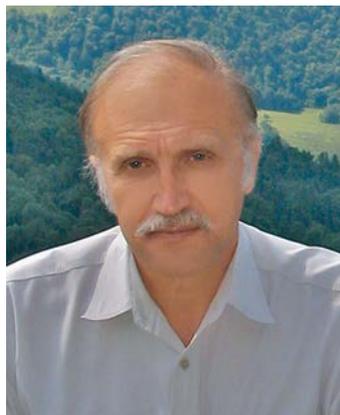


Изменения климата: причины и прогноз

Б.Г. ШЕРСТЮКОВ,
доктор географических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных

В статье затрагивается проблема изменения современного климата и приводятся гипотезы объяснения причин этих изменений. Главной их причиной автор считает природные колебания климатической системы на собственных частотах, поддерживаемые воздействиями внешних факторов. Их статистическое описа-



ние легло в основу авторской прогностической модели климата на ближайшие два десятилетия. В 2006 г. по модельным расчетам было предсказано замедление глобального потепления до 2025 г., а также большие аномалии температуры в 2009–2010 гг. и в 2015 г.; все прогнозы оправдались.

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Долгое время в современной истории климат считался стабильным по своей природе. Но в 1920-х гг. появилось много сообщений о признаках потепления в Арктике. В 1921 г. знаменитый исследователь морей, заслуженный деятель науки

и техники, почетный член Академии наук СССР Н.М. Книпович (1885–1939) выявил, что воды Баренцева моря стали заметно теплее, вечные льды стали отступать на север. Сначала даже считалось, что потепление касается только Арктической области. Позднее было отмечено, что это было глобальное потепление. Так, в Западной Гренландии

температура повысилась на 5°C, на Шпицбергене даже на 8–9°C в 1912–1926 гг. и до конца 1930-х гг. Наибольшее глобальное повышение средней температуры у поверхности Земли во время кульминации потепления составляло 0,6°C.

После 1940-х гг. стала проявляться тенденция к похолоданию. Граница вечных льдов в Северном

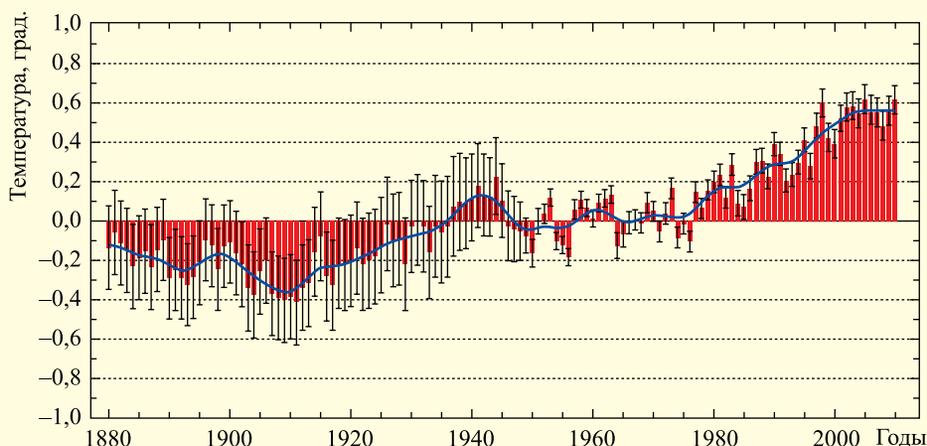


График аномалии глобальной температуры Земли в 1880–2010 гг., по данным Национального климатического центра данных США (NCDC) и Управления океанических и атмосферных исследований (NOAA).

полушарии стала снова смещаться к югу. Это выразилось в росте площади ледяного покрова Северного Ледовитого океана. С начала 1940-х гг. и до конца 1960-х гг. площадь льда в арктическом бассейне возросла на 10%. Потепление сменилось в середине XX в. непродолжительным и несильным похолоданием. В научной среде мнения о прогнозе дальнейших изменений климата разделились: одни высказывали предположения о дальнейшем похолодании к концу XX в., а другие — о возобновлении потепления.

С середины 1970-х гг. началось второе за историю инструментальных на-

блюдений глобальное повышение температуры, но в некоторых публикациях (вплоть до начала 1990-х гг.) сам факт появления второй волны потепления долго оспаривался. К концу XX в. это явление было признано научным сообществом. Однако в начале XXI в. рост температуры приостановился. Так уже было ранее, на пике первого глобального потепления, которое тогда сменилась фазой похолодания. Современное замедление в потеплении длится уже около 16 лет. Что будет после паузы? Возник принципиальный вопрос: изменение климата или его колебание мы наблюдаем?

Осознание свершившихся климатических перемен всегда происходило с большим отставанием. Сегодня значимость паузы в потеплении климата признают не все. Замедление в потеплении кто-то считает временным

незначительным проявлением “внутренней изменчивости” температуры, за которой последует дальнейшее повышение температуры, способное растопить многолетние льды Арктики. Другие специалисты видят в паузе начало новой фазы понижения глобальной температуры, максимум которого пришелся на рубеж XX в.

АНТРОПОГЕННАЯ ГИПОТЕЗА

Второе потепление пришлось на годы интенсивной индустриализации в мире. Тенденция повышения температуры совпала с ростом численности населения Земли и повышением количества промышленных выбросов углекислого газа в атмосферу. Усилился суммарный парниковый эффект от воздействия всех парниковых газов атмосферы (это, прежде всего, водяной пар и CO₂ природного происхождения, метан).

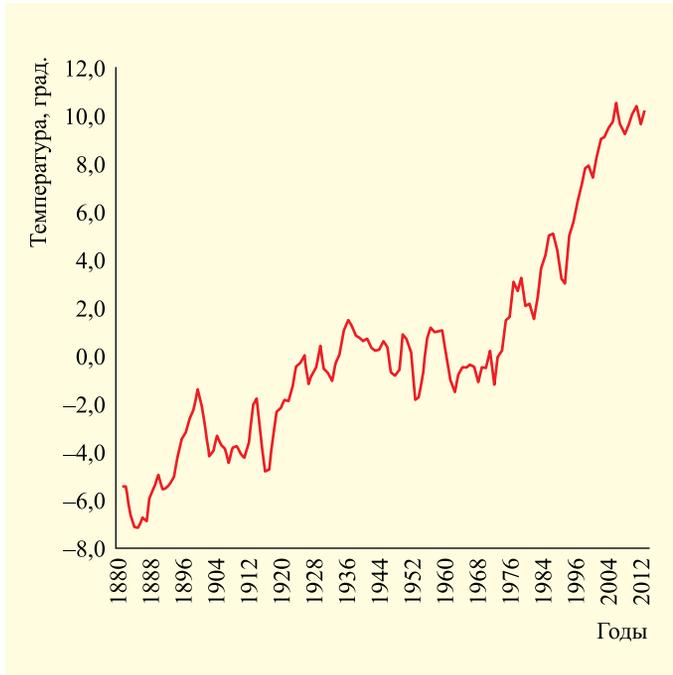
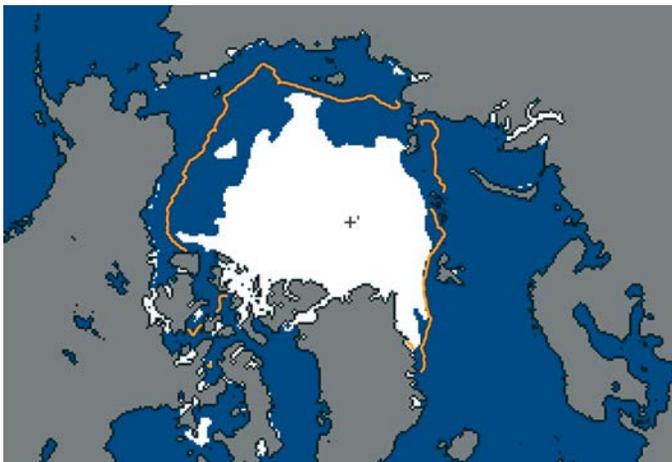


График изменения температуры воздуха в Северном полушарии Земли (сглажено по трем годам). Хорошо заметны две волны потепления: первая – в 1930-х гг., вторая – начиная с 1970-х гг.

Появились физико-математические модели (с элементами эмпирического подбора коэффициентов), в которых удалось добиться сходства модельной тенденции изменения средней температуры на планете во второй половине XX в. с фактической

тенденцией. Основным внешним фактором, влияющим на климат, в моделях определен антропогенный углекислый газ. Другие внешние факторы учесть не удалось из-за отсутствия понимания механизмов их воздействия на климатическую

систему. Не вполне удалось описать в моделях физико-географические особенности происходящих изменений климата по регионам, поэтому за последние десятилетия XX в. ошибки в модельных оценках средних значений температуры воздуха в некоторых регионах Земли достигают ± 5 °С. Современную затянувшуюся паузу в потеплении по тем же модельным расчетам также не удалось заблаговременно предсказать. Тем не менее прогностические сценарии ожидаемых однонаправленных и неизбежных катастрофических климатических перемен к концу XXI в., рассчитанные по этим моделям, считаются основными.



ПРИРОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА

Сомнение в безоговорочной антропогенной природе современного потеп-

Распространение льда в Северном полушарии Земли в сентябре 2015 г. Желтой линией показано среднее положение (за 1981–2010 гг.) границы льда. Крестиком обозначен Северный полюс.

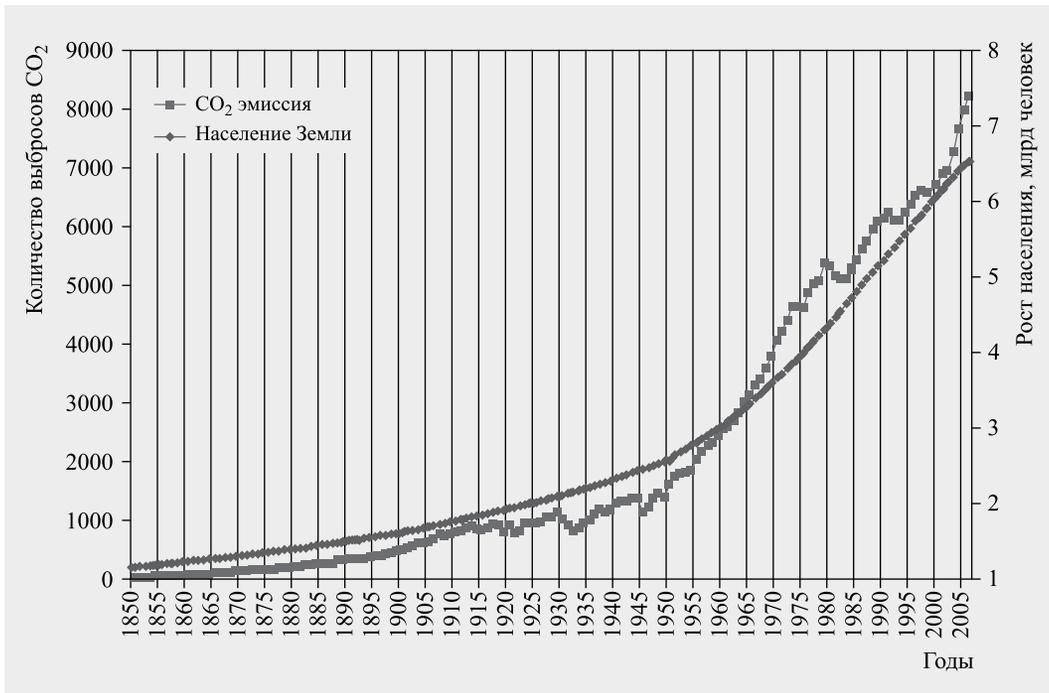


График роста численности населения Земли и эмиссии углекислого газа.

ления основано на исторических фактах колебания климата за много столетий. Подобные и более значительные повышения температуры наблюдались много раз в прошлом и каждый раз сменялись похолоданием. Содержание парниковых газов в атмосфере, действительно, возросло за последние 100 лет, и потепление наблюдалось в эти годы. Но какова связь между ними?

По данным академика В.М. Котлякова, концентрация парниковых газов и средняя температура воздуха на Земле

в прошлом всегда изменялись согласовано, как это следует из анализа ледяных кернов за много столетий (Земля и Вселенная, 2010, № 5). Нынешнее изменение температуры не выходит за рамки ее естественных исторических флуктуаций в доиндустриальную эпоху, когда не было антропогенного парникового газа.

Данные регулярных инструментальных наблюдений за температурой воздуха во многих регионах Земли имеют преимущественно не ранее, чем с конца XIX в., и точно известно, что в этот период произошли уже две волны глобального потепления. Но в центральной Англии сведения о температуре известны с XVII в.,

там можно проследить ее вариации за 350 лет.

В доиндустриальную эпоху XVII–XIX вв., по данным наблюдений, в центральной Англии наблюдались три волны вековых колебаний климата, а во второй половине XX в. там же, как и на всей Земле, началась фаза потепления четвертой волны, которая достигла максимума к концу XX в., но далее наступила пауза.

Что будет дальше? До сих пор за повышением температуры следовала фаза ее понижения. Может ли теперь быть иначе?

Если экстраполировать природные колебания, то в предстоящие десятилетия следует ожидать перехода к фазе понижения температуры.



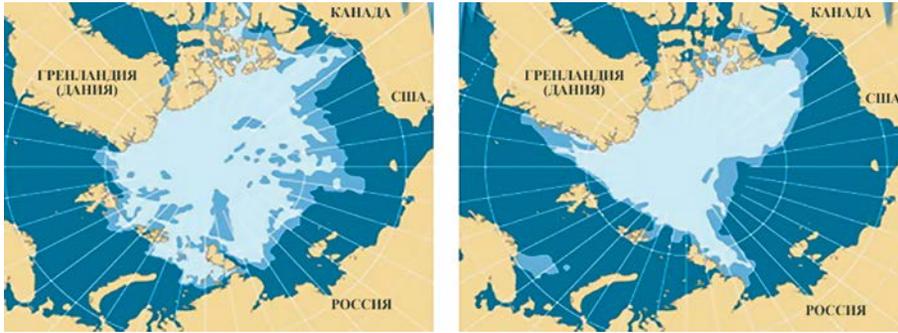
Если верна антропогенная гипотеза – тогда потепление продолжится. Наиболее вероятным представляется третий вариант развития событий: вслед за паузой и незначительным временным похолоданием климата (как это уже было в 1950–1960-е гг.) начнется третья глобальная потепление климата, но оно не будет столь мощным, как предсказано на основе антропогенной гипотезы. В основу такого предположения положено наличие природного 60-летнего цикла в климатической системе, который был основной причиной как первого, так и второго глобальных потеплений XX в. Вычислить антропогенный

вклад в такое изменение климата крайне сложно.

Увеличение количества CO_2 в атмосфере зависит не только от деятельности человека; концентрация CO_2 в атмосфере подвержена природным колебаниям. При оценке вклада антропогенного CO_2 в наблюдающееся повышение температуры очень важно точно учитывать общий баланс CO_2 на границе океан–атмосфера. По известным законам физики, в зависимости от температуры верхнего слоя океана, CO_2 атмосферы усиленно растворяется в океане при похолодании, а при потеплении – выделяется из океана в атмосферу.

В Англии, когда слой льда становился достаточно прочным, люди выходили на реку для прогулок и развлечений, торговали, катались на коньках, проводили ярмарки. Гравюра XVII в.

По данным академика Р.И. Нигматулина, величины природных межсезонных потоков CO_2 , “мигрирующих” из океана в атмосферу и из атмосферы в океан, в 60–80 раз превышают антропогенные выбросы CO_2 в атмосферу за весь XX в. Для точного учета сезонных потоков CO_2 на границе океан–атмосфера необходимы очень подробные сведения о состоянии мирового океана, вплоть до его больших глубин.



Карта таяния льдов в Арктике в 2003 г. (близкий к среднему минимум прошлых лет) и в 2007 г. (абсолютный минимум за весь период наблюдений). Белым цветом показаны льды толщиной более 1 м, серым – менее 1 м. Тенденция к сокращению арктических льдов сохраняется.

Измерения характеристик океана проводятся, но их недостаточно; точные оценки получить проблематично. Модели океана еще менее точны. Можно ли быть уверенным, что существующие несовершенные его модели с исчерпывающей точностью описывают состояние верхнего слоя океана так, чтобы правильно оценить баланс естественных сезонных и долгопериодических колебаний концентрации CO_2 в океане и в атмосфере.

С учетом естественных процессов перехода CO_2 из океана в атмосферу и обратно изменение общей концентрации CO_2 в атмосфере можно рассматривать в значительной мере как следствие потепления климата, а не как его причину.

Таким образом, признавая наличие антропогенной составляющей в современных изменениях климата, нельзя

отбрасывать естественные его колебания, которые всегда были и останутся. По мнению академика В.М. Котлякова, *“каковы бы ни были антропогенные изменения климата, они накладываются на его естественные вариации, масштаб которых все еще сильно превосходит влияния, обусловленные эмиссией парниковых газов... Понимание и предсказание последствий роста концентрации парниковых газов в атмосфере (так называемое глобальное потепление вследствие парникового эффекта) требует понимания естественной изменчивости природных процессов, на которые накладывается антропогенное влияние”*.

По данным наблюдений на полутора тысячах метеорологических станциях России, автором были выполнены исследования влияния повышения концентрации CO_2 (во второй

половине XX в.) на повышение температуры воздуха. Проводились статистические эксперименты, в результате которых на основе специальных выборок и обобщений нивелировались влияния адвекции тепла, парникового эффекта водяного пара и облачности на изменения температуры воздуха на разных широтах и в разных сезонах, а также оценивалась зависимость изменений температуры от радиационного баланса у поверхности Земли. Смысл статистического эксперимента заключался в том, чтобы исключить колебания температуры воздуха, связанные с воздействием известных природных факторов; после этого оставшиеся колебания температуры можно рассматривать как результат изменения радиационного баланса при изменении концентрации CO_2 в атмосфере. Иначе говоря,

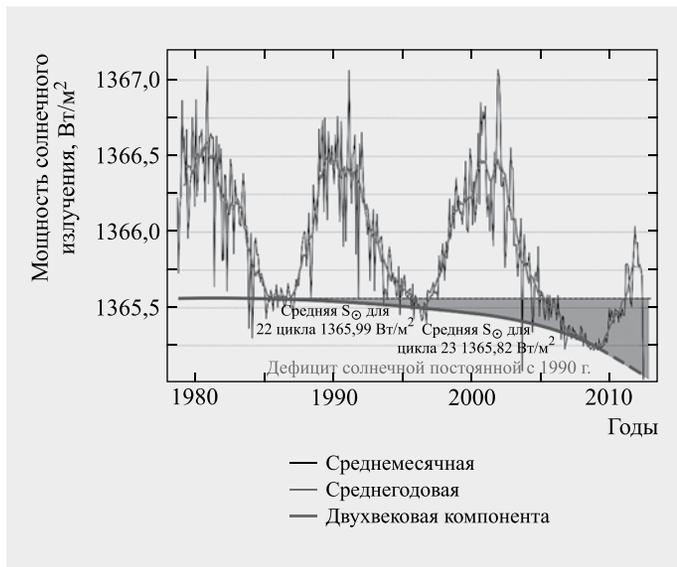


График изменения солнечной постоянной в 11-летнем цикле.

прежде всего, притоком солнечной энергии (при существующих астродинамических параметрах Земли). Поэтому первыми двумя условиями постоянства климата являются сохранение светимости Солнца и параметров орбиты Земли. На самом деле ни то, ни другое не может быть строго постоянным, наблюдаются их малые вариации. В начале 1980-х гг. была обнаружена переменность солнечной постоянной, связанная с 11-летним солнечным циклом. При высокой солнечной активности на светиле увеличивается число пятен, от площади которых зависит светимость Солнца и изменение солнечной постоянной. По данным заведующего сектором космических исследований Солнца ГАО РАН доктора физико-математических наук Х.И. Абдусаматова, вариации солнечной постоянной составляют 0,07%. Вопрос о влиянии столь малых вариаций солнечной постоянной остается дискуссионным и сводится к проблеме «чувствительности» климатической системы к ним.

Вариациями светимости Солнца не исчерпывается изменение солнечной активности. Солнце выделяет в космическое

специальная статистическая обработка позволяет из всего объема колебаний температуры выделить только те изменения, которые являются следствием изменения концентрации CO_2 в атмосфере. Оказалось, что под влиянием изменения концентрации CO_2 происходили изменения температуры воздуха, которые составили около 25% от общей изменчивости температуры.

Итак, данные наблюдений подтвердили влияние повышенной концентрации парниковых газов на потепление климата во второй половине XX в., но одновременно показали, что изменения количества антропогенного CO_2 в атмосфере не могли быть главной причиной потепления климата в этот период. Данные наблюдений не подтверждают выводы о доминирующей

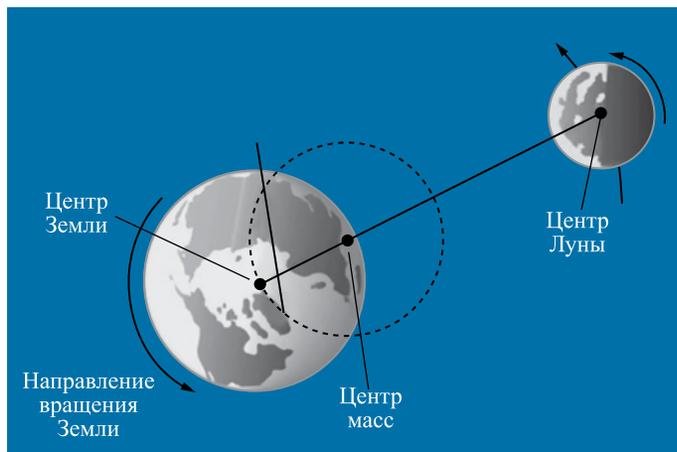
роли усиления парникового эффекта в потеплении климата в XX в. Необходимы более глубокие исследования климатической системы и факторов, способных влиять на нее.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОСТОЯНИЕ КЛИМАТА

История климата – это история его колебаний. Потепление климата в XX в. – по сути, продолжение этой истории. Любые колебания должны иметь свои причины. Климатическая система обладает свойствами колебательной системы, и на нее распространяется теория колебаний. В природе все колебания неизбежно затухают и должны прекратиться через некоторое время (если нет внешнего фактора, их поддерживающего). Климат Земли определяется,

Схема движения Земли и Луны вокруг их общего центра масс.

пространство не только электромагнитное излучение, определяющее его светимость, оно – также источник потоков заряженных частиц и модуляторов галактических потоков высокоэнергичных частиц, называемых космическими лучами. Солнечные заряженные частицы достигают Земли и воздействуют (особенно в высоких широтах) на ее магнитосферу и верхнюю атмосферу. Они способны создавать возмущения в атмосферной циркуляции с вытекающими последствиями для погоды и климата. Космические лучи способны проникать в нижнюю тропосферу и непосредственно там создавать возмущения в атмосферной циркуляции, в погоде и климате. Межпланетные магнитные поля модулируются солнечной активностью и влияют на приток заряженных частиц, исходящих от Солнца и поступающих из космоса в магнитосферу и атмосферу. С учетом всей сложности явления, которое подразумевается под словами “солнечная активность”, совершенно недостаточно только по данным о светимости Солнца судить о его воздействии на климатическую систему. В качестве



сравнения – никто еще не придумал по светимости экрана телевизора судить о влиянии телевидения на общество; данные процессы значительно сложнее.

Не менее важную роль в вариациях климата играет количество поглощенной поверхностью Земли солнечной радиации. С астрономической точки зрения, оно определяется углом падения солнечных лучей на поверхность Земли, зависящим от угла наклона земной оси к эклиптике. В результате взаимодействия Земли с Луной и планетами возникают вариации параметров орбитального движения Земли и наклона земной оси. При этом изменяются условия поглощения солнечной радиации, длительность сезонов и, соответственно, меняется годовой суммарный приток солнечного тепла в климатическую систему.

Астродинамические условия – основа форми-

рования радиационных составляющих климата планеты. Вариации в параметрах орбитального движения Земли и наклона земной оси могут сопровождаться не только радиационными, но и динамическими возмущениями во всех оболочках Земли. Наша планета всегда испытывает повторяющиеся переменные гравитационные воздействия со стороны других тел Солнечной системы. В результате таких воздействий параметры движения Земли никогда не остаются постоянными. Возмущения могут значительно отличаться по величине и по продолжительности – от нескольких дней до многих тысячелетий. Величины изменений параметров движения Земли зависят от массы возмущающих тел и расстояния до них. Поэтому в движении Земли наиболее сильные возмущения создают ближайšie к ней тела – Луна, Венера, Марс и массивный

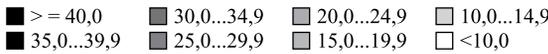
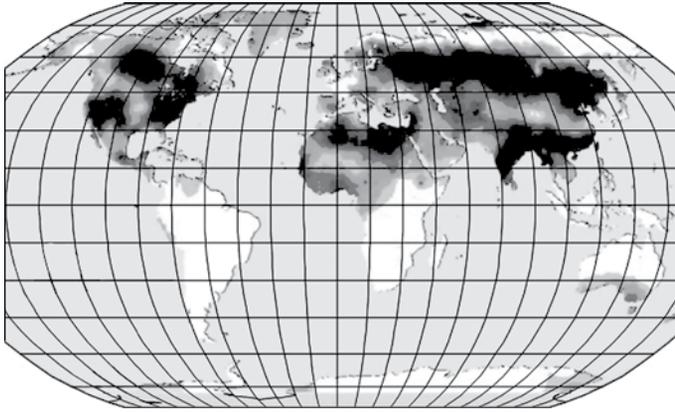


График количественной оценки влияния склонения Луны на общую дисперсию аномалий температуры воздуха (%) в июне–июле, по многолетним данным. Разными оттенками темного цвета выделены регионы на Земле, где “вклад” изменения склонения Луны в изменчивость температуры воздуха составляет 25–40%.

Юпитер. Вопрос заключается в том, являются ли эти вариации настолько существенными, чтобы заметно влиять на колебания климата Земли?

ВЛИЯНИЕ ЛУНЫ НА КЛИМАТ

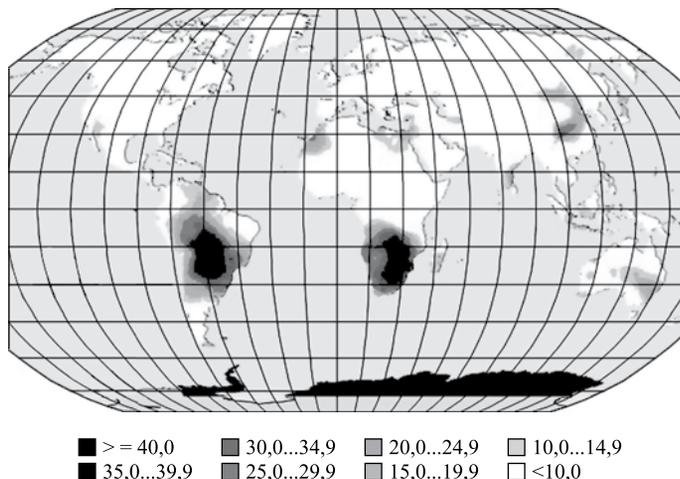
Наибольшие возмущения в движении Земли создает Луна. Положение оси вращения Земли и ее наклон имеют важнейшее значение для формирования атмосферной и океанической циркуляций. В упрощенном представлении Луна вращается вокруг Земли, на самом деле Земля и Луна вращаются вокруг их общего центра масс. Под действием Луны ось вращения системы Земля–Луна никогда не проходит через центр Земли и может смещаться относительно центра в сторону Луны примерно на 4670 км. В результате возникает центробежная сила, которая действует на нашу планету. Совместное дей-

ствие центробежной силы и силы притяжения Луны создает приливную силу и приливы в твердом теле Земли, в океане и в атмосфере. Величина приливной силы является функцией, зависящей от склонения и геоцентрического расстояния Луны. Лунные приливы приводят к растяжению всех оболочек Земли (литосферы, океана, атмосферы) в сторону Луны на географической широте, равной склонению Луны и в диаметрально противоположную сторону. При растяжении Земли огромные массы литосферы и океана удаляются на некоторое расстояние от оси ее вращения, момент инерции увеличивается, при этом неизбежно замедляется вращение Земли вокруг своей оси (так как произведение момента инерции на угловую скорость – величина постоянная). Изменение скорости вращения Земли

при изменении склонения Луны сопровождается “перестройкой” общей атмосферной циркуляции, а также изменением пространственного распределения воздушных потоков и температуры воздуха на планете.

За один оборот вокруг Земли Луна проходит путь от максимального положительного склонения (при положении Луны в северной полусфере) до наибольшего отрицательного склонения (в южной полусфере). Для оценки температурного эффекта, вызванного изменением склонения Луны, автором применялся метод “наложения эпох”. Для появления температурных вариаций существует множество причин. Были проанализированы отклонения температуры от ее годового хода под воздействием Луны на общем фоне колебаний другой природы. Основываясь на многолетних ежедневных данных

График количественной оценки влияния склонения Луны на общую дисперсию аномалий температуры воздуха (%) в декабре, по многолетним данным. Зимой в Северном полушарии Земли на фоне общей изменчивости температуры влияние Луны не проявляется.



об аномалиях температуры воздуха и о склонении Луны, были вычислены средние значения отклонений температуры от нормы для каждого земных суток за время движения Луны – от момента ее максимального положительного до максимального отрицательного склонения. Отношение “разброса” этих средних значений к общим колебаниям температуры воздуха показало долю (в процентах) влияния склонения Луны на изменения температуры воздуха относительно ее общей изменчивости. В этом исследовании использовались данные о склонении Луны и о температуре воздуха на 8376 метеорологических станциях.

Все области нашей планеты, испытывающие заметное влияние Луны на температуру воздуха летом, находятся в Северном полушарии. Зимой там влияние Луны не

проявляется на фоне общей изменчивости температуры. В декабре в Южном полушарии – лето, в это время в Южной Америке и на юге Африки становится заметным влияние Луны на температуру воздуха. Объяснение простое: известно, что в силу различий зимой и летом градиентов температуры воздуха между экватором и полюсом (а также сезонных особенностей формирования общей циркуляции атмосферы) общая изменчивость температуры воздуха зимой всегда больше, чем летом. Воздействие Луны на атмосферные процессы происходит во все сезоны и в Северном, и в Южном полушариях. Зимой в соответствующем полушарии возрастает общая изменчивость температуры воздуха, и на этом фоне относительный вклад Луны оказывается меньше. Летом – наоборот, общая дисперсия уменьшается,

и влияние Луны становится заметным на пониженном фоне общей изменчивости температуры. Это – один из возможных примеров влияния небесно-механических циклических систем на климатическую систему. Общая картина циклических внешних воздействий значительно сложнее и мало изучена. Вариации лунных воздействий имеют циклические составляющие (8–9 лет и 18–19 лет). Венера, Марс, Юпитер (и, возможно, другие планеты) тоже считаются “возмутителями спокойствия” Земли. Вопросы эффективности их воздействия на колебания климата заслуживают более глубокого изучения. Причем пришло время кардинально обновить подходы к изучению слабых, но циклических космических воздействий на колебательную систему. В этой проблеме совершенно не изучен резонансный подход.

РЕЗОНАНСНАЯ ГИПОТЕЗА И ЦИКЛИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Климатическая система проявляет себя как сложная колебательная система со многими нелинейными взаимодействиями. За миллионы лет она прошла несколько этапов эволюции. Независимо от своей природы, нелинейные колебательные системы в ходе динамической эволюции имеют тенденцию выходить на особый синхронный режим движения. Известно, что совокупность изолированных друг от друга объектов, совершающих колебания с различными частотами, при наложении иногда даже очень слабых связей, переходят в режим движения, при котором частоты объектов становятся равными кратным или находятся в рациональных отношениях. Такие соотношения орбит и периодов оборотов планет называют соизмеримыми, они определяются энергетически менее затратными условиями. Вариантов таких соотношений много. Соизмеримые периоды чаще относятся между собой как небольшие целые числа 1:1, 1:2, 1:3, 2:3, 2:5. Например, орбита Урана обладает резонансом 1:3 относительно Сатурна, орбита Нептуна – резонансом 1:2 относительно Урана, орбита Плутона – 1:3 относительно Нептуна. Орбита Сатурна проявляет

резонанс 2:5 относительно Юпитера. В процессе синхронизации (помимо соизмеримости периодов) устанавливаются определенные фазовые соотношения между колебаниями.

Более 50 лет назад доктор физико-математических наук профессор А.М. Молчанов (1928–2011), автор более 200 научных работ в области функционального анализа, газодинамики, теории устойчивости, нелинейных колебаний и математического моделирования биологических процессов и систем предложил гипотезу о резонансной структуре Солнечной системы. Признали ее не сразу, но постепенно она вошла в общую теорию поведения сложных колебательных систем. Согласно этой гипотезе, при изучении эволюции нелинейных колебательных систем следует принимать во внимание диссипативные силы. Они направлены на погашение взаимодействующих колебаний, хаотических по отношению друг к другу. Но они же приводят к резонансному усилению тех колебаний, периоды которых находятся между собой в рациональных соотношениях. В сложных системах формируются собственные частоты колебательной системы. Силы взаимодействий могут быть больше или меньше, от их величины зависит скорость эволюции

и скорость перехода системы в стационарный резонансный режим. Конечно стационарное состояние системы, достигаемое к концу эволюции, обязательно должно быть резонансным.

В космическом масштабе времени постепенно накапливающиеся эффекты малых сил взаимодействий между планетами становятся определяющими в формировании структуры Солнечной системы. Так и причиной колебаний климата могут стать слабые циклические воздействия тел Солнечной системы и циклические воздействия солнечной активности на Землю. Циклы солнечной активности, малые вариации орбиты Земли, изменение скорости ее вращения и другие факторы при каждом одиночном циклическом воздействии не обладают достаточной энергией для создания причин изменения климата. Но на протяжении миллионов лет в результате этих слабых ритмических воздействий на климатическую систему колебательные процессы в климатической системе должны резонансно раскачаться, как качели, на частотах, соизмеримых с частотами слабых внешних воздействий. При этом характеристики климатической системы должны эволюционировать к состоянию, синхронизированному с планетными

конфигурациями и циклами солнечной активности.

В климатической системе за миллионы лет сформировались собственные частоты колебаний, часть из них соответствует частотам внешних воздействий и является следствием резонансной эволюции. При статистическом анализе могут обнаруживаться тесные корреляции между колебаниями в характеристиках солнечной и климатической систем, если их частоты совпадают (даже когда энергии внешнего воздействия на Землю не достаточно для изменения состояния климата). Примеров таких тесных, но необъяснимых на первый взгляд корреляций довольно много. Противоречия между слабой энергией каждого внешнего воздействия на Землю и значительными изменениями климата исчезают, если понимать, что воздействие было резонансным и многократным. Такой взгляд на природу колебаний в климатической системе существенно расширяет представления о причинно-следственных связях влияния на нее внешних факторов. По-видимому, необходимо создавать принципиально новую физико-математическую модель климата, в которой законы взаимодействий дополняются резонансными соотношениями. Способ создания резонансной физико-математической модели пока

не найден, но определенных успехов в создании статистической модели уже удалось добиться. Ее структура учитывает гипотетические свойства резонансной системы колебаний.

Глобальный (и региональный) климат может характеризоваться изменением состояния во времени. Следует учитывать, что колебания в атмосфере бывают собственные и вынужденные, их свойства различны. Собственными (или свободными) называются колебания, которые совершает система около положения устойчивого равновесия после первоначального возмущения; их частоты определяются свойствами самой системы и не зависят от периодичности повторяющихся воздействий на систему. Собственные колебания совершаются только за счет внутренних сил противодействия первоначальному возмущению, вынужденные же – благодаря энергии внешнего воздействия.

Частота вынужденных колебаний системы всегда совпадает с частотой воздействующих на нее переменных внешних сил. Свободные колебания имеют собственные резонансные частоты, присущие системе. Они связаны с возмущающим воздействием только временем его начала. В момент возмущающего воздействия “запускаются” затухающие колебания системы на

собственных частотах – это основополагающее положение для построения статистической модели.

Атмосфера – наименее инерционная составляющая климатической системы: в ее характеристиках нет необходимых условий для длительного поддержания колебаний и нет условий для их резонанса. Но она подвержена воздействиям на нее со стороны других составляющих системы (например, океана). Влияние на атмосферу каждого возмущения от разных составляющих системы (а также внешних факторов) каждый раз сопровождается запуском новой серии собственных возмущений в атмосфере. Колебания на собственных частотах при каждом новом запуске имеют новую фазу, что принципиально влияет на метод определения периодичности. Происходит наложение новых колебаний на затухающие старые, при этом возникают интерференция и биения; определить их периодичность часто не удается.

При всей сложности и многофакторной зависимости процессов в климатической системе колебания в атмосфере не некоторым образом все же самосогласуются и возникают ритмы, которые легче поддаются выделению. Полученные сведения о них могут послужить базой для построения статистической модели изменений климата.

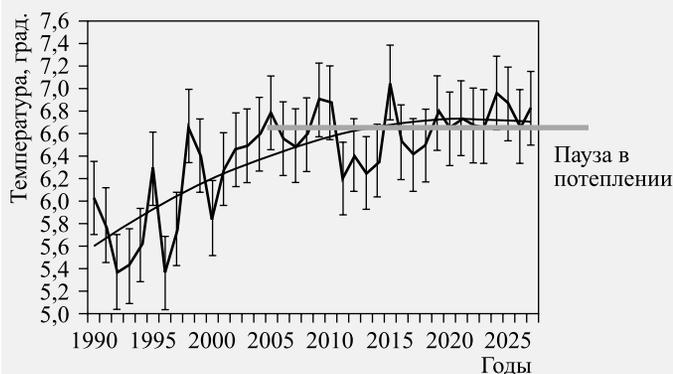


График среднегодовой температуры воздуха Северного полушария Земли: по данным наблюдений (1990–2006) и по прогнозу автора на 2007–2025 гг. Из публикации автора, 2008 г.

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Исследования ритмической структуры характеристик климата (преимущественно температуры) на основе данных наблюдений мировой метеорологической сети позволили автору построить статистическую модель регионального климата, в которой охватываются все районы Земли. Основу модели для прогноза климата составил метод выделения скрытой периодичности, предложенный в 2007 г.

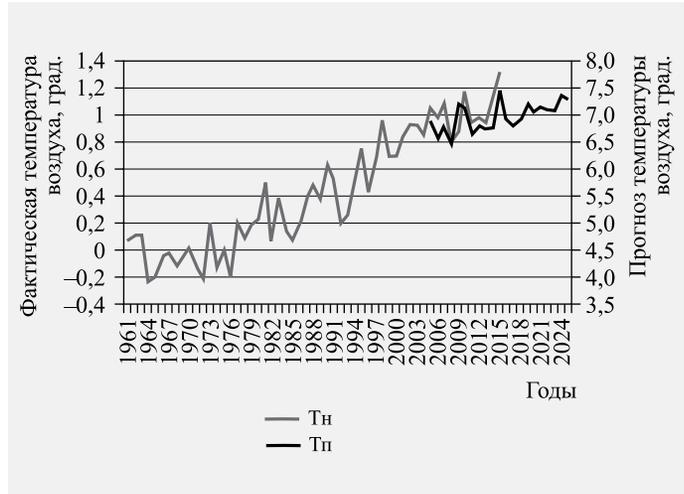
В атмосфере, как и во всех нелинейных системах, в результате внешних воздействий возникают возмущения на собственных частотах. В каждом районе Земли существует одновременно несколько собственных частот колебаний характеристик атмосферы – таких, как температура, давление, влажность воздуха, осадки. Собственные частоты в районе определяются его физико-географическими условиями: географической широтой, удаленностью от океана, рельефом, преобладающим направлением ветров.

Сложение сразу нескольких колебаний на соб-

Основным источником знаний о климатической системе являются ряды данных наблюдений. В любой первоначальный заданный момент времени поле параметров климатической системы содержит градиенты, которые в некоторый начальный момент “задают” движение всем процессам системы: выравнивая их, подобно маятнику, который перед запуском был “отклонен” от вертикали, а потом начал движение. Так же, как маятник в своем движении, колебательные процессы в климатической системе проходят точку равновесия по инерции и “уходят от равновесия” в другую сторону. Затем начинается движение в обратную сторону, опять в направлении к равновесию. Внешние воздействия задают начальную фазу

затухающих колебаний климатической системы на собственных частотах. Статистическая модель должна выявить закономерности повторения внешних воздействий на атмосферу и экстраполировать моменты появления последующих внешних воздействий – описать возникающие после этого серии затухающих колебаний характеристик атмосферы. Для атмосферы внешними факторами являются возмущения в океане и изменения ледяного покрова на полюсах. В самой атмосфере затухающие колебания не могут сохраняться годами, но в глубинных процессах океана и в ледяном покрове периоды их существования могут составлять десятилетия (и даже достигать тысячелетий).

График колебаний среднегодовой температуры воздуха над континентами в Северном полушарии Земли: прогноз (Тп), составленный автором в 2007 г. на 2007–2025 гг., и фактические значения температуры воздуха (Тн), по данным NASA, 1961–2015 гг. Наблюдения на метеорологических станциях Северного полушария, 2015 г.



ственных частотах проявляется в характеристиках атмосферы чередой возмущений, которые с кажущейся хаотичностью возникают на интервале – от одного внешнего воздействия до другого. На самом деле кажущаяся хаотичность появления максимумов и минимумов ряда имеет строгую последовательность. При каждом следующем внешнем воздействии эта чередка как бы хаотических возмущений в атмосфере повторяется.

Эти явления подпадают под определение ритмических колебаний, поскольку ритм есть чередование каких-либо элементов, происходящее с определенной последовательностью. В природе существует наложение ритмов, поэтому на практике в статистическую модель закладывается выделение и экстраполяция нескольких ритмов изменений

температуры. Несколько ритмов обуславливает сложную форму колебаний во временных рядах. Таким образом, статистическое моделирование должно быть направлено на описание закономерностей внешних воздействий на атмосферу и следующих за ними свободных колебаний температуры на собственных частотах. Заведомо предполагается, что после каждого внешнего воздействия на атмосферу в ее характеристиках будут возникать серии непериодических возмущений в своей, строго определенной последовательности. После каждого нового внешнего воздействия в атмосфере будет возникать серия новых возмущений, начинающихся с новой фазы.

На региональную температуру воздуха одновременно воздействует много разных факторов, со своей системой ритмов;

их “набор” меняется в зависимости от сезонных, циркуляционных, физико-географических и других условий. С помощью компьютерной программы проводится многократный поиск ритмов, и из них выделяется такая совокупность, которая наилучшим образом описывает изменения температуры в период, ближайший к последнему году перед прогнозом. Предварительный анализ показал, что на разных метеорологических станциях ритмы не слишком отличаются по длительности: от 4–6, 8, 11, 18, 35 лет. Происхождение ритмов еще предстоит изучать. На основе анализа приведенных наблюдений автором разработана статистическая модель выделения скрытых ритмов в атмосфере с их последующей экстраполяцией во времени.

Модель использовалась для прогноза на 20 лет

вперед среднемесячных значений температуры воздуха в узлах географической сетки $5 \times 5^\circ$ Северного полушария. Затем на их основе вычислялись среднегодовые значения средней температуры воздуха в Северном полушарии. В итоге прогнозировались среднегодовые значения температуры Северного полушария.

Насколько достоверны эти прогнозы? – Наилучшей независимой проверкой точности прогноза изменений климата является публикация прогноза и последующее его сравнение с появившимися данными наблюдений. Такая возможность представлялась – прогноз до 2025 г. был опубликован в 2008 г. в монографии автора “Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата” (Обнинск, 2008)

и в автореферате его докторской диссертации. Теперь можно сравнить их с данными новых накопленных наблюдений.

По авторской модели, еще в 2007 г. было предсказано замедление потепления климата в начале XXI в. – теперь это стало очевидным. Факт появления паузы показал полное согласие с опубликованным прогнозом изменения температуры воздуха в Северном полушарии в 2007–2015 гг. Пауза в потеплении климата была заблаговременно предсказана в 2007 г.

На фоне “тренда замедления потепления климата” в температуре воздуха имелись в разные годы отклонения в большую или меньшую сторону; они тоже были правильно предсказаны. Сравнение прогностических и фактических значений

температуры за каждый год (2007–2015) показало совпадение основных пиков аномально теплых (2009–2010, 2015) по прогнозу и по факту, а также прохладных (2008, 2011–2013) лет.

Проверка показала, что предложенная автором статистическая модель климата позволяет вычислять ожидаемые изменения температуры на два десятилетия вперед; более детальная проработка коротких периодов циклов позволяет составлять и сезонные прогнозы температуры воздуха на год. Ведутся разработки по созданию статистической модели для прогноза количества атмосферных осадков на планете и температуры поверхности океана, а также других характеристик климатической системы.

Информация

Странная форма жизни

Специалисты Института астробиологии NASA под руководством Пенелопы Бостон обнаружили живые организмы, находящиеся внутри гигантских кристаллов селенита в пещерах под г. Найка в мексиканском штате Чиуауа.

Они располагаются над магматическим карманом, поэтому температура здесь держится на уровне $+60^\circ\text{C}$. Содержание кислорода в пещере низкое, а уровень влажности и закисленности очень высокие. Микроорганизмы находились в кристаллах в течение около 60 тыс. лет в состоянии геолатентности (оставались жизнеспособными), но не проявляли активности. Крупнейший кристалл в пещере весит 55 т, его длина 11 м, ширина 4 м. Установлено, что для выживания бактерии,

вирусы и археи “использовали” оксид меди, марганец, сульфиды и железо; переработка этих веществ обеспечивала их энергией.

Эксперты напомнили, что внутри ледяных спутников Сатурна и Юпитера (а также в небесных телах Вселенной) возможны аналогичные условия. Это вселяет надежду, что жизнь может существовать и на других планетах или их спутниках.

*Пресс-релиз NASA,
20 февраля 2017 г.*