

Человек и климат

Г. А. Аванесов¹, М. В. Михайлов²

¹ *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия*
E-mail: genrikh-avanesov@yandex.ru

² *Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева*
Московская обл., Королёв, 141070, Россия

Палеонтологические исследования далёкого прошлого и исторические хроники последних тысячелетий указывают, что потепления и похолодания климата на нашей планете, сменяя друг друга, шли непрерывной чередой. Важную роль в этом процессе играли и играют космические факторы: вариации солнечной активности и параметры орбитального движения Земли в поле тяготения Солнца и планет Солнечной системы. Высказывается предположение, что наблюдаемое в настоящее время изменение климата связано с идущим уже на протяжении почти 30 тыс. лет уменьшением эксцентриситета орбиты Земли и наклона оси её вращения по отношению к плоскости эклиптики. Оба процесса ведут к изменению границ климатических зон. В обозримом будущем эти процессы будут идти в том же направлении. Следовательно, сложившаяся к настоящему времени тенденция к изменению климата сохранится. При всей важности скорейшего решения задачи сокращения выбросов парниковых газов в статье выражаются сомнения в возможности таким путём парировать потепление климата. Предлагается сосредоточить усилия на развитии математических моделей климата с учётом космических факторов и на поиске оптимальных путей адаптации промышленности, транспортных систем и среды обитания к условиям ожидаемых изменений климата.

Ключевые слова: Земля, Солнце, орбита, прецессия, эксцентриситет, инсоляция, климат, циклы Миланковича, глобальное потепление, ледниковый период

Одобрена к печати: 09.06.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-3-9-20

Изменения климата и связанные с ними проблемы касаются всех без исключения жителей нашей планеты. Авторы статьи, работая всю жизнь в области космических исследований Земли и планет Солнечной системы, не могут остаться в стороне от идущей в этой области дискуссии. В своих рассуждениях, предположениях и выводах авторы, с одной стороны, опираются на известные результаты палеонтологических исследований климата, а с другой — на собственный опыт разработки и эксплуатации съёмочных и навигационных систем в космосе, а также на опыт проектирования околоземных и межпланетных траекторий полёта космических аппаратов (КА) в поле тяготения Солнца и планет Солнечной системы.

Первое говорит о том, что потепление климата началось сразу после окончания большого ледникового периода — примерно 30 тыс. лет тому назад. Второе указывает, что в этот же период началось, продолжается в наше время и сохранится в обозримом будущем постепенное уменьшение эксцентриситета орбиты Земли, сопровождающееся уменьшением наклона оси её вращения. Предполагается, что указанные особенности орбитального движения Земли в сочетании с вариациями солнечной активности способны создавать условия для глобальных изменений климата.

В статье делается вывод, что потепления и похолодания климата, многократно происходившие в прошлом, обязательно будут повторяться в будущем. К этому должна готовиться промышленная инфраструктура, транспортные системы и среда обитания. При этом поставленная Парижским соглашением (в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, подписана 22.04.2016 в Нью-Йорке) задача снижения промышленных выбросов парниковых газов представляется авторам очень важной, но её решение вряд ли сможет привести к замедлению роста среднегодовой температуры на нашей планете.

Начавшееся во второй половине XX в. потепление климата вызывает естественную озабоченность. Необходимо досконально выяснить его причины и выработать стратегию поведения человечества во вновь открывающихся обстоятельствах. При этом далеко не все согласны с тем, что основной причиной происходящих изменений климата стала индустриализация. Действительно, с момента её начала в середине XIX в. человек не показал себя рачительным хозяином планеты. За исторически короткое время он успел серьёзно засорить Мировой океан, атмосферу планеты и даже околоземное космическое пространство. Всё это сейчас уже осознано наукой и отчасти обществом.

Промышленные выбросы углекислого газа вполне могли нарушить природный углеродный цикл, но решение проблемы его избытка, по мнению авторов статьи, следовало бы искать в промышленном отборе газа из атмосферы и его хранении. В отдалённой перспективе можно думать и об использовании запасов углекислого газа для регулирования климата планеты.

Потребность в углеводородном топливе из-за широкого распространения работающих на нём машин может сохраниться в будущем на многие десятилетия. Удовлетворять её можно было бы, используя запасы углекислого газа. Сообщения о проведении экспериментов по синтезу экологически чистого топлива из атмосферного углерода регулярно появляются в печати. Одно из недавних сообщений такого рода предоставило информацию, что в Китае создана экспериментальная установка, с помощью которой при относительно небольших затратах энергии было произведено дизельное топливо с октановым числом 90 (https://interestingengineering.com/pilot-project-hydrogenating-green-fuel?utm_source=ixbtcom). Энергию для синтеза топлива следовало бы при этом черпать из возобновляемых источников: солнечных и ветровых электростанций.

Осознанно включиться в углеродный цикл — задача посильная для современной науки. Однако не стоит преувеличивать могущество человечества. Человек не властен над вулканическими процессами в земной коре. Не может противостоять, например, астероидной опасности. Не способен установить прочный мир между странами и народами. Возможно, всё это изменится в будущем, но можно не сомневаться в том, что человеку никогда не удастся управлять активностью Солнца или вмешиваться в действие закона всемирного тяготения. Именно Солнце и непрерываемый закон его гравитационного взаимодействия с планетами Солнечной системы играют главную роль в жизни Земли и её обитателей, влияя в том числе и на климат.

История климата нашей планеты ведаёт, что на Земле постоянно чередуются периоды больших и малых потеплений и похолоданий. После большого ледникового периода, завершившегося около 30 тыс. лет тому назад, началось глобальное потепление, но череда относительно небольших по времени потеплений и похолоданий не прекратилась (Westerhold et al., 2020).

На *рис. 1* (см. с. 11) приведён график изменения среднегодовой температуры Земли за последние 66 млн лет. Этот график — результат длительной работы группы специалистов по климату, построенный в рамках международного проекта CENOGRID (от *англ.* CENOzoic Global Reference benefic foraminifera carbon and oxygen Isotope Dataset).

В правой части *рис. 1* показаны возможные сценарии дальнейшего развития событий, разработанные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК). Разномасштабность графика в его левой и правой частях создаёт иллюзию равновеликости отражённых на нём событий. Если этот же график представить в масштабе его левой части, то всё, что происходит в последние 30 тыс. лет, окажется лишь продолжением выхода планеты из большого ледникового периода. Все похолодания и потепления климата последних тысячелетий предстанут на графике в виде «незначительных» событий, накладывающихся на общую тенденцию к росту среднегодовой температуры.

Прогноз, данный авторами графика, приведённого на *рис. 1*, перекрывает всю гамму возможных вариантов от самого пессимистического RCP8.5 (*англ.* Representative Concentration Pathways, сценарий высокой радиационной нагрузки) до самого оптимистического RCP2.6 (сценарий низкого уровня радиационной нагрузки).

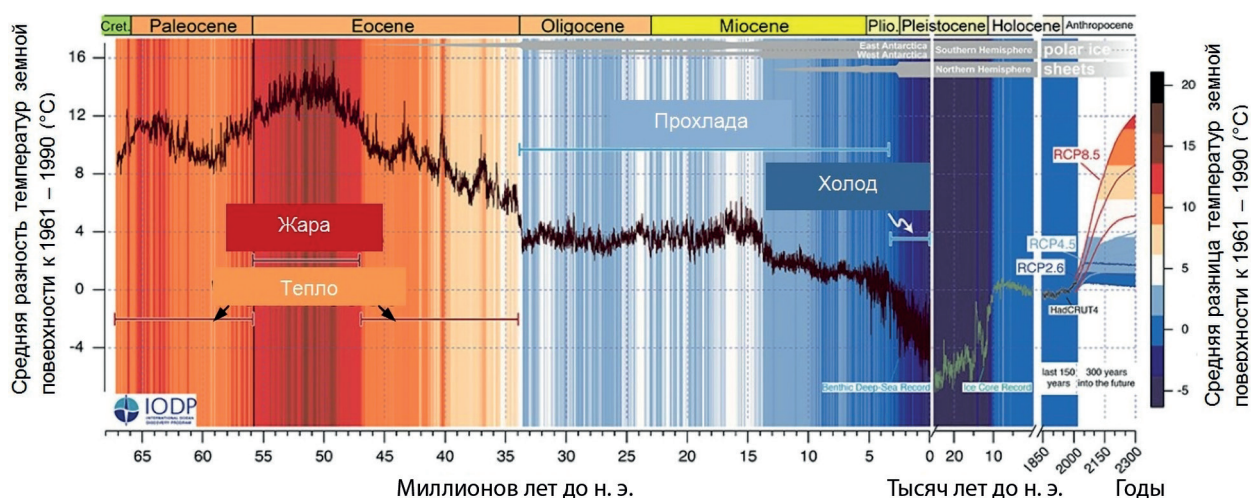


Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры Земли в последние 66 млн лет

В последние 2000 лет в истории нашей планеты ясно выделяются четыре сменяющих друг друга климатических цикла: римский климатический оптимум (0–400), климатический пессимум раннего Средневековья (400–1000), средневековый климатический оптимум (1000–1300) и, наконец, малый ледниковый период (1300–1850) (Behringer, 2007).

В свою очередь, в малом ледниковом периоде выделяются три вековых цикла солнечной активности: минимум Вольфа (1280–1340), минимум Шпёрера (1450–1540) и минимум Маундера (1645–1715). Вековые циклы солнечной активности имеют продолжительность 70–100 лет. Они выражаются в виде модуляции 11-летних циклов.

Из всего вышеизложенного можно заключить, что на протяжении многих тысячелетий среднегодовая температура на нашей планете менялась в очень широких пределах и человека в этом винить никак нельзя. Более того, можно с уверенностью предположить, что черед потеплений и похолоданий будет происходить на нашей планете и в будущем.

Один из прогнозов дальнейшего развития событий содержится в работах Главной астрономической обсерватории РАН (ГАО РАН), где прямо говорится, что «повышение концентрации парниковых газов — не причина, а напротив, естественное следствие роста температуры, обусловленное длительным повышением величины солнечной постоянной. Рост концентрации CO_2 в атмосфере происходит с запаздыванием от момента начала глобального потепления на время, необходимое для прогрева Мирового океана...» (Абдусаматов, 2003, 2007). В этих же работах ГАО РАН на основе анализа долговременных наблюдений активности Солнца делается прогноз очередного похолодания климата Земли к середине этого века и наступления очередного 200-летнего цикла глобального потепления в начале XXII в. (рис. 2). Возможно, что отмеченное в конце прошлого века снижение солнечной активности окажется началом очередного векового цикла, подобного минимуму Маундера.

Таким образом, становится понятно, что периоды потепления и похолодания климата неоднократно повторялись в прошлом и обязательно будут происходить в будущем. Очевидно, что человечество не будет радо ни тому, ни другому.

Понятно и другое: проблема изменения климата существует и независимо от вызвавших её причин необходимо принимать меры, обеспечивающие существование и дальнейшее развитие человеческого сообщества. При этом человек на данном этапе повинен лишь в том, что его деятельность, возможно, ускорила процесс потепления (Семенов, 2012).

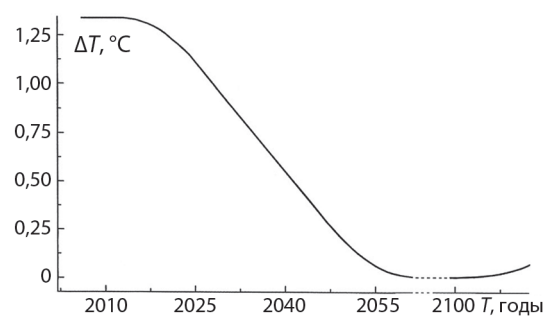


Рис. 2. Прогноз глубокого похолодания климата ГАО РАН к середине XXI в.

Как на самом деле будут развиваться события, покажет уже совсем недалёкое будущее. Рост содержания CO_2 в атмосфере быстро остановить невозможно. Для этого надо было бы прекратить работу промышленности во всём мире, что само по себе стало бы катастрофой. Значительного снижения объёма сжигаемых углеводородов можно будет отметить лишь через несколько десятилетий. Естественное же снижение температуры на планете можно ожидать уже в этом десятилетии.

Проблемы, связанные с изменением климата, начали волновать науку не вчера. На рубеже XIX—начала XX в. она уже располагала знаниями в области океанологии, климатологии и астрономии — столь обширными, что их обобщение позволило учёному сербского происхождения Милутину Миланковичу (*серб.* Милутин Миланковић) создать стройную теорию, объясняющую изменчивость климата Земли, изложенную им в книге «Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата», которая была издана в Европе в начале 30-х гг. XX в. В 1939 г. книга была переведена на русский язык и издана в СССР (Миланкович, 1939).

Суть теории М. Миланковича заключается в том, что из-за непрерывного возмущения орбиты Земли, вызываемого её гравитационным взаимодействием с Солнцем, Луной и другими планетами Солнечной системы, Земля совершает сложное движение, приводящее к повторяющимся периодам похолоданий и потеплений климата. В настоящее время изложенная в книге теория известна как циклы Миланковича. Современные знания и вычислительные возможности позволяют развивать и детализировать теорию Миланковича.

Очевидно, что одними из определяющих факторов формирования климата Земли выступают параметры взаимного движения Земли и Солнца. Из них общеизвестные — три:

- среднее расстояние от Земли до Солнца;
- угловая скорость вращения Земли;
- наклонение оси вращения Земли к плоскости орбиты Земли (эклиптики).

Среднее расстояние до Солнца определяет величину попадающего на Землю энергопотока. При большом расстоянии, как, например, у Марса, климат на Земле был бы недопустимо холодным, а при меньшем, как у Венеры, — недопустимо жарким. Земле повезло: при существующем среднем расстоянии 150 млн км средняя температура её приповерхностного слоя составляет $+14,8^\circ\text{C}$, что вполне благоприятно для развития жизни.

Угловая скорость вращения Земли определяет смену дня и ночи. И здесь Земле повезло: угловая скорость её движения составляет один оборот за 24 ч, что обеспечивает равномерное распределение поступающей от Солнца энергии между дневной и ночной сторонами планеты, допуская лишь незначительные колебания температуры.

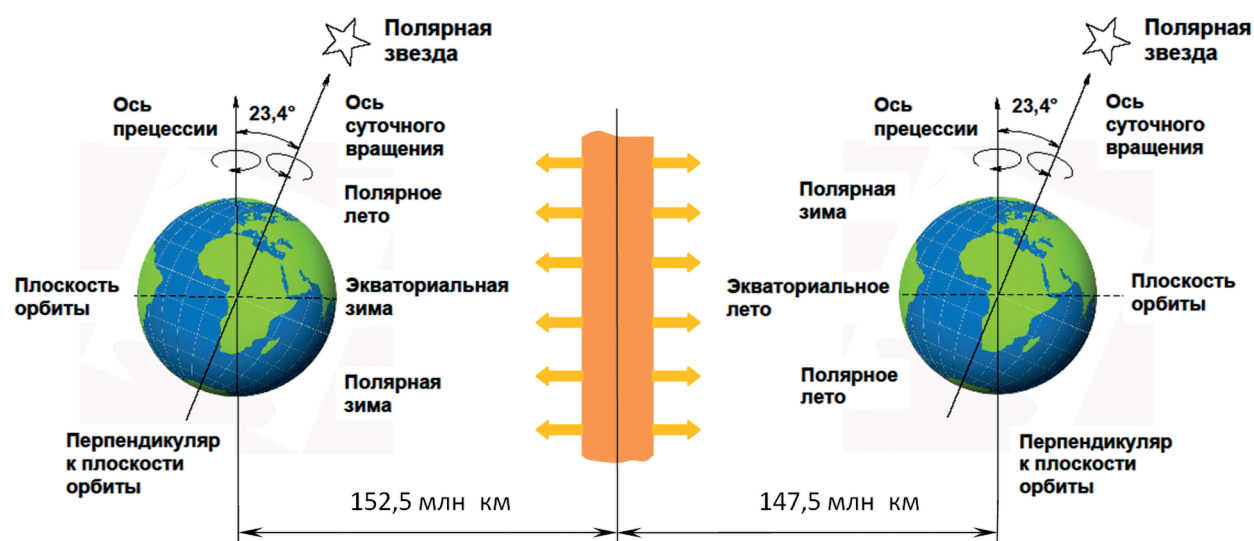


Рис. 3. Иллюстрация к понятиям экваториальных и полярных времён года

На Луне, где полный оборот вокруг собственной оси совершается за 27 сут, дневная температура достигает 120°C , а ночная доходит до -120°C .

Наклон оси вращения становится причиной смены времён года. Если бы наклон был равен 0° , то времена года отсутствовали бы, увеличение же наклона привело бы к большому контрасту между летом и зимой.

Однако не все знают, что кроме привычных нам времён года: зимы, весны, лета, осени, характерных для высоких широт (поэтому далее по тексту традиционные времена года будем называть полярными), существует ещё один тип времени года, который можно было бы назвать экваториальным, что иллюстрируется *рис. 3* (см. с. 12). Дело в том, что орбита Земли имеет форму эллипса, и когда планета находится в окрестности перигелия (экваториальное лето), расстояние до Солнца уменьшается, при этом солнечный энергопоток увеличивается. И наоборот, в окрестности апогелия (экваториальная зима) расстояние до Солнца увеличивается, при этом энергопоток уменьшается. Разность энергопотоков экваториального лета и зимы сегодня при эксцентриситете орбиты Земли 0,017 составляет 7 %. Увеличение эксцентриситета орбиты, которое было в прошлом и когда-нибудь повторится в будущем, до максимального значения 0,06 увеличит разницу почти в три с половиной раза, т.е. до 27 %.

Из-за взаимного гравитационного влияния тел Солнечной системы их орбиты не постоянны. Меняются и параметры орбиты Земли, и её наклонение, что не может не сказываться на изменении солнечного энергопотока, приводящего к изменению климата. М. Миланкович был первым, кто попытался математически связать изменение параметров движения Земли с изменением её климата. Рассмотрим, как по результатам современных расчётов меняются во времени эти параметры (Михайлов, Константинов, 2021; Laskar et al., 2004).

Как отмечалось выше, одним из главных параметров, определяющих климат Земли, считается среднее расстояние до Солнца, называемое главной полуосью орбиты a . На *рис. 4* приведён график изменения величины большой полуоси орбиты Земли за ± 1 млн лет.

Из графика видно, что среднее значение величины большой полуоси — константа. Вековой уход её величины отсутствует. Однако размер большой полуоси совершает колебания около среднего значения величиной $\sim 10^{-5}a$.

На *рис. 5* приведён график изменения большой полуоси орбиты на сорокалетнем интервале времени (время 0 соответствует январю 2000 г.).

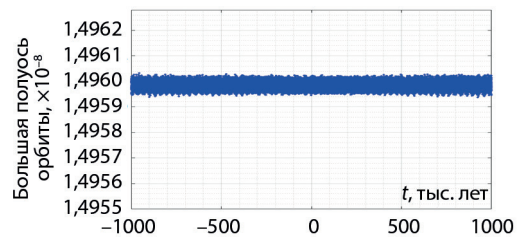


Рис. 4. Большая полуось орбиты Земли



Рис. 5. Отклонение реального расстояния от Земли до Солнца относительно среднего эллипса орбиты на период от 2000 до 2040 г.

На графике видны шестилетние циклы «биения» большой полуоси, приводящие к некоторому изменению инсоляции. Влияние этих малых колебаний потока мощности солнечного излучения на климат Земли ещё требует исследования.

На *рис. 6* приведён график изменения эксцентриситета орбиты Земли на интервале 420 тыс. лет (Михайлов, Константинов, 2021; Laskar et al., 2004). Из графика видно, что на этом отрезке времени эксцентриситет меняется в диапазоне $\sim 0,005$ – $0,05$.

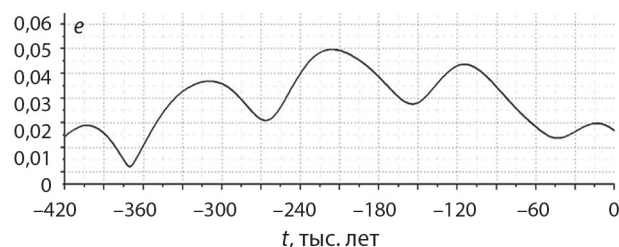


Рис. 6. Эксцентриситет орбиты Земли (0 на графике — 2000 г.)

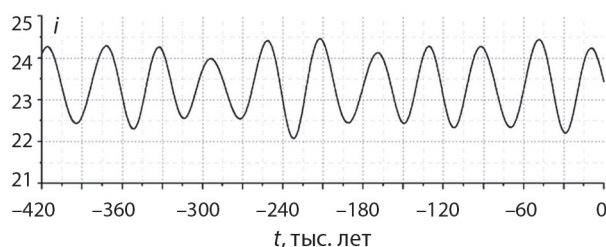


Рис. 7. Наклонение оси вращения Земли (0 на графике — 2000 г.)

Сегодня значение эксцентриситета составляет величину $e = 0,017$.

На *рис. 7* приведён график изменения наклона оси вращения Земли на интервале 420 тыс. лет. Изменение наклона происходит с периодом ~ 40 тыс. лет в диапазоне 22–24,5. Основной причиной изменения наклона оси вращения становятся колебания плоскости эклиптики из-за гравитационного возмущения движения Земли от планет.

Причиной относительной прецессии представляются прецессия оси вращения Земли в гравитационном поле Солнца (при слабых возмущениях от Луны и планет) с периодом ~ 26 тыс. лет и прецессия эллипса орбиты в плоскости эклиптики из-за влияния планет с переменным периодом ~ 140 тыс. лет. Прецессия оси Земли и плоскости эллипса идут навстречу друг другу.

О прецессии земной оси знали ещё в Древней Греции и в Египте. Период прецессии Земли относительно звёзд в 25 920 лет они называли Великим или Платоновым годом. Согласно Платону (*др.-греч.* Πλάτων) — древнегреческому философу, жившему в IV в. до н. э., это срок существования человеческой цивилизации, который начинается со времени положения оси вращения Земли в знаке Льва. Платонов месяц длится 2160 лет.

В результате прецессии земная ось, сохраняя близкий к $23,5^\circ$ угол наклона относительно нормали к плоскости эклиптики, совершает вращательное движение вокруг перпендикуляра к ней в западном направлении. При этом изменяется и угловое положение каждой площадки по отношению к Солнцу. Здесь не лишне снова вспомнить Древнюю Грецию. Слово «климат» произошло от греческого слова «κλίμα» (клима), что означает «наклон». Подразумевается наклон площадки на земной поверхности по отношению к солнечным лучам.

Из приведённого на *рис. 8* графика видно, что за последние 420 тыс. лет период прецессии изменяется в диапазоне от 13 000 до 26 000 лет. Скорость прецессии возрастает для малых значений эксцентриситета. Период текущего цикла прецессии составляет 22 тыс. лет, следующего цикла — 14 тыс. лет.

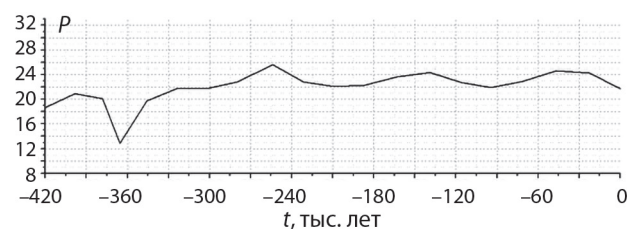


Рис. 8. Прецессии оси вращения Земли относительно плоскости эклиптики (0 на графике — 2000 г.)

Из приведённых на *рис. 6–8* графиков следует, что каждому циклу прецессии соответствуют свои значения эксцентриситета орбиты Земли и угла наклона её оси к плоскости эклиптики. Таким образом, в каждом следующем цикле прецессии разыгрывается свой сценарий изменения климата как для каждой точки на земной поверхности, так и для планеты в целом.

Сейчас Земля проходит перигелий 3 января (дата зимнего солнцестояния — 22 декабря), т.е. лето экваториального времени года практически совпадает с зимой полярного времени года (для Северного полушария). Совпадение перигелия с точкой зимнего солнцестояния происходило ~750 лет назад. Сегодня путь на Север нам указывает Полярная звезда. В Южном полушарии лето экваториального времени года совпадает с летом полярного времени года.

Через ~11 тыс. лет из-за прецессии земной оси ситуация изменится на противоположную. В Северном полушарии полярное лето будет совпадать с экваториальным. Путь на Север нашим далёким потомкам будет указывать уже не Полярная, а совсем другая звезда — Вега. Полярная зима в это время будет совпадать с экваториальной зимой.

Идущая непрерывно на протяжении всего периода прецессии смена фаз полярных и экваториальных времён года существенно сказывается на климате Земли. Особенно резкими колебания климата будут при возрастании эксцентриситета, когда разница между инсоляциями во время экваториального лета и экваториальной зимы будет достигать 27 %.

Вариации солнечной активности тоже имеют свои некротные периоды в 11, 22, 80, 200 и даже 2300 лет. Наложение вариаций солнечной активности на циклы и периоды орбитального движения способны в каждый данный момент времени изменять сценарий развития земного климата.

Около 11 000 лет назад начался очередной период прецессии, во время которого сформировалась наша цивилизация. Особенности этого периода заключаются в двух параллельно идущих процессах: уменьшении угла наклона земной оси и эксцентриситета орбиты Земли.

Уменьшение угла наклона земной оси влечёт за собой расширение зон тропиков, субтропиков и средней полосы, а также приводит к сокращению площадей, очерченных Северным и Южным полярным кругом.

Уменьшение эксцентриситета орбиты снижает контраст полярной зимы и полярного лета. Вместе оба процесса ведут к снижению температурных контрастов между климатическими зонами.

Особенности текущего периода прецессии приведены в *таблице*.

Особенности орбитального движения Земли в начале, в середине и в конце текущего периода прецессии. Продолжительность периода — 22 000 лет

		8980 г. до н. э.	2020 г.	13 020 г.
Наклон земной оси, град		24,25	23,4	22,52
Эксцентриситет орбиты		0,0195	0,017	0,0115
Расстояние от Земли до Солнца	в перигелии, млн км	147,1	147,5	148,3
	в афелии, млн км	152,9	152,5	151,7
Секундная инсоляция единицы площади Северного полюса	в перигелии, Вт·м ⁻²	556	534	509
	в афелии, Вт·м ⁻²	514	499	487
Контраст экваториальной зимы и лета, %		8,2	7,0	4,5
Путеводная звезда севера		Вега	Полярная	Вега

В первой половине текущего периода прецессии наша планета, пройдя через серию небольших по величине и по времени потеплений и похолоданий, вышла из большого ледникового периода и вернулась к доледниковым значениям среднегодовой температуры. То есть условия, создаваемые космическими факторами и способствовавшие повышению среднегодовой температуры, неизменно сохранялись. Нет оснований думать, что они изменятся в обозримом будущем. И всё-таки, что же будет дальше? Каким будет климат через 100 или через 1000 лет?

В настоящей статье уже упоминался прогноз ГАО РАН (см. *рис. 2*), предсказывающий заметное похолодание к середине XXI в. Приведём ещё один прогноз, сделанный другой весьма

авторитетной организацией — Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (англ. National Oceanic and Atmospheric Administration — NOAA). На *рис. 9* показан пример реконструкции прошлого и прогноз на будущее ледового покрова в районе Северного полюса.

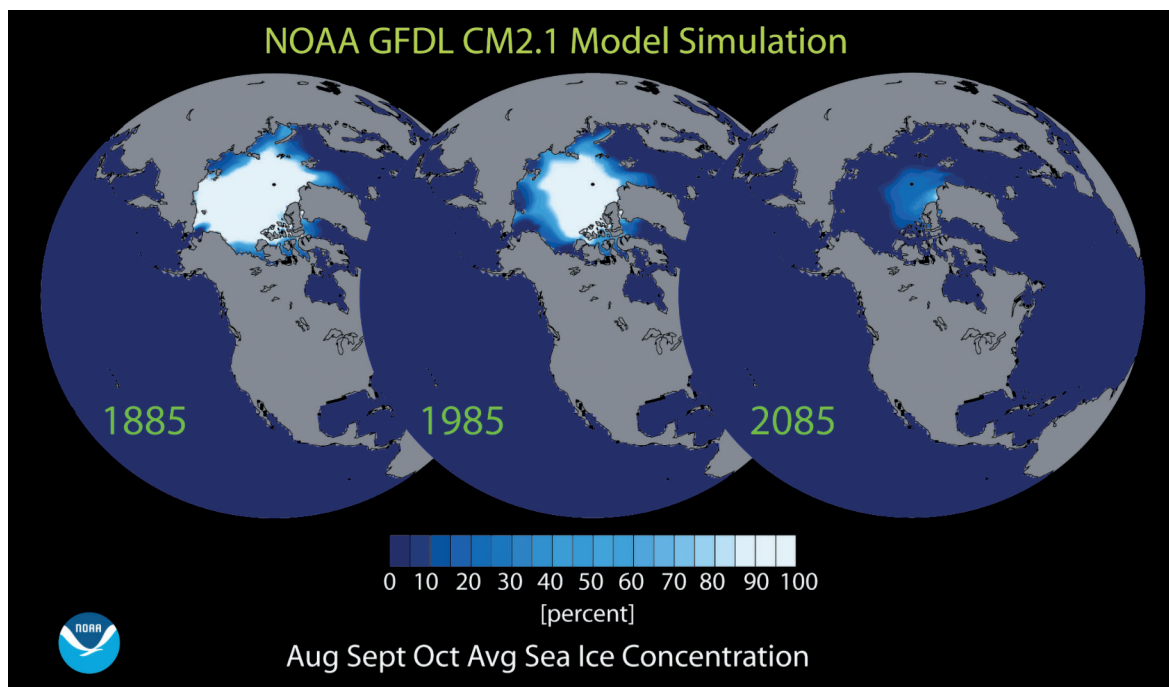


Рис. 9. Реконструкция прошлого и прогноз будущего состояния ледового покрова в районе Северного полюса

В соответствии с прогнозом NOAA Северный ледовитый океан в середине XXI в. в летнее время будет свободен ото льдов.

Какой из этих двух прогнозов верен? Или правы оба источника? Может быть, несмотря на общее снижение среднегодовой температуры, климат северной приполярной области окажется способным растопить льды?

К сожалению, мы пока не можем ответить на этот вопрос. Ответ на него и на другие подобные вопросы должно дать математическое моделирование. Условия для создания достоверной модели климата на нашей планете постепенно складываются, а в части космических факторов они уже сложились. Существующая модель движения планеты в поле тяготения позволяет с высокой точностью рассчитать её положение по отношению к Солнцу на любой момент времени в пределах миллионов лет в прошлом и будущем. Существуют и космические аппараты, способные в реальном времени с высокой точностью измерять поток солнечной энергии на верхней границе земной атмосферы. Таким образом, появилась возможность создания динамической модели инсоляции нашей планеты.

С земными факторами дело обстоит хуже. Пока не поддаётся прогнозированию вулканическая активность недр Земли. Очень трудно моделировать взаимодействие океана и атмосферы. Нельзя поручиться и за антропогенный фактор. Угроза ядерной войны на нашей планете до сих пор не ликвидирована.

Если же исключить из рассмотрения астероидную опасность, вулканический и атомный апокалипсис, то можно утверждать, что ничего катастрофического в ближайшем будущем природа нам не готовит. Максимум, чего можно ожидать от неё, — это повторения малого ледникового периода, после которого вновь начнётся потепление. Природа даёт нам время, чтобы постепенно подготовиться к более серьёзным изменениям климата в кажущемся нам далёким будущем.

В порядке обсуждения вопросов моделирования климата рассмотрим графики, приведённые на *рис. 10* (Loulergue et al., 2008).

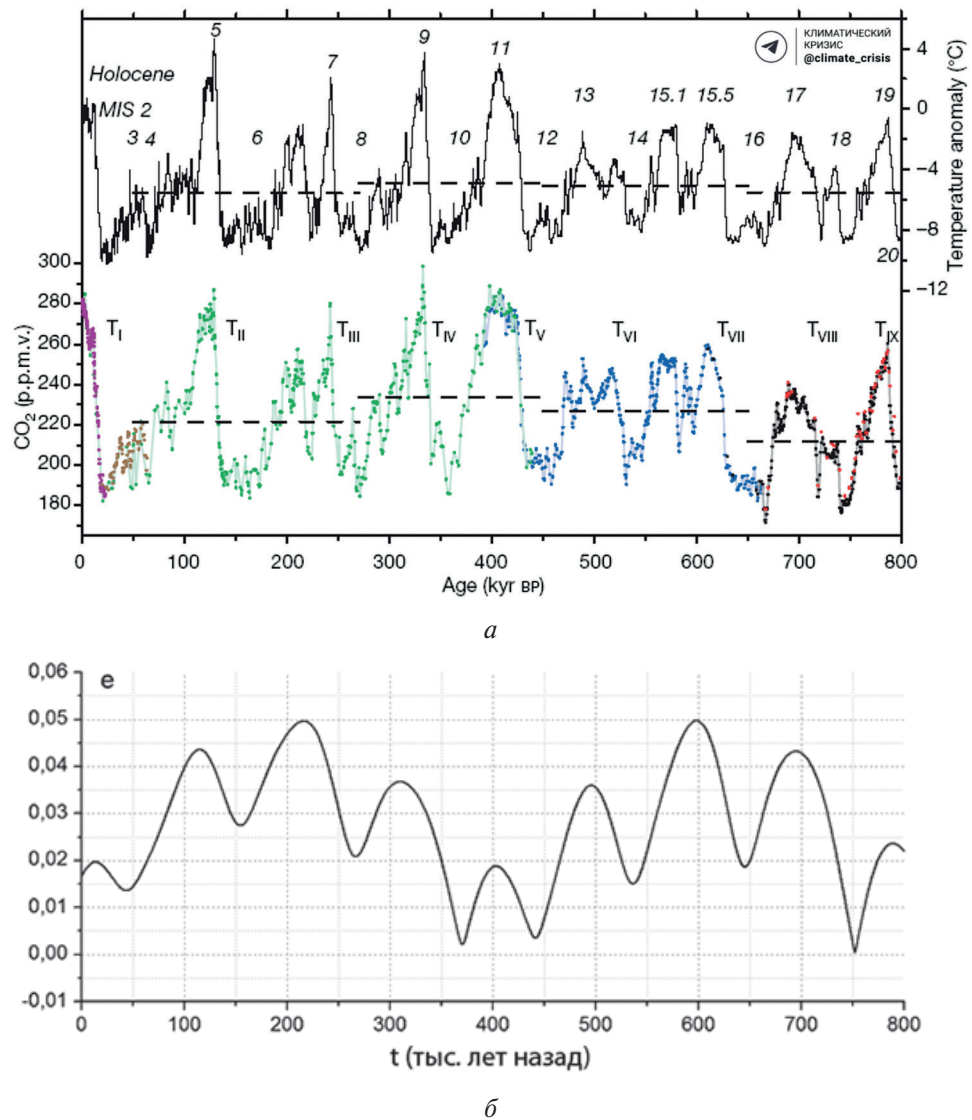


Рис. 10. Ход температурной аномалии (*а, сверху*); содержание CO₂ в пузырьках воздуха и действия во льду Антарктиды (*а, внизу*). Разным цветом окрашены данные, полученные разными методами и из разных мест (Loulergue et al., 2008). Изменение эксцентриситета орбиты Земли на том же отрезке времени (*б*)

Все три графика неплохо коррелированы между собой, и это вряд ли случайность. Не будем настаивать, но синхронность хода температуры и изменения содержания CO₂ в атмосфере с периодами изменения эксцентриситета орбиты Земли подтверждают возможность реконструкции климата прошлого и создания на этой основе хотя бы приближённого прогноза его развития в будущем.

Проблема прогноза ключевых параметров климата во всех уголках планеты сейчас более чем актуальна. Неслучайно, что Нобелевская премия 2021 г. по физике за открытия в области моделирования климата Земли была присуждена трём учёным: Сюкуро Манабе (*яп. 真鍋 淑郎* Манабэ Сюкуро), Клаусу Хассельману (*нем. Klaus Hasselmann*) и Джорджио Паризи (*итал. Giorgio Parisi*). Климатические карты на столетия и тысячелетия вперёд позволят лучше понять условия существования человечества в будущем и то, на какие ресурсы оно сможет рассчитывать.

В заключение напомним, что слово «космос» тоже греческого происхождения. В переводе на русский κόσμος значит «мир», «порядок» как противоположность хаосу. Людям следовало бы признать и подчиниться главным действующим в космосе законам, таким как порядок, стабильность, предсказуемость, а заодно и толерантность. Связанные законами гравитации планеты-гиганты, малые тела Солнечной системы и планеты земной группы миллиарды лет вынуждены всё время чуть-чуть уступать друг другу. И ничего...

Изменения климата в любую сторону обязательно ведут к проблемам, преодоление которых потребует огромных затрат. Несомненно, необходимо принять меры к сокращению всех видов загрязнений окружающей среды, сократить выбросы парниковых газов, постепенно уйти от использования ископаемого углеводородного сырья. При этом не следует исключать возможность промышленного производства экологически чистого топлива из атмосферного углерода с привлечением других возобновляемых источников энергии, например солнечных и ветровых электростанций.

Международные соглашения по климату, несомненно, следует воплощать в жизнь. Но они охватывают лишь часть проблемы. На самом деле необходимо создать скоординированную программу последовательной адаптации всего промышленного производства, транспортной инфраструктуры и всей среды обитания к надёжной работе в расширенном диапазоне климатических условий. Отдельная ветвь промышленности должна была бы заняться отбором и хранением парниковых газов.

Из всего вышеизложенного ясно одно: перед человечеством стоит очень масштабная задача, от решения которой, возможно, зависит само его выживание в той форме индустриального бытия, которую оно само для себя выбрало. Впрочем, есть и другой путь — обратно в пещеру...

Хочется верить, что человечество найдёт в себе силы снизить накал внутривидовой борьбы и сможет направить свои интеллектуальные способности и ресурсы на своевременную адаптацию всей промышленной инфраструктуры и среды обитания к условиям для жизни в изменчивом климате нашей планеты.

Литература

1. Абдусаматов Х. И. О долговременных скоординированных вариациях активности, радиуса, светимости Солнца и климата // Тр. 7-й Международ. конф. по физике солнца «Климат. и эколог. аспекты солнеч. активности». СПб.: ГАО РАН, 2003. С. 3—10.
2. Абдусаматов Х. И. Об уменьшении потока солнечного излучения и понижении глобальной температуры Земли до состояния глубокого похолодания в середине XXI века // Изв. Крымской астрофизической обсерватории. 2007. Т. 103. № 4. С. 292—298.
3. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебания климата: пер. с нем.; пер. А. Х. Хргиана; под ред. С. Л. Бастматова. М.; Л.: ГОНТИ, 1939. 207 с.
4. Михайлов М. В., Константинов И. А. Новое представление вектора состояния и уравнений движения космических аппаратов. Экономичные по времени и памяти высокоточные алгоритмы интегрирования уравнений движения // 22-я Научно-техн. конф. ученых и специалистов «РКК Энергия», посвященная 60-летию полета Ю. А. Гагарина, 75-летию ракетно-космической отрасли и основанию ПАО «РКК Энергия». 9—11 нояб. 2021.
5. Семенов С. М. Парниковый эффект и его антропогенное усиление // Солнечно-земная физика. 2012. № 21(134). С. 10—17.
6. Behringer W. Kulturgeschichte des Klimas: Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung. München: C. H. Beck, 2007. 352 s.
7. Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A. C. M., Levrard B. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth // Astronomy and Astrophysics. 2004. V. 428. No. 1. P. 261—285. DOI: 10.1051/0004-6361:20041335.
8. Loulergue L., Schilt A., Spahni R., Masson-Delmotte V., Blunier Th., Lemieux-Dudon B., Barnola J.-M., Raynaud D., Stocker Th., Chappellaz J. Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH₄ over the past 800,000 years // Nature. 2008. V. 453. P. 383—386.
9. Westerhold T., Marwan N., Drury A. J., Liekebrand D., Agnini C., Anagnostou E., Barnett J. S. K., Bohaty S. M., Vleschouwer D. D., Florindo F., Frederichs T., Hodell D. A., Holbourn A. E., Kroon D., Lauretano V.,

Littler K., Lourens L. J., Lyle M., Pälike H., Röhl U., Tian J., Wilkens R. H., Wilson P. A., Zachos J. C. An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years // Science. 2020. V. 369. Iss. 6509. P. 1383–1387. DOI: 10.1126/science.aba6853.

Human and climate

G. A. Avanesov¹, M. V. Mikhailov²

¹ Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: genrikh-avanesov@yandex.ru

² S. P. Korolev Rocket and Space Corporation "Energia"
Korolev 141070, Moscow Region, Russia

Paleontological studies of the distant past and historical chronicles of the last millennia indicate that warming and cooling of the climate on our planet, replacing each other, went in a continuous series. An important role in this process has been and is played by cosmic factors: variations in solar activity and parameters of the Earth's orbital motion in the gravitational field of the Sun and the planets of the Solar System. It is suggested that the currently observed climate change is associated with a decrease in the eccentricity of the Earth's orbit and the inclination of the axis of its rotation relative to the plane of the ecliptic, which has been going on for almost 30 thousand years. Both processes lead to changes in the boundaries of climatic zones. In the foreseeable future, these processes will go in the same direction. Therefore, the current trend towards climate change will continue. Despite the importance of addressing the problem of reducing greenhouse gas emissions as soon as possible, the article expresses doubts about the possibility of fending off climate warming in this way. It is proposed to focus on the development of mathematical climate models taking into account space factors and on finding the best ways to adapt industry, transport systems and the environment to the conditions of expected climate change.

Keywords: Earth, Sun, orbit, precession, eccentricity, incoming radiation, climate, Milankovitch cycles, global warming, ice age

Accepted: 09.06.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-3-9-20

References

1. Abdusamatov Kh. I., On long-term coordinated variations in activity, radius, solar luminosity and climate, *Trudy 7-i Mezhdunarodnoi konferentsii "Klimaticheskie i ekologicheskie aspekty solnechnoi aktivnosti"* (Proc. 7th Intern. Conf. "Climatic and ecological aspects of solar activity"), Saint Petersburg: GAO RAN, 2003, pp. 1–19 (in Russian).
2. Abdusamatov Kh. I., On a decrease in the flux of solar radiation and a decrease in the global temperature of the Earth to a state of deep cooling in the middle of the 21st century, *Izvestiya Krymskoi astrofizicheskoi observatorii*, 2007, Vol. 103, No. 4, pp. 292–298 (in Russian).
3. Milanković M., *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen*, Köppen W., Geiger R. (eds.), Berlin: Borntraeger, 1930, 176 s. (in German).
4. Mikhailov M. V., Konstantinov I. A., New representation of the state vector and equations of motion of space vehicles. Time- and memory-efficient high-precision algorithms for integrating equations of motion, *XXII Nauchno-tehnicheskaya konferentsiya RKK "Energia"* (XXII Scientific and Technical Conf. RSC Energia), 9–11 Nov. 2021 (in Russian).
5. Semenov S. M., Greenhouse effect and its anthropogenic enhancement, *Solnechno-zemnaya fizika*, 2012, No. 21(134), pp. 10–17 (in Russian).
6. Behringer W., *Kulturgeschichte des Klimas: Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung*, München, C. H. Beck, 2007, 352 s.

7. Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A.C.M., Levrard B., A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth, *Astronomy and Astrophysics*, 2004, Vol. 428, No. 1, pp. 261–285, DOI: 10.1051/0004-6361:20041335.
8. Louergue L., Schilt A., Spahni R., Masson-Delmotte V., Blunier Th., Lemieux-Dudon B., Barnola J.-M., Raynaud D., Stocker Th., Chappellaz J., Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH₄ over the past 800,000 years, *Nature*, 2008, Vol. 453, pp. 383–386.
9. Westerhold T., Marwan N., Drury A.J., Liebrand D., Agnini C., Anagnostau E., Barnet J.S.K., Bohaty S.M., Vleeschouwer D.D., Florindo F., Frederichs T., Hodell D.A., Holbourn A.E., Kroon D., Lauretano V., Littler K., Lourens L.J., Lyle M., Pälike H., Röhl U., Tian J., Wilkens R.H., Wilson P.A., Zachos J.C., An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years, *Science*, 2020, Vol. 369, Issue 6509, pp. 1383–1387, DOI: 10.1126/science.aba6853.