отклика на проявленное астрономическое явление и внутренние связи в системе органического мира, в результате чего наблюдается только совпадение различных феноменов, но их синхронность является приблизительной. В существующей хроностратиграфической шкале продолжительность геологических периодов обычно составляет порядка 50 млн лет.

Ледниковое состояние Земли начинается в позднем кайнозое, на уровне 34 млн лет, хотя следы наступления похолодания климата отмечаются еще раньше. Оно продолжается вплоть до современности. Судя по результатам моделирования климатической системы, оно будет длиться, по крайней мере, еще на протяжении 100 тыс. лет [24]. В начале криозэры фиксируются фазы складчатости, увеличение частоты геомагнитных событий и эвстатических колебаний уровня моря. Особенно резкая граница выражена на рубеже двух геологических систем – палеогена и неогена, при этом в олигоцене наблюдается максимальное падение уровня океана, обусловленное формированием антарктических ледников. Следующая граница между миоценом и плиоценом также достаточно выражена вследствие проявления мессинского кризиса солености в Средиземном море, фаз перестройки кинематики литосферных плит, в частности воздымания плато Тибет, существенного понижения уровня океана, образования ледников в Северном полушарии.

Таким образом, понятия «термоэры» и «криозэры» Н.М. Чумакова, различные климатические ре-



жимы В.А. Зубакова совпадают по своему смыслу и отражают время существования крупного явления и его климатическое состояние. Соответствующие породные комплексы именуют макроциклитами [25], мегациклитами, совпадающими с формационными рядами, или гигациклитами, больше отвечающими проявлениям геотектоники [26]. Предложенный В.А. Зубаковым термин «трендклиматом» скорее подчеркивает смену климатического режима, чем выражает отношение к циклической эволюции различных событий. Целесообразнее применять описанные различные термины для времени, палеоклимата и породных комплексов, чем понятие «трендклиматом».

Дальнейшая иерархия различных событий строится на основе использования времени существования циклов разного ранга, обладающих своими периодичностями. Ш.Г. Шараф и Н.А. Будникова [27] при проверке расчетов М. Миланковича наметили цикл изменения эксцентриситета с периодом порядка 1,2 млн лет. Такое явление было подтверждено последующими исследованиями. В.А. Зубаков эту продолжительность называет гиперклиматомом (ГКТ), в котором выделяются гипертермо- и гиперкриохроны. К последнему отнесены проявления первых крупных оледенений на территории Северного полушария. Однако фактических материалов явно недостаточно, чтобы подробно осветить цикличность седиментации. Видимо, эти события отражают различные ступени эволюции климатической системы на протяжении ледниково-психросферного режима. Можно полагать, что им соответствуют макроциклиты (регионально-седиментационные), выделенные В.Т. Фроловым. Возможно, ледниковые отложения фиксируют смену палеоклимата на границе ярусов плиоцена, но требуются более детальные исследования. Во всяком случае, подобная цикличность была установлена на рубеже перми и триаса при смене климатических режимов.

Следующие периодичности (400 тыс. лет и 100 тыс. лет) протекания циклов достаточно хорошо обоснованы астрономическими вычислениями и изотопными исследованиями глубоководных осадков. С той или иной достоверностью они отмечаются в переходной зоне между оледенением и его уничтожением на рубеже перми и триаса, а также при нарастании похолодания в позднем кайнозое [28]. Особенно они характерны для смены климатических состояний в течение последних 5 млн лет. В.А. Зубаков называл цикл (или ритм, по его терминологии) с периодом 400 тыс. лет суперклиматомом (СТК). Позднее он стал считать его важнейшим элементом цикличности в плейстоцене, называть звеном и включать в его состав 6–8 индивидуальных климатических фаз (оледенений и межледниковий в плейстоцене). При этом за начало цикла он принимал формирование ледникового щита. Однако на представленных схемах строения таких звеньев имеются отступления от декларируемого принципа, к чему обязывают фактические данные. В.А. Зубаков считает звено уникальной единицей геологическо-

го времени, но отмечает несовпадение граничных рубежей эволюции наземной и морской фауны. Он полагает, что звено соответствует ритму (циклу) увлажнения материков и продемонстрировал его применение на примере Черного и Каспийского бассейнов.

Реальность существования цикла с периодом 400 тыс. лет очевидна. Такой цикл наиболее характерен для времени начала формирования ледниковых щитов в Северном полушарии, когда он сочетается с циклом наклона с периодом 41 тыс. лет [15]. В эпоху максимального развития оледенения в плейстоцене его проявление затушевывается за счет доминирования 100 000-летнего цикла, что доказывается многими работами по моделированию климатической системы с анализом частотности в этом временном диапазоне. Однако признать данный цикл уникальной единицей геологического времени вряд ли целесообразно. Он лишь отражает определенный этап выраженности цикличности земного отклика на орбитальное возбуждение.

Точно так же применение термина «звено», как считает В.А. Зубаков, представляется неправомерным. В этом смысле данный термин с трудом согласуется с его описанием в Стратиграфическом кодексе России. Заметим, что термин «звено» используется исключительно в русской геологической литературе. Учитывая, что «звено» охватывает достаточно длительный диапазон времени, в течение которого происходили разнонаправленные климатические события и отмечается смена палеонтологических сообществ, в большей степени этому временному интервалу подходит название подъяруса, который соответствует крупному событию, при этом оледенение может присутствовать в виде следов или вовсе отсутствовать. В этом случае сохраняется общая стратиграфическая классификация. Недаром В.А. Зубаков применяет его при интерпретации последовательности событий в течение плиоцена и раннего плейстоцена (эоплейстоцена). Вероятно, ему соответствует эпоха увлажнения материков перед наступлением здесь типичных ледников. В структурной иерархии В.Т. Фролова породный комплекс назван мезоциклитом, в котором объединяются пачки сравнительно однородных или разнородных отложений.

Цикл с периодом 100 тыс. лет наиболее четко выражен в течение последних 800 тыс. лет (неоплейстоцена, по русской терминологии). В более древние промежутки геологической истории плиоцена и эоплейстоцена его наличие не всегда достоверно устанавливается, хотя и предполагается с различной степенью обоснованности. Именно для него предложено типовое строение на основе или моделирования климатической системы [6], или комплексного использования распределения изотопов кислорода в глубоководных осадках, особенностей смены океанической и атмосферной циркуляции [8]. В.А. Зубаков называет его ортоклиматомом (ОКТ) с подразделением на термо- и криохроны. Согласно изотопной стратиграфии плейстоцена цикл



с периодом 100 тыс. лет считается климатическим циклом, который характеризует определенную фазу развития ледового щита, что давно было установлено при изучении континентального разреза, но без обособления в стратиграфических схемах в качестве самостоятельного стратона.

Наиболее убедительные данные представлены Дж. Имбри с соавторами. Согласно результатам их исследований, этот цикл включает два сравнительно стабильных события – интергляциал и гляциал, и два промежуточных, расположенных между ними, – прегляциал и дегляциал. Время их существования варьирует в относительно узких пределах. Для обозначения дегляциала часто используется термин «терминация», который обозначается на графике римскими цифрами сверху вниз по разрезу. Учетываемая приуроченность данного цикла исключительно к неоплейстоцену, целесообразно называть его терминацией в стратиграфической летописи, с этим циклом совпадают палеонтологические события и вариации уровня внутриконтинентальных морей. Хотя в первоначальном смысле, введенном В.С. Бреккером и Дж. Ван Донком [29], предполагалось использовать его для обозначения лишь окончания гляциала. Позднее В.С. Бреккер [30] отмечал тесную связь терминаций с 100 000-летним циклом изменения орбитальных параметров в течение плейстоцена.

Более дробное деление терминации производится по степени идентификации процесса похолодания, как предложено Дж. Имбри с коллегами. В русской литературе Б.А. Борисовым [31] использован традиционный термин «ступень», который соответствует единичному климатическому состоянию и конкретной ИКС морского разреза. Видимо, терминология Дж. Имбри с соавторами является предпочтительнее, тем более что термин «ступень» применяется исключительно в русской литературе и отражает региональный характер подразделения.

Следует коснуться вопроса о продолжительности существования рассматриваемого цикла. Как при астрономических вычислениях, так и при изучении земного отклика, выраженного в изотопно-кислородных кривых, была установлена его периодичность, изменяемая в пределах 95–125 тыс. лет. Но лишь Х.С. Лиу [2] предложил достаточно обоснованное заключение для объяснения этого явления и представил его изображение на временной шкале. Он использовал комбинацию вариаций земного наклона и эксцентриситета земной орбиты с учетом изменения скоростей движения Земли. В итоге он выделяет 10 циклов, продолжительность каждого из них варьирует от 80 до 123 тыс. лет, при этом они четко привязаны к временной шкале и совпадают с изотопно-кислородной кривой. Окончание каждого цикла приходится на дегляциалы. Это обстоятельство подчеркивает последовательность и цикличность функционирования климатической системы в течение последних 800 тыс. лет. В структурной иерархии В.Т. Фролова указанному циклу соответствует ординарный (олиго) циклит с подразделением на парагенерации различного масштаба. Последние

можно сопоставить с описанными частями климатического цикла.

Дальнейшее убывание периодичностей различных событий связано с детальными исследованиями глубоководных осадков в Северной Атлантике, ледовых колонок в Гренландии и вариаций изменения гидрологического режима океана. В ряде публикаций изложены сведения, показывающие существование двух десятков событий со средней периодичностью порядка 1,5 тыс. лет. Они отражают события ледового разноса (Хейнриха), флюктуаций температуры воздуха над Гренландией (Дансгера-Эшгера) и колебаний температуры воды морской поверхности в Северной Атлантике (Бонда). При этом они с той или иной достоверностью прослеживаются вглубь веков вплоть до одного миллиона лет.

Подобная или даже более мелкая цикличность наблюдается в голоцене континентального разреза, что убедительно показано в работах В.А. Зубакова [17, 18], И.И. Борзенковой [32] и Н.А. Хотинского с соавторами [33], причем в последней статье изменчивость климата установлена на основе применения спорово-пыльцевого анализа. Согласно классификации В.Т. Фролова для этой величины периодичности характерны минициклиты. Важным моментом является установление перехода от гляциальным (древнее 10 тыс. лет) до интергляциального (собственно голоцен) климатического состояния, на протяжении которого фиксируются кратковременные разнонаправленные климатические события с периодичностью, измеряемой в пределах 1–2,2 тыс. лет. При абсолютном геохронометрировании использовано ¹⁴C датирование. Эти материалы показывают неполное совпадение положений нижней границы голоцена с изотопно-кислородной кривой (11 тыс. лет), тогда как целесообразнее ее проводить на уровне 10,3 тыс. лет. Данные Н.А. Хотинского с соавторами приведены при описании стратотипа половецкого горизонта стратиграфической схемы Русской равнины. Для такого типа изменчивости целесообразно использовать термин «стадиал», который отражает детализацию событий внутри ранее выделенных частей климатического цикла – интергляциала и дегляциала.

При рассмотрении соотношения климатических и седиментационных событий следует обратить внимание на два момента: с одной стороны, выявляется универсальность применения цикличности развития обоих природных феноменов, а с другой – устанавливается неодинаковое доминирование периодичности колебания процессов во временном масштабе. Это связано с запаздыванием общего земного отклика на орбитальное возбуждение и седиментогенеза по отношению к климатической изменчивости, так как в этих системах действуют многочисленные процессы, скорость протекания которых изменяется неодинаково, да и их набор существенно отличен. К тому же присутствует резонанс инициирующих факторов, приводящий к разным эффектам особенно в седиментационной системе.

Тем не менее картину иерархии климатических и седиментационных событий с точки зрения



их цикличности можно представить в следующем обобщенном виде.

Наиболее крупные события, происходящие в течение длительного периода времени, равного продолжительности галактического года (180–250 млн лет), составляют термо- и криозэры, которым соответствуют оранжерейно-термогалинный и ледниково-психросферный климатические режимы, а также циклы Бертрана тектонической активности. В седиментогенезе выделяются мегациклиты, в состав которых включается несколько геологических систем. Каждая климатоэра подразделяется на части (геологические периоды) продолжительностью порядка 30–50 млн лет, с которыми сопрягаются массовое вымирания организмов и тектонические фазы Штилле. Эти части внутри мезозойской термоэры обособляются в основном при применении биостратиграфического метода, хотя отмечается и существенная климатическая изменчивость в пределах указанного режима.

Дальнейшее деление не вполне достаточно обосновано, особенно астрономическими вычислениями. Обычно описываются циклы с периодами 3,7, 2,5 и 1,2 млн лет, которым соответствуют отдельные ярусы неогена или макроциклиты в другой терминологии. Они более проявлены в течение большей части плиоцена, когда только намечается нарастание похолодания в глобальном масштабе, которое привело к формированию ледников в Северном полушарии.

Наиболее частая климатическая изменчивость приурочена главным образом к временному диапазону, ограниченному поздним неоплейстоценом и голоценом, хотя детальные исследования обнаруживают ее и в древние времена, вплоть до эоплейстоцена. Установлены циклы со средним периодом 1,5 тыс. лет, в течение которых фиксируются минициклиты.

Для последних 5 млн лет предлагаемая иерархия климатических и геологических событий отображена в табл. 2 в виде варианта Общей хро-

Таблица 2

Вариант хроностратиграфического расчленения верхней части неогеновой системы

Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Магнитозоны	Терминация	ИКС	Возраст подошвы, тыс. лет	Продолжительность, тыс. лет	Российская терминология													
Неоген	Плейстоцен N ₃	Ионий N ₃ ³		Б р ю н е с					Голоцен N ₄													
									Верхний	I	2–5	127	116	Верхний неоплейстоцен Q _{III}								
										II	6–7	242	115	Средний неоплейстоцен Q _{II}								
										III	8–9	334	92									
										IV	10–11	427	93									
										Нижний	V	12–13	528	101	Нижний неоплейстоцен Q _I							
											VI	14–15	621	93								
											VII	16–17	712	91								
											VIII	18–19	790	78								
									Верхний	Ма т у я								Эоплейстоцен E				
																			IX	20–21	865	75
																			X	22–25	950	85
																			XI	26–35	1100	150
																			XII	36–55	1500	400
									Нижний	Гелазий N ₃ ¹			М а т у я					Верхний плиоцен				
XIII	56–71	1800	300																			
XIV	72–87	2200	400																			
										XV	88–103	2600	400									



Система	Отдел	Ярус	Польярус	Магнитозоны	Терминация	ИКС	Возраст подошвы, тыс. лет	Продолжительность, тыс. лет	Российская терминология
Неогеноя	Плиоцен N ₂	Пьяченце N ₂ ²	Верхний	Гаусс	—	—	3000	400	Средний плиоцен
			Нижний		—	—	3600	600	
	Миоцен N ₁	Мессиний	Занклий N ₂ ¹	Гилберт	—	—	5300	1700	Нижний плиоцен
			—		—	—	—	Миоцен	

ностратиграфической шкалы, совмещенной с палеомагнитными и изотопно-кислородными данными. Не вдаваясь в детали ее описания, отметим, что вершина пьяченце соответствует началу гляциального плиоцена, которое легко узнаваемо в морской и континентальной записях. При этом сам ярус сопоставляется с прегляциальным состоянием, тогда как гелазий – с гляциальным климатом. В нижнем плейстоцене (эоплейстоцене) будет доминировать интергляциальное климатическое состояние. Наиболее подходящей границей для разделения плейстоцена и плиоцена является рубеж 2,6 млн лет, т.е. основание гелазия. Тогда плейстоцен является отделом в неогеновой системе. Он будет состоять из трех ярусов: гелазия, калабрия, иония – продолжительностью 0,7–1,0 млн лет каждый. Голоцен, очевидно, должен рассматриваться в качестве нового отдела неогена (или яруса), так как при формировании современных отложений значительную роль играет деятельность человека, влияющего не только на изменения климата, но и на условия осадконакопления.

Таким образом, характерной особенностью климатической изменчивости является надежно установленная цикличность появления событий. При этом наблюдаются их совпадения с вариациями орбитальных параметров при учете запаздывающего эффекта на начальное возбуждение. Но в земном отклике изменение периодичности носят более сложный характер за счет явлений резонанса, в результате чего могут возникать новые периоды. Кроме того, они могут появляться как следствие действия различных обратных связей внутри климатической системы. Важным моментом является постепенное

нарастание влияния какого-либо компонента (или нескольких) в течение обозначенного временного диапазона, что приводит в конце концов к бифуркации, т.е. смене темпа интенсивности, направленности и характера самого климатического процесса, что отражается в цикличности седиментогенеза, особенно при осадконакоплении в новейшее время.

Применение астрономической хронологии, установленной при изучении климатической изменчивости, представляет возможность с учетом доминирования определенных периодичностей привязать климатические и седиментационные события к возрастной «линейке». На этой основе предлагается уточненная схема их иерархии. Такой методологический подход позволяет решить ряд проблем стратиграфии плейстоцена и плиоцена. На этой основе построена Общая хроностратиграфическая шкала для новейшего времени.

Библиографический список

1. Климат в эпохи крупных биосферных перестроек // Тр. Геолог. ин-та РАН. 2004. Вып. 550. 299 с.
2. Liu H.S. A new view of the driving mechanism of Milankovitch glaciation cycles // Earth. Planet. Sci. Lett. 1995. Vol. 131, № 1–2. P. 17–26.
3. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. М., 1990. 344 с.
4. Paillard D. The timing of Pleistocene glaciations from simple multiple-state climate model // Nature. 1998. Vol. 391. № 6665. P. 378–381.
5. Raymo M.E. Glacial puzzles // Science. 1998. Vol. 281, № 5382. P. 1467–1468.



6. Шмуратко В.И. Теория М. Миланковича и функциональное моделирование палеоклиматов. Л., 1991. 151 с.
7. Жирмунский А.В., Кузьмин В.И. Критические уровни в развитии природных систем. Л., 1990. 223 с.
8. On the structure and origin of major glaciation cycles. 1. Linear responses to Milankovitch forcing / J. Imbrie, E.A. Boyle, S.C. Clemens et al. // *Palaeoceanography*. 1992. Vol. 7. № 6. P. 701–738.
9. Broecker W.S., Denton G.H. The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles // *Geochim. et Cosmo-chim. Acta*. 1989. Vol. 53, № 10. P. 2465–2501.
10. On the structure and origin of major glaciation cycles. 2. The 100,000-year cycle / J. Imbrie, A. Berger, E.A. Boyle et al. // *Palaeoceanography*. 1993. Vol. 8, № 6. P. 699–735.
11. Filtering of Milankovitch cycles by Earth's geography / D.A. Short, J.G. Mengel, T.J. Crowley et al. // *Quater. Res.* 1991. Vol. 35. P. 157–173.
12. Большаков В.А. Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. М., 2003. 256 с.
13. Rial J.A. Pacemaking the ice ages by frequency modulation of Earth's orbital eccentricity // *Science*. 1999. Vol. 285, № 5427. P. 564–568.
14. Shackleton N.J. The 100,000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide and orbital eccentricity // *Science*. 2000. Vol. 289, № 5486. P. 1897–1902.
15. Pleistocene evolution. Northern Hemisphere ice sheets and North Atlantic ocean / W.F. Ruddiman, M.E. Raymo, D.G. Martinson et al. // *Palaeoceanography*. 1989. Vol. 4. P. 353–412.
16. Mudelsee M., Schulz M. The Mid-Pleistocene climate transition: onset of 100 ka cycle lags ice volume build-up by 280 ka // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 1997. Vol. 151. P. 117–123.
17. Зубаков В.А. Глобальные климатические события плейстоцена. Л., 1986. 288 с.
18. Зубаков В.А. Глобальные климатические события неогена. Л., 1990. 223 с.
19. Стратиграфический кодекс России. 2-е изд. СПб., 1992. 120 с.
20. Чумаков Н.М. Оледенения в геологической истории // *Климаты Земли в геологическом прошлом*. М., 1987. С. 44–69.
21. Хаин В.Е. Крупномасштабная цикличность в тектонической истории Земли и ее возможные причины // *Геотектоника*. 2000. № 6. С. 3–14.
22. Алексеев А.С. Глобальные биотические кризисы и массовые вымирания в фанерозойской истории Земли // *Биотические события на основных рубежах фанерозоя*. М., 1984. С. 22–47.
23. Баренбаум А.А., Гладенков Ю.Б., Ясаманов Н.А. Геохронологическая шкала и астрономическое время (современное состояние проблемы) // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2002. Т. 10, № 2. С. 3–14.
24. Loutre M.F., Berger A. Future climatic changes: are we entering an exceptionally long interglacial? // *Clim. Change*. 2000. Vol. 46, № 1–2. P. 61–90.
25. Карогодин Ю.Н. Седиментационная цикличность. М., 1980. 242 с.
26. Фролов В.Т. Циклы и циклиты – атрибуты геологических процессов и формаций // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. геология*. 1998. № 2. С. 3–11.
27. Шараф Ш.Г., Будникова Н.А. Вековые изменения элементов орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата // *Тр. Ин-та теоретической астрономии АН СССР*. 1969. Вып. 14. С. 48–84.
28. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present / J.C. Zachos, M. Pagani, L. Seoan et al. // *Science*. 2001. Vol. 292, № 5517. P. 686–693.
29. Broecker W.S., Van Donk J. Insolation changes, ice volumes, and O¹⁸ record in deep-sea cores // *Rev. Geophys. and Space Phys.* 1970. Vol. 8, № 1. P. 169–198.
30. Broecker W.S. Terminations // *Milankovitch and Climate. Understanding response astronomical forcing*. Dordrecht. N.Y., 1984. Pt. 2. P. 687–698.
31. Борусов Б.А. Дальнейшее совершенствование Общей стратиграфической шкалы четвертичной системы // *Геологические события неогена и квартера России: современное состояние стратиграфических схем и палеогеографические реконструкции*. М., 2007. С. 16–19.
32. Борзенкова И.И. Изменение климата в кайнозое. СПб., 1992. 247 с.
33. Новая схема периодизации ландшафтно-климатических изменений в голоцене / Н.А. Хотинский, З.В. Алешинская, М.А. Гуман и др. // *Изв. АН СССР. Сер. геогр.* 1991. № 3. С. 30–42.

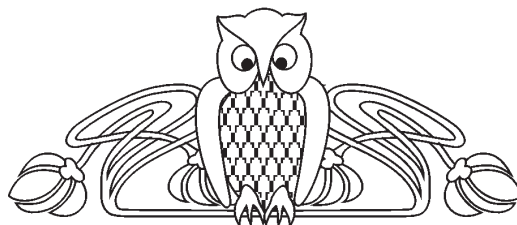
УДК [550/4:552. 53] (470.44+574.1)

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГИДРОХИМИИ ПЕРМСКОГО ГАЛОГЕНЕЗА ПРИКАСПИЯ

Г.А. Московский, О.П. Гончаренко, С.А. Свидзинский*

Саратовский государственный университет,
кафедра петрографии и минералогии
E-mail: MoskovskyGA@info.sgu.ru
*ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий»
E-mail: SvidzinskySA@yandex.ru

В 1960–1980 гг. в пермских галогенных толщах Нижнего Поволжья были открыты Эльтонское и Гремячинское месторождения калий-



ных солей, установлена бишофитонность Приволжской моноклинали, сформулированы условия формирования галогенных толщ как типичных эвапоритов. Но в 1980–2010 гг. появились гипотезы галогенеза, в которых отрицается ведущее значение климатического фактора и доминирующей роли океанических вод в составе рапы солеродного бассейна. Выполненное нами изучение состава рапы бассейна (по составу включений) показало на закономерное соотношение основных ее компонентов на