

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНИХ МИЛЛИОНОВ ЛЕТ, В ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ПЕРИОД И СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ

Дергачев В.А.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия

DURATION OF CLIMATE CYCLES DURING THE LAST MILLIONS OF YEARS, IN THE QUATERNARY PERIOD AND MODERN CLIMATE ANOMALIES

Dergachev V.A.

Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-89-94>

The problem of the end of the modern interglacial is discussed. Following theoretical predictions, cooling should soon begin after the end of the modern interglacial. However, as climatologists note, now weather anomalies have begun to occur more often: high and low temperatures, heavy rainfall, thunderstorms, hurricanes, and floods are breaking long-term records. Unfortunately, the scientific community has not formed a consensus regarding the causes of climate change during this period. Global numerical models of the Earth's climate system have discrepancies with observed climate changes. Supporters of anthropogenic global warming, in spite of everything, ignore the natural factors of climate change, such as tectonic waves, glacial destruction, the ocean, which actively participates in the exchange of gases with the atmosphere, volcanic activity, earthquakes, etc.

Data on changes in the global temperature of the Earth's surface on a time scale of the last 700 million years and 150 million years were analyzed and periods of warming and cooling were identified. The cyclicity of climate changes in the Quaternary period (the last approximately 2.5 million years) is analyzed as one of the most important features of the climate system, used to assess both changes in individual environmental components in the past and to predict climate change in the future.

Одной из наиболее сложных природных систем является климатическая система Земли, представляющая собой функцию взаимодействия суши и океанов, действующую через земную атмосферу. Свое влияние оказывают и вулканические выбросы. Примерно 3.5 млрд лет назад начала формироваться биосфера. Опираясь на данные климатических изменений в прошлом на интервале времен в миллиарды, сотни миллионов, десятки миллионов и тысячи лет, можно проследить, как менялись средние температуры на нашей планете в эти интервалы лет.

Глубоководные бентосные фораминиферы сохраняют важную информацию о прошлом климате Земли по своему составу изотопов кислорода и углерода. Как показывают исследования, естественный климат в прошлом циклически изменялся между теплыми и холодными состояниями. Прослеживаются циклы разного масштаба, которые определяются, в

первую очередь, Солнцем, космосом и океаном. Эволюцию глобального климата (тренды, цикличность) на протяжении кайнозойской эры (последние 65 млн лет) по кернам глубоководных отложений исследовали в работе [1]. Эта эволюция включает в себя тенденции потепления и похолодания.

Периоды потепления климата способствовали бурному развитию растительного и животного мира. К началу четвертичного периода (около 2.5 млн лет) и растительный и животный мир стали довольно разнообразными, а границы биосферы приобрели очертания, близкие к современным. Отметим, что человек в течение последних около 2.5 млн лет в четвертичном периоде прошел долгий путь эволюции. Человек современного вида сформировался от 150 до 300 тыс. лет назад.

Четвертичный период является одним из самых коротких по времени климатических периодов, в котором выделяются 100-тысячелетние ледниково-межледниковые циклы. При этом длительность ледниковых интервалов достигала ~100 тыс. лет, а межледниковый – всего около 10–11 тыс. лет. Поскольку современное межледниковье продолжается уже более 11.5 тыс. лет, после его окончания должно начаться похолодание.

Рис. 1 показывает, как по полушариям менялась глобальная средняя приземная температура со времени после окончания последнего ледникового периода [2]. Климатические изменения за последние 24 000 лет дают ключевое понимание реакции системы Земли на внешние воздействия. Время на рисунке растянуто на последние 1000 лет, чтобы визуализировать недавние изменения температуры. Данные показывают, что глобальная средняя температура немного, но устойчиво повысилась, примерно на 0,5 °C.

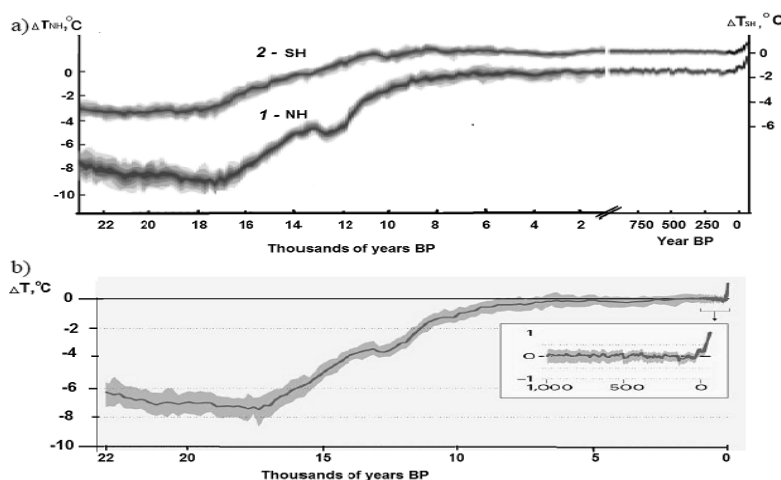


Рис. 1. Глобальная средняя приземная температура в северном (1) и южном (2) полушариях после окончания последнего ледникового периода 24 тыс. лет назад [2].

Климат определяется не только метеорологическими процессами, но и совокупностью процессов, происходящих во всей климатической системе, которая включает в себя атмосферу, а также океан и литосферу (то есть,

сушу с реками и озерами), и криосферу (снег и лед). Поэтому, чтобы понять, как будет меняться климат в будущем, проанализируем имеющиеся данные об изменении температуры на планете Земля на протяжённой временной шкале и попытаемся определить тенденции её изменения в ближайшем будущем.

Как показывают исследования палеогеографов и палеоклиматологов, первые крупные распространения сложных форм жизни на нашей планете начались в течение Фанерозоя – части геологического времени, берущего начало около 542 млн лет назад и продолжающегося по настоящее время.

Рис. 2 показывает оценки глобальной средней температуры приземного воздуха за ~540 млн лет фанерозойского эона, с момента первого крупного распространения сложных форм жизни на нашей планете, заменивших большую часть более ранней геологической жизни на планете [3].

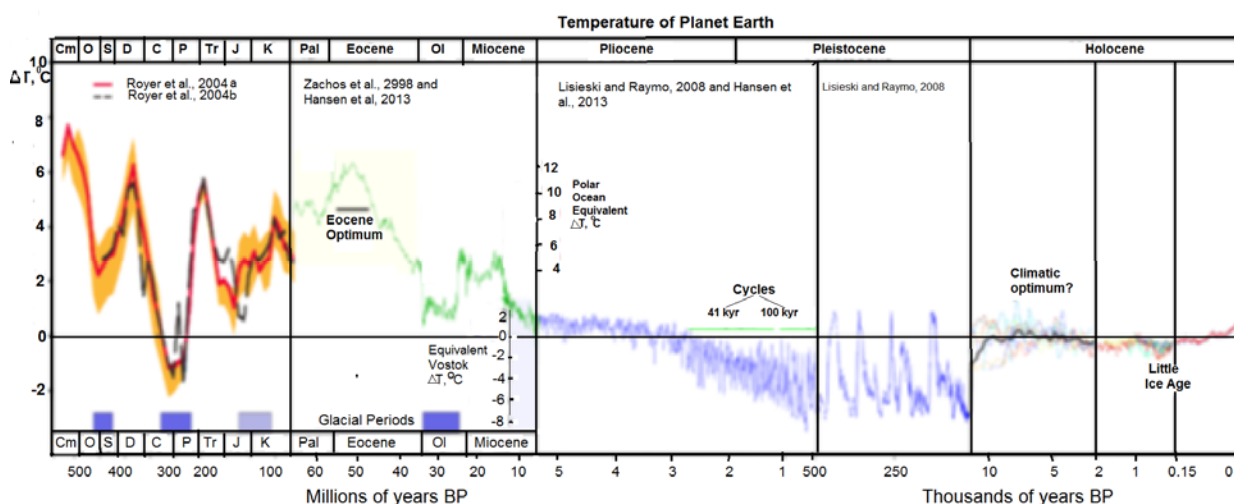


Рис. 2. Оценки глобальной средней температуры приземного воздуха за 540 миллионов лет [3]. Основные данные на рисунке получены из измерений стабильных изотопов кислорода в ископаемых раковинах: 540–66 млн лет [3]; 65–5.3 млн лет [4, 5]; 5.3–1 млн лет [4, 5]; 1 млн лет – 20 тыс. лет [4]; 20 тыс. лет – настоящее время – 2015 г. (5 наборов данных).

В работе [6] построена непрерывная запись (рис. 3) изменения глобальной температуры за последние 540 млн лет, полученная на основе 1) данных по изотопам кислорода, полученных на основе изменения распределения литологических индикаторов климата и 2) оценок тропических изменений температуры, полученных на основе изотопов кислорода. Представленная модель глобальной температуры включает оценки глобальной средней температуры, изменяющихся тропических температур, температур глубокого океана и полярных температур.

Следует отметить, что модель во многих отношениях аналогична температурной истории, полученной ранее на основе изучения изотопов кислорода, но эта модель не предсказывает экстремально высокие температуры для раннего палеозоя (первая эра фанерозойского эона).

В работе [7] по астрономически датированной совокупности данных изотопов ^{13}C , ^{18}O в фораминиферах из океанических кернов с высоким разрешением на точной временной шкале получена глобальная климатическая кривая, охватывающая последние 66 млн лет (Кайнозойская эра), построенная путём объединения: 1) оценок изменения градиента температуры от полюса к экватору, полученных на основе литологических индикаторов климата и 2) оценок тропических изменений температуры, полученных на основе изотопов кислорода. Оказалось, что в течение эпохи кайнозоя (66 млн лет) глобальный климат резко менялся несколько раз. Сейчас мы живем в умеренно теплую фазу ледникового периода (голоцена).

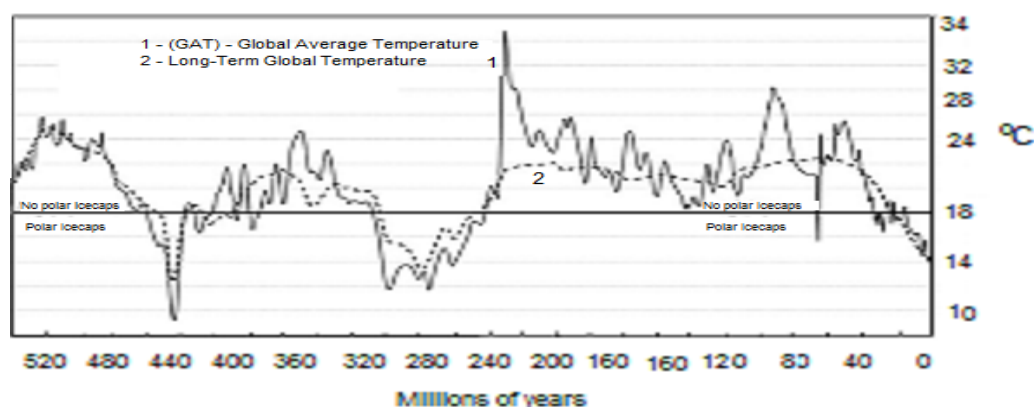


Рис. 3. Глобальная средняя температура фанерозоя (GAT): непрерывная линия 1 — глобальная средняя температура, пунктирная линия 2 — долговременное изменение температуры, полученное на основе изменений температурного градиента от полюса до экватора (разрешение этой версии шкалы времени составляет 1 миллион лет) [6].

Авторы статьи [7] делают вывод, что антропогенная деятельность человека движет нашу планету к температурному рекорду за последние 60 млн лет. Представляется, что такой вывод на основании представленных климатических данных является преждевременным. Отметим также, исходя из представленных данных, что кратковременное воздействие человека на климат не может быть сравнимо с мощностью природного воздействия на протяженной временной шкале.

Тем не менее проблема окончания современного межледникового широко обсуждается в различных источниках. Следует обратить внимание, что с начала прошлого века средняя температура на нашей планете медленно росла, но на рубеже 70–80-х годов в Арктике, а в 90-х годах в Антарктиде начался быстрый рост температуры. И это не антропогенный рост, а естественный, поскольку в этих регионах вообще нет промышленности и нет антропогенных выбросов.

По прогнозам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), если ничего не менять, то концентрация парниковых газов будет нарастать, и к 2100 году средняя глобальная температура вырастет на 2,6–4,8 градуса по сравнению с периодом 1961–1990 годов [8],

что станет катастрофой для многих регионов Земли, вызовет природные катаклизмы – засуху, затопление стоящих на берегу морей мегаполисов, оттаивание вечной мерзлоты и прочие напасти. Чтобы этого не допустить, вписаться в более благоприятные сценарии (рост температуры не более 1,5–2 градуса), человечеству придется приложить массу усилий.

Особенно большое беспокойство вызывает перспектива исчезновения ледниковых покровов и разрушения вечной мерзлоты, что приведёт к катастрофическому уровню Мирового океана. Анализ проблем оледенения и изменения климата на земном шаре проведён в работе [9], в которой проанализированы оледенения, судьба биосферы и циклическое изменение климата на интервале последних 700 млн лет.

Глобальные факторы, которые вызывают изменения климата на всей планете, можно подразделить на 1) космопланетарные, 2) астропланетарные (астрономические) и 3) геопланетарные [10].

Космопланетарные факторы – это факторы, которые влияют на орбитальные параметры Солнечной системы и нашей Галактики в целом. К ним следует отнести, прежде всего, обращение Солнечной системы вокруг центра Галактики с периодом около 200 миллионов лет [11]. В эту группу глобальных факторов включают и обращение нашей Галактики вокруг Метагалактического центра с предполагаемым периодом 1.3 млрд. лет.

К астрономическим факторам относят: 1) изменение эксцентриситета (сжатости) орбиты Земли с периодом около 100 тыс. лет; 2) изменение наклона оси вращения планеты по отношению к плоскости эклиптики с периодом 40.7 тыс. лет; 3) прецессию – медленное вращение земной оси, вызванное гравитационным воздействием Луны и Солнца с периодом 20 тыс. лет, что было учтено при разработке астрономической теории колебаний глобального климата [12].

Геосферные факторы определяются изменчивостью состава, строения и морфологических характеристик оболочек Земли, реагирующих как на внешние воздействия, так и на процессы, происходящие внутри планеты и на её поверхности. Действия геосферных факторов носят характер обратной реакции основных геосфер Земли на внешние возмущения климатической системы.

Общая интегрально-динамическая модель изменения глобального климата, разработанная в работе [13], представлена на рис. 4.

Графики отражают следующие динамические особенности теплового состояния земной поверхности: а) экстремальные периоды потепления и похолодания климата ограничиваются глобальными температурами -2 и $+2$ °C; б) оптимальные климатические условия на фоне всех циклов продолжительностью от 20 тыс. лет до 1,2 млрд лет укладываются в тот же диапазон температур ± 2 °C; в) каждый временной цикл представляет собой осреднённую гармонику совокупности циклов меньшей продолжительности. Предложенная концептуальная модель объясняет глобальные экологические катастрофы, приуроченные к фанерозою.

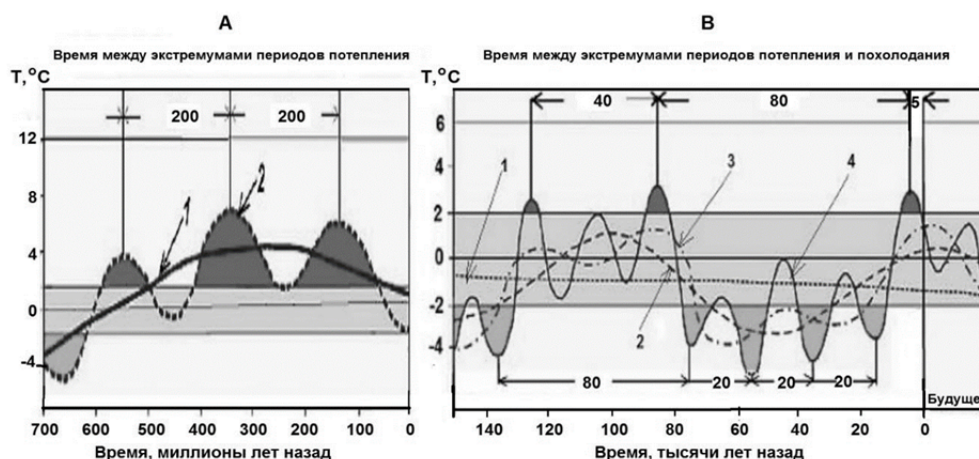


Рис. 4. Схема взаимосвязи между двумя основными космопланетарными факторами формирования глобального климата (ход кривых различных циклов): **А)** 1 – период около 1,3 млрд. лет, 2 – период около 200 млн. лет; **В)** 1 – период 200 млн лет, 2 – период 100 тыс. лет, 3 – период 40.7 тыс. лет, 4 – период 20 тыс. лет. Выделена область оптимальных климатических условий (диапазон температур $\pm 2^{\circ}\text{C}$) и эпохи потеплений и похолоданий.

Заключение

В настоящее время Земля переживает конец (закончила?) межледникового периода в рамках четвертичного оледенения.

Из результатов, представленных на рис. 1–3, нельзя сделать однозначного вывода о резком наступлении похолодания после окончания современного межледникового периода, и тренд глобальной температуры на рис. 4 свидетельствует о том, что мы, по-видимому, находимся на фазе максимального потепления в настоящее время. Но за современным потеплением должно последовать начало следующего оледенения. По-видимому, Земля входит в новое состояние климата.

Литература

1. Zachos J. et al. // Science. V. 292 (5517). P. 686–693. 2021.
2. Osman M.B. et al. // Nature. V. 599, P. 239–244. 2021.
3. Royer D.L. et al. // GSA Today. V. 14, No. 3, P. 4–10. 2004.
4. Lisiecki L.E. and Raymo M. // Paleoclimatology and Paleoclimatology. 2005. V. 20(1). DOI:10.1029/2004PA001071.
5. Hansen et al. // Phil. Trans. Roy. Soc. A. V. 371, 20120294. 2013. doi:10.1098/rsta.2012.0294.20294.
6. Scotese C.R. et al. // Earth-Science Reviews. V. 215 (103503). 2021.
7. Westerhold T. et al. // Science. V. 369, P. 1383–1387. 2020.
8. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01125-x>.
9. Алексеев В.Р. // Наука и техника в Якутии. № 2 (41), С. 92–109. 2021. DOI: 10.24412/1728-516X-2022-1-92-101.
10. Шенелев В.В. // География и природные ресурсы. № 3, С. 138–142. 1999.
11. Shapley H. and Ames A. // Ann. Harv. Coll. Obs. V. 88, № 2, P. 121–135. 1932.
12. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебания климата. М.–Л., 207 с. 1939.
13. Балобаев В.Т., Шенелёв В.В. // Докл. Академии наук. Т. 379, № 2, С. 247–251. 2001.