

# АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА



**В.М. ФЁДОРОВ,**

кандидат географических наук

Московский государственный университет (МГУ) имени М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/5004439481902004X

**Климат – это обобщенная характеристика состояния окружающей нас природной среды. Важной его составляющей является температурный режим, определяющий многие особенности жизни населения и состояния природной среды. Поэтому проблема изменения климата и, прежде всего, его температурных характеристик представляется значимой для современной науки и практики. В настоящее время отмечаются заметные тренды в изменении приповерхностной температуры воздуха, температуры поверхности океана, уровня Мирового океана, площади морских льдов и вечной мерзлоты, массы льда горных ледников. Найти причины отмечаемых в климатической системе Земли трендов – значит найти объяснение наблюдаемым изменениям климата Земли. В настоящее время широкое распространение получило предположение о том, что основной причиной изменения глобального климата является “парниковый” эффект, связанный, главным образом, с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенным фактором (сжиганием каменного угля и углеводородного топлива). В то же время не подвергается сомнению и то, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в генезисе климата.**

---

## ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИ- РОВАНИЯ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

---

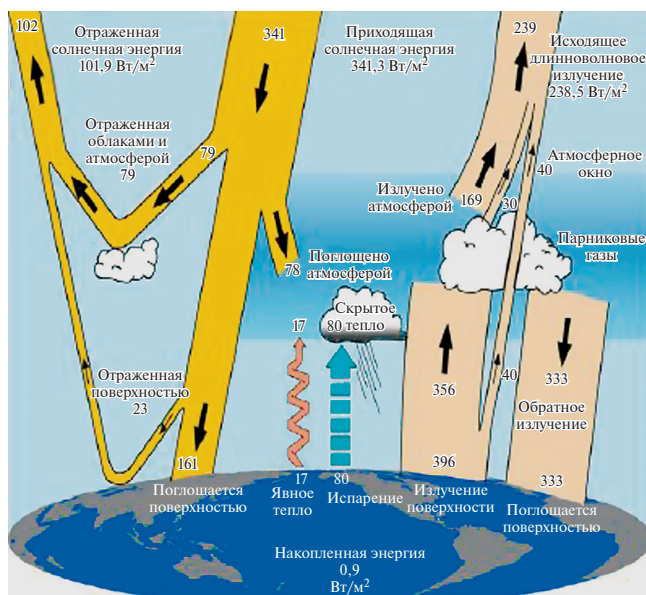
Известно, что Солнце является основным источником энергии гидрометеорологических, биохимических и мно-

гих других процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, на земной поверхности. Энергия Солнца – важнейший фактор развития жизни на Земле, обеспечивающий необходимые температурные условия для жизни и фотосинтез. Как отмечал русский

метеоролог А.И. Воейков, “Солнце – единственный источник тепла, достаточно сильный для того, чтобы оказывать значительное влияние на температуру поверхности Земли и воздуха”.

В древности Гиппарх (древнегреческий астроном, географ и математик, II в. до н.э.) дал объяснение годовой смене климатических сезонов, связав ее с изменением наклона падения солнечных лучей, определяемого орбитальным движением Земли и наклоном ее оси вращения (“климат” в переводе с греческого языка – “наклон”). Кроме этого, отмечаются межгодовые и многолетние изменения климата, причины которых пока являются предметом научных дискуссий.

Годовое поступление солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы, или на поверхность Земли (без учета атмосферы) в среднем составляет  $5,49 \times 10^{24}$  Дж (или  $1367 \text{ Вт/м}^2$ )<sup>1</sup>. Однако оно не постоянно и изменяется во времени (сезонные, межгодовые и многолетние изменения) и в пространстве (по широтам). Вариации входящей к Земле солнечной радиации в основном определяются двумя причинами, имеющими разную физическую природу: одна из них – изменение активности



Радиационный баланс Земли и его составляющие

в излучении Солнца; другая – обусловлена небесно-механическими процессами, вызывающими изменения элементов земной орбиты (расстояние Земля–Солнце и др.) и наклона оси вращения Земли. Перераспределение тепла в климатической системе Земли (в атмосфере и в океане) определяется двумя основными механизмами: один – межширотный теплообмен (“тепловая машина первого рода”, по В.В. Шулейкину); он связан с тем, что на Земле есть область (экваториальная), называемая источником тепла (“печка”) и две области (полярные районы) стока тепла – “холодильники”. Второй механизм – теплообмен в системе океан–материк, связан с сезонной сменой областей холода и тепла (“тепловая машина второго рода”). Его действие вызвано тем, что поверхность континентов быстрее нагревается и охлаждается, чем обладающая большей теплоемкостью поверхность океана. Важный фактор в регулировании термического режима Земли – состав атмосферы (прежде всего процентное содержание в ней

<sup>1</sup> Значение  $341 \text{ Вт/м}^2$  (на верхней границе атмосферы или на поверхности Земли без учета атмосферы) получается делением значения солнечной постоянной ( $1364 \text{ Вт/м}^2$ ) на 4, так как солнечная постоянная – это лучистая энергия, приходящая на единицу площади диска Земли (при расстоянии в 1 а.е.). Площадь же сферы в 4 раза больше площади ее большого круга

водяного пара), он определяет величину отраженной атмосферой солнечной радиации (альбедо), а также роль парникового эффекта планеты и их изменения.

В результате парникового эффекта удерживается тепло, получаемое нашей планетой от Солнца. Известно, что основу парникового газа составляет водяной пар, его содержание может достигать 4% в единице объема воздуха; двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>) – всего 0,04% (при этом менее 1% в этом составе занимает двуокись углерода, образующаяся в результате деятельности человека). Таким образом, объемное содержание в атмосфере водяного пара почти на два порядка превосходит двуокись углерода (природного и антропогенного суммарно). В атмосфере почти на четыре порядка больше H<sub>2</sub>O, чем CO<sub>2</sub> антропогенного происхождения.

Действительно, наша планета – “водная”. Мировой океан занимает 2/3 площади Земли, это – основной источник образования водяного пара в атмосфере. В высокогорных районах нашей планеты развиты ледники, а в полярных районах океан покрывается морскими льдами. На Земле существуют две гигантские ледниковые шапки – Антарктида и Гренландия. На снимках из космоса видно, что наша планета покрыта облаками, и это прежде всего – водяной пар (но не CO<sub>2</sub>). Вода присутствует на Земле в трех фазовых состояниях, переход из одного состояния в другое сопровождается процессами выделения (или поглощения) тепла. Таким образом, роль воды, льда и водяного пара в природе Земли (с учетом известного гидрологического цикла – круговорота воды в природе) в процессах теплообмена и климатообразования не сопоставима

с участием CO<sub>2</sub>. Содержание других парниковых газов (метан и др.) в атмосфере еще на три порядка ниже, чем содержание двуокиси углерода. Климат – это состояние природной среды, и он во многом связан с присутствием в природе H<sub>2</sub>O – важнейшего компонента окружающей природной среды и фактора ее изменения.

При отсутствии солнечного излучения температура на Земле была бы близка к температуре окружающего ее пространства (близка к абсолютному нулю, или –273° С). В настоящее время среднегодовая приповерхностная температура Земли составляет около +15° С. В случае, если бы у Земли отсутствовала атмосфера (при существующем притоке лучистой энергии), то ее температура была бы ниже существующей на 39° и составила бы –24° С (это – теплее, чем в Антарктиде, но холоднее, чем в Арктике).

Температурный режим Земли определяется в основном двумя природными факторами: приходящей от Солнца радиацией и “парниковым эффектом” планеты (при этом главным “парниковым” газом является водяной пар). Учитывая тот факт, что температура окружающего Землю пространства составляет –273° С, а среднегодовая приповерхностная температура Земли – около +15° С, то связанное с приходящей солнечной радиацией тепло составляет приблизительно 86% (249° С), а вызванное “парниковым эффектом” планеты – 14% (39° С). Можно предположить, что отмечаемые в современную эпоху отклонения от нормы в климатической системе Земли связаны прежде всего с изменением отмеченных факторов формирования климата (солнечной радиации и “парникового эффекта” планеты).

*На Земле существуют две гигантские ледниковые шапки – Антарктида и Гренландия. На снимках из космоса видно, что наша планета покрыта облаками, и это прежде всего – водяной пар*

## ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЙ СОВРЕМЕННОГО ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА: ИНСОЛЯЦИЯ ЗЕМЛИ

Результаты расчетов инсоляции Земли<sup>2</sup> указывают на то, что среднегодовое поступление солнечной радиации к Земле (без учета атмосферы) за последние 5000 лет сократилось незначительно, всего на 0,005%. При общем малом сокращении приходящей к Земле за год солнечной радиации в районах ниже 45° широты каждого полушария проявляется заметная тенденция к ее увеличению, а выше 45° – к сокращению поступления. Определено также, что в зимние полугодия в полушариях приход радиации увеличивается, а в летние – сокращается.

Отмеченные тенденции (усиление широтной контрастности и сглаживание сезонных различий) в инсоляции Земли связаны с вековой тенденцией уменьшения угла наклона оси вращения нашей планеты. Еще из работ сербского математика М. Миланковича известно, что при увеличении угла наклона оси вращения увеличивается приход солнечной радиации в полярные районы – то есть происходит сглаживание широтной контрастности в полушариях и усиление сезонных различий; при уменьшении угла наклона происходит увеличение радиации, поступающей в приэкваториальные районы и уменьшение радиации, поступающей в полярные районы; широтные контрасты возрастают, а сезонные различия сглаживаются.

<sup>2</sup> Федоров В.М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. М.: Физматлит, 2018. 232 с.

В связи с неравномерностью распределения солнечной радиации по поверхности Земли (без учета атмосферы) возникает меридиональный градиент инсоляции (МГИ).

В многолетнем изменении годового МГИ отмечаются интересные особенности: меридиональный градиент инсоляции увеличивается от экватора – к полярным кругам в каждом полушарии. Максимумы увеличения локализованы вблизи 65-й параллели в каждом

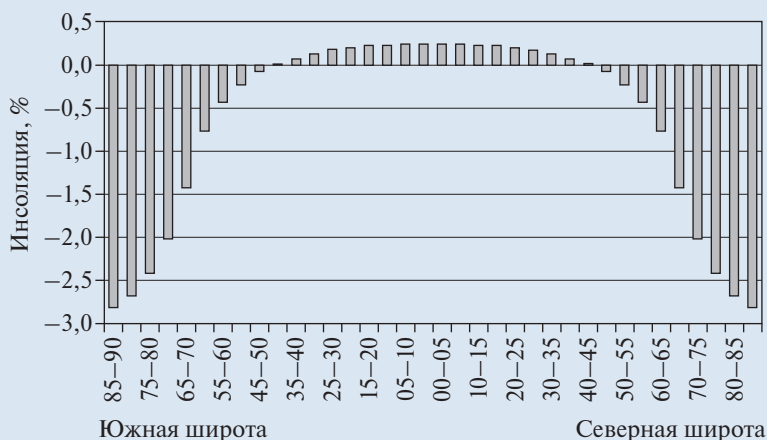
полушарии (около полярных кругов). В заполярных областях отмечается уменьшение МГИ от полярных кругов – к полюсам.

В каждом полушарии можно выделить области увеличения (от экватора до полярного круга) и области уменьшения (от полярного круга – до полюса) меридионального градиента инсоляции.

Максимальное увеличение МГИ (на 1,25%) отмечается вблизи полярных кругов (около 65° широты) в каждом полушарии (годовые зоны турбулентности); максимальное уменьшение (на 2,56% от среднего значения) отмечается вблизи географических полюсов.

Отмеченные зоны турбулентности совпадают с районами (60°–70° широты) максимального развития внетропических циклонов (циклогенеза).

Изменения МГИ характерны и для полугодий: в зимнее полугодие для Северного полушария этот параметр максимально увеличивается вблизи 15° ю.ш. (на 11,8%) и максимально сокращается вблизи 10° ю.ш. (на 17,8%). В летнее (для Северного полушария) полугодие максимальное увеличение (на 11,8%) меридионального градиента инсоляции отмечается вблизи 15° с.ш., а максимально он сокращается



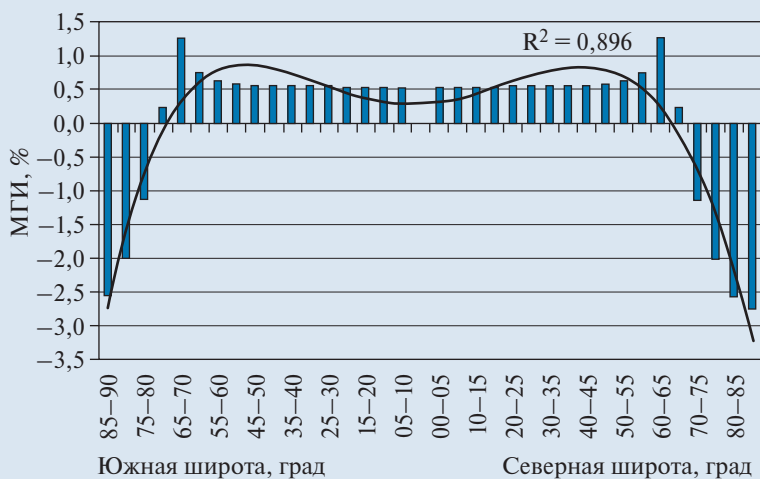
Широтное изменение годовой инсоляции Земли (с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э.)



Широтное изменение инсоляции Земли в % (с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э.) в зимнее (1) и летнее (2) полугодия (для Северного полушария)

(на 17,8%) около 10° с.ш. Таким образом, выделяются сезонные зоны турбулентности, расположенные в районе 10°–15° широты в каждом полушарии. Здесь в летние полугодия в полушариях в соседних зонах отмечаются максимальные расхождения в тенденциях изменения МГИ (вблизи 15° широты – максимальное увеличение, вблизи 10° широты – максимальное сокращение).

Известно, что подавляющее большинство тропических циклонов формируется в пределах экваториального пояса, между 10° и 30° широты в обоих полушариях, приблизительно 87% тропических циклонов – в районах, расположенных не выше 20° широты. Области генерации тропических циклонов совпадают с сезонными зонами турбулентности в изменении МГИ. Эти атмосферные вихри наносят огромный



ущерб природе и человечеству: например, потери от урагана “Катрина” в 2005 г. составили более 100 млрд долларов США, от ураганов “Харви” и “Ирма” в 2017 г. – 290 млрд долларов.

С вихревым переносом энергии связана главным образом работа “тепловой машины первого рода” – механизма межширотного теплообмена в атмосфере; вихри (циклоны) переносят энергию в атмосферу из области источника тепла

(из низких широт) в области его стока (в высокие широты). При этом известно, что общее количество энергии, переносимое тропическим циклоном среднего размера, составляет около  $10^{17}$  Дж; это сопоставимо с суммарной энергией, вырабатываемой всеми электростанциями мира за 3 часа.

Сравнение среднегодового МГИ с переносом энергии в системе океан–атмосфера, приведенное в работах

Э. Пальмена, Ч. Ньютона и Э. Лоренца, указывает на наличие линейной связи между ними. Поскольку средний годовой перенос энергии в системе океан-атмосфера определяется средним годовым МГИ на поверхности Земли (без учета атмосферы и океана), то отмеченные в изменении МГИ особенности могут проявляться и в системе океан-атмосфера. Тогда из полученных результатов следует возрастание интенсивности вихревого переноса энергии в атмосфере (увеличение количества и/или интенсивности тропических и внетропических циклонов), то есть будет усиливаться работа “тепловой машины первого рода” – межширотный теплообмен в атмосфере и океане.

Известно, что смена климатических сезонов в течение года на Земле связана с тем, что ее ось вращения имеет наклон относительно перпендикуляра к плоскости ее обращения вокруг Солнца (эклиптика). В настоящее время этот угол составляет около  $23,5^\circ$  и в современную эпоху медленно уменьшается. Есть и другая астрономическая

причина изменения годового хода инсоляции – эллиптическая орбита Земли (напомним, что изменение инсоляции Земли в годовом ходе составляет около 7%, от афелия к перигелию). Однако угол наклона оси имеет решающее значение для смены климатических сезонов. Так, летние полушария получают приблизительно в два раза больше солнечной радиации, чем зимние<sup>3</sup>.

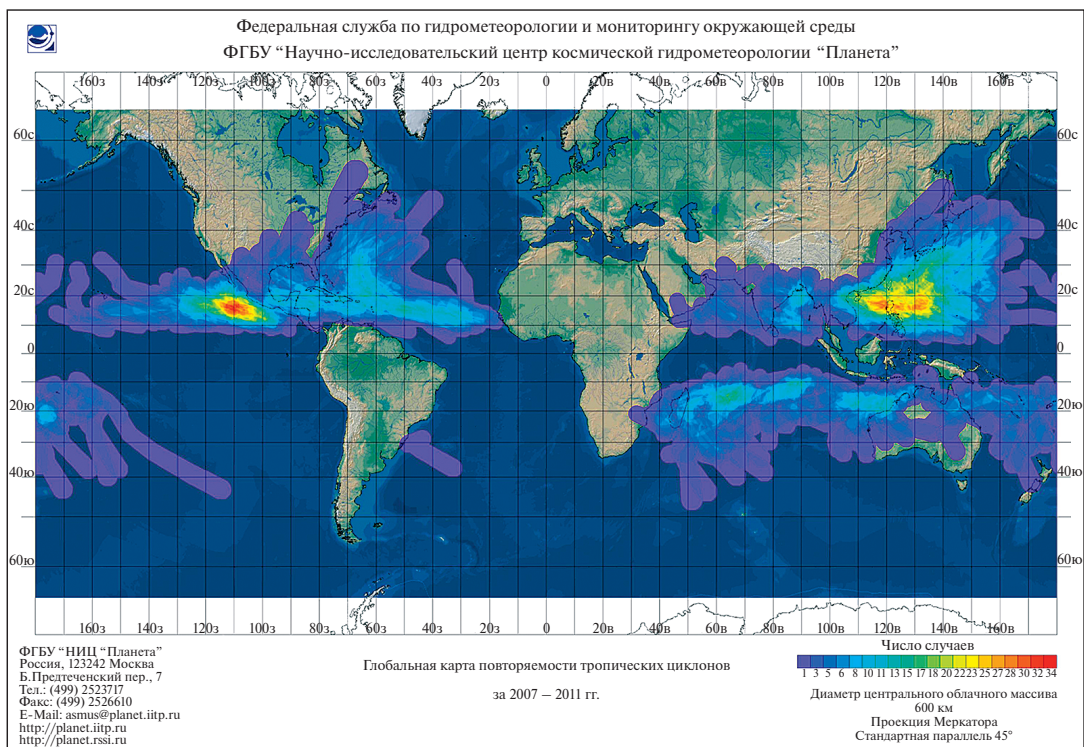
## ИЗМЕНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНСОЛЯЦИИ

Для анализа изменений климата на Земле (в связи с наличием областей источников и стока тепла) удобно использовать показатель, названный автором инсоляционной контрастностью (ИК).

<sup>3</sup> Для сравнения отметим, что амплитуда изменения инсоляции в 11-летнем цикле, связанным с изменением активности Солнца, составляет около  $1 \text{ Вт/м}^2$ , или 0,07% от приходящей в среднем за год к Земле радиации



Изменение меридионального градиента инсоляции в зимнее (1) и летнее (2) полугодие для Северного полушария за 5998 лет (в процентах – от среднего значения для широтной зоны)



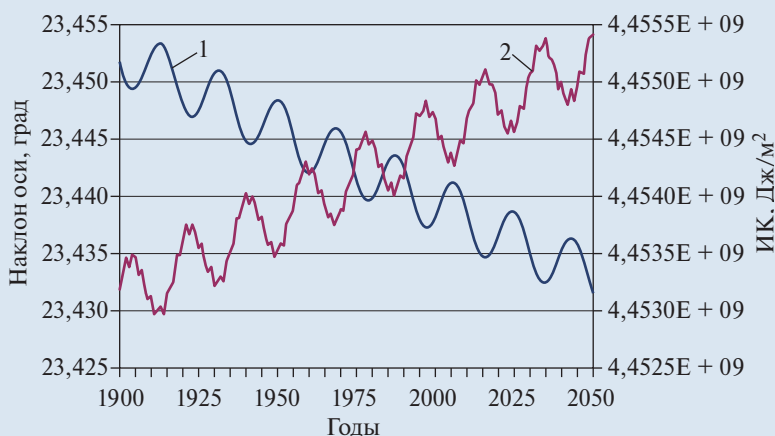
*Карта очагов возникновения тропических циклонов*

Для полушарий ИК рассчитывается как разность между солнечной радиацией, приходящей в широтную область ( $0^\circ - 45^\circ$ ; источник тепла) и  $45^\circ - 90^\circ$  (стока тепла) за год; в целом для Земли за показатель ИК принимается ее среднее годовое значение, рассчитанное для полушарий. В результате корреляционного анализа обнаружена тесная связь между многолетними изменениями приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) Земли и полушарий, а также значениями температуры поверхности Мирового океана (ТПО) с инсоляционной контрастностью (ИК): многолетние изменения ИК определяются изменением угла наклона оси вращения Земли, которое связано с лунно-солнечной и планетной прецессией и нутацией; изменение ИК

линейно связано с изменением угла наклона оси вращения нашей планеты. Коэффициент корреляции в интервале с 1850 по 2050 г. составляет  $-0,998$ .

Многолетние изменения ПТВ Земли и полушарий в современную эпоху характеризуются в основном определенными тенденциями (трендами). В Южном полушарии изменения ПТВ на 84% учитываются трендом, в Северном полушарии – на 75%, для Земли – на 81%. Поэтому для определения причин изменения глобальной температуры следует определить причину отмеченных тенденций (трендов), на нее указывает тесная связь аномалии ПТВ и ИК: значение коэффициента корреляции составляет 0,71 для Северного полушария; 0,80 – для Южного полушария и 0,78 – для Земли.





Многолетние изменения угла наклона оси вращения Земли (1) и инсоляционной контрастности (2)

Похожие результаты получены и для объяснения связи между многолетними изменениями ТПО и ИК. Коэффициент корреляции ИК и ТПО в Северном полушарии составил 0,69, в Южном полушарии – 0,83, для Мирового океана – 0,78.

На основе уравнений регрессии (используя данные об инсоляции) автором выполнены расчеты аномалии ПТВ и ТПО на период с 1900 по 2016 г. Сравнение рассчитанных и фактических значений аномалии ПТВ и ТПО показывает, что существуют периоды (их средняя продолжительность – около 30 лет), когда рассчитанные значения превышают фактические, и периоды, где эти значения уступают фактическим. Таким образом, в климатической системе Земли наблюдается колебание, физическая природа которого не связана с солнечным излучением; его периодичность составляет около 60 лет. Это колебание проявляется синхронно в океане и атмосфере.

Проявление осцилляции со средним периодом около 60 лет отмечено во многих гидрометеорологических процессах (климатическая мультидекадная

осцилляция – КМО). Наиболее явно это колебание проявляется в Северной Атлантике, где оно известно как Северо-Атлантическая осцилляция (Atlantic multidecadal oscillation). Предполагается космическая природа проявления 60-летней периодичности, однако единого мнения относительно генезиса этого явления среди ученых пока нет.

Изменения ПТВ Земли на 68,3% объясняются многолетними изменениями ИК (в Северном полушарии – на 60,3% и на 72,3% – в Южном) в период с 1900 по 2016 г. Изменения ТПО за тот период объясняются для Мирового океана на 68,3% (в Северном полушарии – на 57,3%, в Южном полушарии – на 75,4%). С учетом поправки в расчетных значениях на 60-летнее колебание эти показатели увеличиваются. Влиянием двух указанных факторов (ИК и КМО) в этом случае объясняется 84,1% изменений ПТВ Земли (81,3% изменений ПТВ в Северном полушарии и 81,7% – в Южном). Влиянием отмеченных факторов в этом случае объясняется 84,2% изменений температуры поверхности Мирового океана (79,1% – в Северном полушарии и 83,8% – в Южном).

Таким образом, главными причинами изменения ПТВ и ТПО в интервале с 1900 по 2016 г. являются инсоляционная контрастность и климатическая мультидекадная осцилляция. Суммарно этими факторами объясняется 84,1% изменений ПТВ для Земли и 84,2% изменений температуры поверхностного слоя Мирового океана. Остающаяся без объяснения часть изменений ПТВ и ТПО (около 16%), вероятно, связана с вариациями солнечной активности, вулканической деятельностью и другими факторами.

Вклад 60-летнего колебания (КМО) в изменение аномалии ПТВ составляет для Земли 15,8%, для Северного полушария – 21,0%, для Южного полушария – 9,4%. Изменение аномалии ТПО Мирового океана на 15,9% также объясняется КМО. В Северном и Южном полушариях “вклад” этой осцилляции в изменение аномалии ТПО составляет, соответственно, 21,8% и 8,4%. Эти соотношения со временем, вероятно, могут изменяться. Учитывая тот факт, что влиянием КМО объясняется приблизительно от 8% до 22% изменений ПТВ и ТПО, возникает необходимость рассмотреть возможные причины этой осцилляции.

Поскольку в макромире известно всего два фундаментальных физических взаимодействия – электромагнитное и гравитационное, то природа КМО, вероятно, является гравитационной (выше уже отмечалось, что она не связана с инсоляцией). Генезис КМО, следовательно, может быть связан с гравитационным взаимодействием Земли с планетами Солнечной системы; значит, в основе КМО должно быть существующее в природе (в окружающем

Землю космическом пространстве) обусловленное гравитационным взаимодействием колебание с периодом около 60 лет, на которое откликается климатическая система Земли.

Из небесной механики известно, что планеты-гиганты Юпитер и Сатурн при движении вокруг Солнца образуют последовательные соединения (находятся на одной геоцентрической долготе) приблизительно каждые 20 лет, их приливное и возмущающее действие на Землю в эти периоды усиливается. Соединение планет происходит в различных точках эклиптики, но каждые 60 лет оно происходит в довольно узком ее секторе: то есть периодически (каждые 60 лет) происходит приблизи-

тельное повторение конфигурации Юпитера и Сатурна относительно Земли и Солнца. С этой периодичностью может быть связана генерация 60-летнего гравитационного сигнала, влияющего на окружающее Землю пространство и ее климатическую систему.

Здесь уместно напомнить о таких физических явлениях, как синхронизация, соизмеримость и резонанс. По мнению физика

И.И. Блехмана, синхронизация определяется как “свойство материальных объектов самой различной природы выработать единый ритм совместного существования, несмотря на различие индивидуальных ритмов и на подчас крайне слабые взаимные связи”. Явление синхронизации – это механический процесс, возникающий, например, при движении небесных тел в Солнечной системе и приводящий к появлению соизмеримости в средних движениях планет. Оно состоит в том, что несколько природных объектов, совершающих

*Планеты-гиганты Юпитер и Сатурн при движении вокруг Солнца образуют последовательные соединения приблизительно каждые 20 лет, их приливное и возмущающее действие на Землю в эти периоды усиливается*

при отсутствии взаимодействия колебательные или вращательные движения с различными частотами (угловыми скоростями) при наложении даже весьма слабых связей начинают двигаться с одинаковыми, кратными или находящимися в рациональных отношениях частотами (угловыми скоростями); причем устанавливаются определенные фазовые соотношения между колебаниями и вращениями. В связи с этим представляется возможной синхронизация приливных явлений в Мировом океане с генерируемым Юпитером и Сатурном 60-летним колебанием; таким образом, генезис КМО может быть связан

*КМО – это колебание, которое возникает в океане из-за синхронизации (повторение положений Юпитера и Сатурна относительно Солнца и Земли)*

с явлением синхронизации. Это колебание может также усиливаться вследствие орбитального резонанса (из-за соизмеримости в движениях небесных тел); резонанс возникает тогда, когда на колеблющееся тело в такт его колебаниям действует дополнительная периодическая сила. Такая дополнительная сила (даже в том случае, если ее величина очень мала) постепенно приводит к значительному увеличению амплитуды колебаний.

Период парных соединений планет-гигантов Юпитера и Сатурна составляет 19,86 лет. Период обращения лунных узлов (лунной орбиты) – 18,61 год (нутационный цикл; проявляется и в инсоляции Земли из-за изменения наклона оси вращения). Значит, в движениях парного соединения Юпитера и Сатурна и обращении узлов лунной орбиты есть соизмеримость (аналог резонанса в механике – орбитальный резонанс с резонансным числом 1/1). Соизмеримость в движениях Юпитера и Сатурна отмечается и с 19-летним циклом Метона (определяется тем, что продолжительность 235 лунаций, или

лунных месяцев, в точности соответствует продолжительности 19-ти средних солнечных лет).

Проявление колебаний в Мировом океане с периодом около 19 лет отмечают многие исследователи. Из этого также следует вероятность проявления в океане зонального колебания с периодичностью около 60 лет. Одна, “теплая” фаза колебания, возможно, отражает движение водных масс от экватора в сторону полюсов, другая, “холодная”, связана с движением водных масс в обратном направлении.

Вероятно, КМО – это колебание, которое возникает в океане из-за синхронизации (повторение положений Юпитера и Сатурна относительно Солнца и Земли); оно усиливается в результате возникающего резонанса из-за соизмеримости периода соединений Юпитера и Сатурна с нутационным циклом (период обращения лунных узлов), с циклом Метона и стохастическим резонансом (отклик нелинейной системы на слабый периодический сигнал при шумовом воздействии определенной мощности). Это океаническое колебание передается и атмосфере, что подтверждается различием фактических и рассчитанных значений ПТВ.

Сопоставление дат смены фаз КМО с датами соединений Юпитера и Сатурна в период с 1900 по 2050 г. показывает, что, если за начало осцилляции принять даты смены “теплой” фазы КМО на “холодную”, то они синхронны с соединениями Юпитера и Сатурна в секторе, ограниченном геоцентрическими долготами: от 283° до 301°; согласно астрономическим эфемеридам, эти соединения приходятся на 1901, 1961, 2020 годы. Даты перехода от “холодной” фазы КМО к “теплой”

синхронизируются годами, в которые разность геоцентрических долгот Юпитера и Сатурна равна  $90^\circ$ ; последние отмечены в 1926 и в 1986 годах. Очередное соединение планет, в соответствии с данными астрономических эфемерид, произойдет в 2020 г. (сменится “теплая” фаза КМО на “холодную”), и начиная с 2021 г. ожидается начало “холодной” фазы КМО. В 2045 г. разность геоцентрических долгот Юпитера и Сатурна будет равна  $90^\circ$ , и начиная с 2046 г., вероятно, начнется очередная, “теплая” фаза КМО. Однако в системе океан–атмосфера эти даты могут быть нечеткими, то есть изменяться относительно дат астрономических конфигураций указанных планет, в связи с нелинейностью происходящих в океане и атмосфере процессов и изменением термического состояния системы океан–атмосфера. КМО в “теплые” фазы усиливает общую тенденцию потепления современного глобального климата, и в “холодные” фазы – ослабляет.

В общем виде механизм образования найденных связей между ПТВ и инсоляцией Земли можно представить следующим образом: инсоляция нашей планеты увеличивается в экваториальной области и уменьшается в полярных районах, вследствие чего увеличивается меридиональный градиент инсоляции (и инсоляционная контрастность) и возрастает перенос тепла из экваториальной области – к полярным районам. Переносимое воздушными массами в меридиональном направлении (прежде всего вихревыми образованиями – тропическими и внетропическими циклонами): от экватора – к полюсам тепло приходит на различную по характеру

подстилающую поверхность в полушариях. В Северном полушарии Земли перемещение теплых воздушных масс приводит к повышению ПТВ (явное тепло). Увеличение ПТВ в области стока тепла в Северном полушарии приводит к изменению состава атмосферы (прежде всего к повышению содержания водяного пара, в связи с увеличением испарения), особенно в Арктических районах; это усиливает “парниковый” эффект и дополнительно приводит к повышению ПТВ. Увеличение тепла в северной области его стока происходит и вследствие конденсации, при перемещении теплых воздушных масс и их взаимодействии с холодной подстилающей поверхностью (выделяется скрытое тепло). Следует отметить, что 60,7% площади Северного полушария нашей планеты занимает океан; 39,3% ее территории приходится на континенты; в Южном полушарии это соотношение составляет 80,9% и 19,1%, соответственно. Увеличение ПТВ в Северном полушарии определяется и положительными обратными связями: например, снижением отражательной способности морских льдов (альбедо) из-за сокращения их площади (особенно в летний период).

В Южном полушарии Земли приходящие теплые воздушные массы, охлаждаясь, отдают тепло океану (обладающему низкой температурой и большой теплоемкостью); кроме того, сильное охлаждающее воздействие в этом полушарии связано с влиянием Антарктиды. Из-за неоднородной подстилающей поверхности в Северном полушарии нашей планеты вихревой меридиональный перенос тепла (действие циклонов), вероятно, происходит более интенсивно,

*Увеличение ПТВ в области стока тепла в Северном полушарии приводит к изменению состава атмосферы, особенно в Арктических районах; это усиливает “парниковый” эффект и дополнительно приводит к повышению ПТВ*

чем в Южном. В области стока тепла в Южном полушарии из-за относительно однородного характера подстилающей поверхности и существенно большего значения меридионального градиента температуры перенос тепла в меридиональном направлении происходит менее интенсивно, чем в Северном: проявляется циркуляционный, преимущественно западный (“ревущие сороковые”), перенос тепла. Вследствие этого в Южном полушарии межширотный теплообмен отчасти “блокируется” зональным движением воздушных масс и циркумполярным океаническим течением, охватывающим Антарктиду; изменения ПТВ и ТПО “растягиваются” во времени из-за большой инертности и слабой интенсивности отклика климатической системы в этом полушарии.

С изменением температурного режима атмосферы (ПТВ) и океана (ТПО) регулируемым МГИ и ИК связаны наблюдаемые в криосфере Земли явления: сокращение площади морских льдов и вечной мерзлоты, а также массы горных ледников; с повышением ТПО и деградацией горного оледенения связано повышение уровня Мирового океана.

Итак, сезонные изменения климата связаны с тем, что ось вращения Земли наклонена относительно эклиптики. Многолетние изменения климата в основном связаны с изменением угла наклона оси вращения Земли, регулирующим распределение приходящей солнечной радиации по сезонам и широтам, а также меридиональный перенос энергии в океане и атмосфере – в климатической системе Земли.

## Информация

### Планы поиска жизни на Европе

Специалисты NASA планируют создать буровую установку с ядерным реактором для проникновения под ледяную панцирь спутника Юпитера Европы с целью поиска следов жизни в ее подледном океане. “Мы не знаем точной толщины ледовой оболочки Европы – она составляет, по самым разным оценкам, от 2 до 30 км. Она будет главным препятствием для любых аппаратов, которые будут искать следы жизни на Европе. Поэтому мы сфокусировались на преодолении этого ледового щита”, – заявил Эндрю Домбар из Университета Иллинойса в Чикаго (США).

Европа – один из четырех крупнейших спутников Юпитера, она представляет собой мир океана, чьи воды скрыты под многокилометровым слоем льда, который может служить приютом для внеземной жизни. В последние годы обнаружено, что океан обменивается газами и минералами со льдом на поверхности – с теми веществами, которые необходимы для существования микробов.

Первые возможные следы существования гейзеров на Европе были найдены еще в 2012 г.: американский астроном Лоренц Роз обнаружил на ультрафиолетовых фотографиях Европы, полученных с помощью КТХ, следы необычных “светлых пятен” в районе южного полюса планеты, приняв их за извержения гейзеров, поднимающихся на высоту в 200 км. Эти открытия заставили в 2016 г. Конгресс США значительно расширить возможные рамки следующей миссии NASA “Европа-Клипер”, предложив отправить не одну, а две станции к Европе: одна из них спустится на поверхность спутника и будет искать следы жизни непосредственно в ее водах.

Эндрю Домбар (Университет Иллинойса в Чикаго, США) и его коллеги из Исследовательского центра им. Дж. Гленна NASA разработали одну из первых концепций второй части миссии АМС “Европа-Лендер”: необходимо создать достаточно легкий и долговечный аппарат, который мог бы бурить лед в произвольном направлении и достичь верхней кромки океана Европы. Как показывают расчеты, такая установка должна быть оснащена ядерным реактором или радиоизотопным источником тепла и энергии – подобному тому, который присутствует на борту марсохода “Кьюриосити” (“Curiosity”) и АМС “Новые горизонты” (“New Horizons”). Вырабатываемое ими тепло можно использовать для ускорения бурения и сбора образцов замороженной океанической воды Европы.

Аппарат пробурит тоннель длиной около 15 км и исследует воду океана для поисков каких-либо микробов. Для того, чтобы защитить аппарат от высокого уровня радиации от Юпитера и решить сложности с работой системы связи, специалисты NASA планируют упаковать электронику зонда наподобие “бункера”, а для радиосвязи с Землей “ядерный крот” установит на поверхности Европы радиопередатчик, с которым он будет связан с помощью оптоволоконка.

Подобный подход позволит посадочному аппарату АМС “Европа-Лендер” совершить не только прямое погружение в поверхностные воды океана, но и прорыть несколько боковых тоннелей. Благодаря этому он сможет изучить частично замороженные озера, которые могут быть скрыты под толщиной льда на Европе. Запуск АМС “Европа-Лендер” к Юпитеру состоится примерно через год после запуска АМС “Европа-Клипер” в 2023 г. На разработку проекта АМС “Европа-Лендер” выделено около 195 млн долларов.



Так художник представил проникновение бура в проекте “Европа-Лендер”, предназначенного для исследования следов жизни в подледном океане Европы, спутника Юпитера. Рисунок художника Александра Павлусика

Журнал “UIC Today”,  
14 декабря 2018 г.