



ISSN 0514-7468

40 (1)

2018

ЖУРНАЛ ЗЕМЛИ

Журнал Земли

2018 40 (1)

2018





ISSN 0514-7468

Жизнь Земли

2018

Т. 40, № 1

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 1961 года,
журнальная ежеквартальная версия обновлена с 2016 года

Редакционный совет:

В.А. Садовничий (председатель Совета), Н.А. Абакумова, Ф.Г. Агамалиев (Азербайджан), А.П. Бужилова, С.А. Добролюбов, М.В. Калякин, Н.С. Касимов, М.П. Кирпичников, А.И. Клюкина, Нгуен Трунг Минх (Вьетнам), С.Х. Мирзоев (Таджикистан), А.С. Орлов, Н.Г. Рыбальский, С.А. Шоба

Редакционная коллегия:

А.В. Смуров (гл. редактор), В.В. Снакин (зам. гл. редактора), Л.В. Алексеева (отв. секретарь), С.М. Аксёнов (США), М.И. Бурлыкина, И.Л. Ган (Австралия), Е.П. Дубинин, А.В. Иванов, В.В. Козодёров, Н.Н. Колотилова, С.Н. Лукашенко (Казахстан), С.А. Маскевич (Беларусь), Йован Плавша (Сербия), Е.С. Полковникова, Л.В. Попова, А.П. Садчиков, С.А. Слободов, В.Р. Хрисанов, В.С. Цховребов, Э.И. Черняк, П.А. Чехович



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2018**

Адрес редакции:

119991, Москва, Ленинские Горы, МГУ,
Музей земледелия;
Тел.: +7 (495) 939-14-15; +7 (495) 939-12-21;
e-mail: zhizn_zemli@mail.ru
www: zhiznzemli.mes.msu.ru

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР

УДК 551.583, 551.521

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНСОЛЯЦИИ ЗЕМЛИ И СОДЕРЖАНИЯ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ¹

В.М. Фёдоров, В.Н. Голубев, Д.М. Фролов²

Показано, что многолетняя изменчивость содержания двуокиси углерода (CO₂) в атмосфере – в основном результат многолетней изменчивости температуры поверхности океана (ТПО). Последняя, в свою очередь, является следствием увеличения инсоляционной контрастности (ИК), что предопределено уменьшением угла наклона оси вращения Земли. Следовательно, многолетняя изменчивость содержания CO₂ – не причина, а следствие изменения глобального климата. На основе уравнения регрессии выполнен прогноз содержания двуокиси углерода в атмосфере. Подсчитано, что содержание CO₂ в 2050 г. составит 466 ррт, что на 65,5 ррт больше, чем в 2015 г. Следовательно, ожидаемое увеличение содержания CO₂ в атмосфере составит 16,3 % – независимо от усилий стран участницы Парижского соглашения по климату. Это связано с тем, что менее 1 % CO₂ в атмосфере имеет антропогенное происхождение, в то время как многолетняя изменчивость почти 99 % содержащегося в атмосфере CO₂ регулируется многолетней изменчивостью инсоляционной контрастности. Полученный прогноз принципиально отличается от предполагаемых сценарных прогнозов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

***Ключевые слова:** солнечная радиация, межширотный теплообмен, температура поверхности океана, растворимость, содержание двуокиси углерода.*

PERENNIAL VARIABILITY OF THE EARTH'S SOLAR IRRADIANCE AND CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN THE ATMOSPHERE

*Fedorov V.M., PhD, Golubev V.N., Dr.Sci (Geography), Frolov D.M.
Lomonosov Moscow State University (Faculty of Geography)*

¹ В статье излагается вызывающая дискуссию позиция авторов по поводу первопричины динамики концентрации углекислого газа в атмосфере Земли. Редколлегия журнала приняла решение о публикации этой работы в надежде, что новые результаты исследований помогут приблизиться к истине в непростой ситуации обсуждения природы глобальных изменений климата в наше время.

² Фёдоров Валерий Михайлович – к.г.н., в.н.с., fedorov.msu@mail.ru; Голубев Владимир Николаевич – д.г.н., в.н.с., golubev@geol.msu.ru; Фролов Денис Максимович – н.с. географического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова, denisfrolov@mail.ru.

The purpose of the article is to prove that perennial variability of CO₂ concentration in the atmosphere has primarily resulted from perennial variability of ocean surface temperature (OST). The latter, in its turn, is due to the increase of the irradiance contrast (IC) of the Earth, which is determined by the decrease of the tilt of the Earth's rotation axis. Consequently, perennial variability of CO₂ concentration is not the reason but the result of global climate change. A regression equation made it possible to forecast the concentration of atmospheric carbon dioxide. According to the calculations, CO₂ concentration in the atmosphere will reach 466 ppm by 2050. That is, the rise in CO₂ concentration will make up 65.5 ppm in comparison with the same rate in 2015. Therefore, the expected growth of CO₂ concentration in the atmosphere will be 16.3 % regardless of the efforts of the member countries of The 2015 United Nations Climate Change Conference. This is related to the fact that less than 1 % of CO₂ in the atmosphere has anthropogenic origin meanwhile the perennial variability of almost 99 % CO₂ contained in the atmosphere is controlled by the perennial variability of irradiance contrast. The forecast obtained by the regression equation fundamentally differs from the assumed scenarios of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Keywords: sun radiation, interlatitudinal heat exchange, ocean surface temperature, dissolubility, carbon dioxide concentration.

Введение. Солнце является основным источником энергии, определяющим радиационный и тепловой баланс Земли. Оно излучает энергию, которая обеспечивает Землю теплом и светом. Лучистая энергия Солнца – основной источник энергии гидрометеорологических, биохимических и многих других процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, на земной поверхности. Это важнейший фактор развития жизни на Земле, обеспечивающий необходимые для жизни термические условия и фотосинтез. «Солнце – единственный источник тепла, достаточно сильный для того, чтобы оказывать значительное влияние на температуру поверхности земли и воздуха» [2].

Годовой приход солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы Земли в среднем составляет $5,49 \cdot 10^{24}$ Дж. Этот процесс не постоянный, он подвержен межгодовым и многолетним (долгопериодическим и короткопериодическим) вариациям. Вариации приходящей к Земле лучистой энергии в основном определяются двумя причинами, имеющими различную физическую природу. Одна из них – изменение активности в излучении Солнца, другая – небесно-механические процессы, вызывающие изменения элементов земной орбиты (расстояние Земля – Солнце) и наклона оси вращения.

В перераспределении приходящего от Солнца тепла в пространстве климатической системы Земли (в атмосфере и океане) участвуют механизмы межширотного теплообмена («тепловая машина первого рода»), теплообмена в системе океан – материк, связанного с реверсивной сезонной сменой областей холода и тепла («тепловая машина второго рода»), в системе океан – атмосфера и др. [14]. Важным фактором в регулировании термического режима Земли является состав атмосферы, определяющий величину альbedo, роль парникового эффекта и их изменение.

В результате парникового эффекта удерживается тепло, получаемое нашей планетой от Солнца. Известно, что основным парниковым газом является водяной пар, содержание которого может достигать 4 % в единице объёма воздуха. Содержание CO₂ составляет всего 0,04 %, притом менее 1 % этого приходится на двуокись углерода, связанную с деятельностью человека [3, 4]. Таким образом, по объёму водяной пар почти на два порядка превосходит общее содержание в атмосфере двуокиси углерода, и почти на четыре порядка – антропогенного происхождения.

Наша планета – водная система: Мировой океан занимает 2/3 её площади, это основной источник водяного пара в атмосфере. В высокогорных районах планеты развиваются ледники, в полярных распространяются морские льды. На Земле существуют две ледниковые шапки (Антарктида и Арктика), представляющие собой образования из воды, находящейся в твёрдой фазе. На снимках из космоса видно, что Земля покрыта облаками, и это, прежде всего, водяной пар. Вода присутствует на Земле в трёх фазовых состояниях; переход из одного состояния в другое сопровождается процессами выделения или поглощения тепла – т. е. роль воды в природе Земли (с учётом известного гидрологического цикла) в процессах теплообмена огромна.

При отсутствии солнечного излучения температура на Земле была бы близка к температуре окружающего планету пространства (абсолютный нуль или -273°C). Сейчас среднегодовая приповерхностная температура Земли составляет около $+15^{\circ}\text{C}$. В случае отсутствия у Земли атмосферы (при существующем притоке лучистой энергии) её температура была бы ниже существующей на 39° и составила бы -24°C . Таким образом, приходящей от Солнца радиацией определяется приблизительно 86 % тепла (249°), а парниковым эффектом планеты – лишь 14 % (39°) [8]. Притом главным парниковым газом является водяной пар, а не CO_2 .

Тем не менее, многие исследователи (например, МГЭИК³) называют в качестве основного фактора наблюдаемого потепления глобального климата увеличение содержания CO_2 , связанного с деятельностью человека. Рассчитанные на основе климатических моделей прогнозы изменения климата ориентированы на предполагаемые сценарии выбросов CO_2 [19]. Эти представления составляют основу Парижских соглашений по климату и Климатической доктрины РФ. Однако связь многолетней изменчивости инсоляции Земли и содержания CO_2 исследована недостаточно. Для изучения этой связи нами используются ранее выполненные расчёты [8–13, 16].

Методика расчёта инсоляции. Расчёты приходящей солнечной радиации выполнялись по данным астрономических эфемерид [15] для всей поверхности Земли (без учёта атмосферы) в интервале с 3000 г. до н. э. по 2999 г. н. э. Исходными астрономическими данными для расчётов инсоляции были склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (среднего солнечного) и всемирного корректируемого времени (истинного солнечного). Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80 – Geodetic Reference System, 1980) с длинами полуосей, равными 6 378 137 м (большая) и 6 356 752 м (малая). В общем виде алгоритм расчётов можно представить выражением:

$$I_{nm}(\varphi_1, \varphi_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \left(\int_{-\pi}^{\pi} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha \right) d\varphi \right) dt, \quad (1)$$

где I – приходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ – площадной множитель (m^2), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал; $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$ – площадь бесконечно малой трапеции – ячейки эллипсоида; α – часовой угол, φ – географическая широта, выраженная в радианах; H – высота поверхности эллипсоида относительно поверхности Земли (м); $\Lambda(H, \varphi, t, \alpha)$ – инсоляция в заданный момент в заданном месте поверхности эллипсоида ($\text{Вт}/\text{m}^2$); t – время (с). Шаги при интегрировании составляли по долготе и широте 1° , по времени 1/360 часть продолжительности тропического года [9]. Значение солнечной

³ Межправительственная группа экспертов по изменению климата.

постоянной (среднее многолетнее значение TSI) принималось равным 1361 Вт/м^2 [12]. Изменение активности Солнца не учитывалось.

По результатам расчётов сформирована общедоступная база данных приходящей солнечной энергии во все широтные зоны Земли (протяженностью в 5°) за каждый астрономический месяц каждого года для периода от 3000 года до н. э. до 2999 года н. э. [16]. Эти данные использовались как исходные значения инсоляции. В качестве исходных данных по многолетней изменчивости содержания CO_2 в атмосфере анализировались среднемесячные значения содержания CO_2 , полученные в результате инструментальных измерений в районе Мауна-Лоа (за период с 1975 по 2015 гг.), размещённые на сайте Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) [17]. Именно эти данные являются основной аргументацией и «доказательством» того, что изменение содержания CO_2 , связанного с деятельностью человека, является главной причиной изменения глобального климата Земли [5, 19]. При этом предполагаемые сценарии изменения содержания CO_2 в атмосфере в связи с различными вариантами развития мирового промышленного производства составляют одно из условий климатического прогнозирования [19].

Результаты и их обсуждение. Анализ изменения содержания CO_2 в атмосфере показывает, что его многолетняя изменчивость на 99,4 % определяется линейным трендом (рис. 1). Значит, определение причин многолетней изменчивости содержания CO_2 заключается в определении факторов, с которыми связан этот тренд.

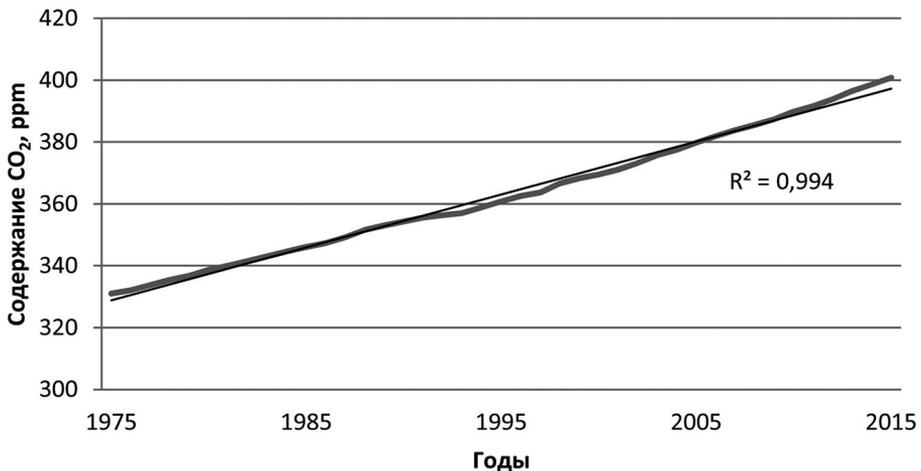


Рис. 1. Многолетняя изменчивость содержания двуокси углерода в атмосфере [17] и линейный тренд.

Определено, что на интервале от 3000 лет до н. э. до 2999 лет н. э. приходящая к Земле за год солнечная радиация сократилась всего на 0,005 %. В то же время распределение приходящей за год радиации по широтным зонам изменяется более значительно (до 3 %) [8, 11]. Поступление солнечной радиации в экваториальную область Земли в настоящее время (по крайней мере, в указанном временном диапазоне) увеличивается, а в полярные области – сокращается (рис. 2). То есть происходит увеличение широтной контрастности в соляном климате Земли (меридионального градиента инсоляции).

ции) и сглаживание сезонных различий. Следствием этого эффекта является усиление межширотного теплообмена (между тёплыми и холодными областями Земли – областями источника и стока тепла) как в атмосфере, так и в океане [11], т. е. усиление работы «тепловой машины первого рода» [14].

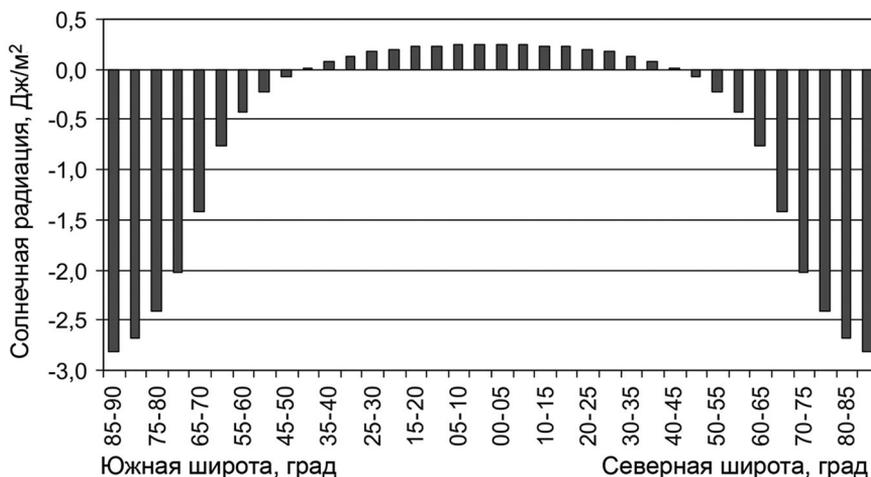


Рис. 2. Изменение инсоляции Земли в интервале с 3000 г. до н. э. по 2999 г. н. э. по широтным зонам (в % по отношению к средней для соответствующих широтных зон инсоляции).

Отмеченные изменения – тенденция усиления широтной контрастности и сглаживания сезонных различий в инсоляции Земли – связаны с вековой тенденцией уменьшения наклона оси вращения Земли в результате прецессии. Известно, что при увеличении угла наклона оси вращения увеличивается приход солнечной радиации в полярные районы, т. е. происходит сглаживание широтной контрастности в полушариях и усиление сезонных различий. При уменьшении угла наклона происходит увеличение радиации, поступающей в экваториальную область, уменьшение радиации, поступающей в полярные районы, и широтные контрасты возрастают, а сезонные различия сглаживаются [6].

Для анализа связи многолетней изменчивости содержания CO_2 с многолетней изменчивостью инсоляции Земли нами использовались два показателя (рис. 3): угол наклона Земли (определялся на основе астрономических эфемерид DE-406 [15] и инсоляционная контрастность (ИК). Для полушарий ИК рассчитывалась как разность солнечной радиации, приходящей в области $0^\circ\text{--}45^\circ$ и $45^\circ\text{--}90^\circ$. Для Земли принималось среднее по полушариям значение ИК.

Инсоляционная контрастность линейно связана с углом наклона оси вращения Земли (коэффициент корреляции $R = -0,997$). Изменение угла наклона и связанной с ним ИК определяется небесно-механическими процессами: планетной прецессией (тренд) и нутацией (19-летние вариации). Значения ИК и угла наклона сглаживались методом скользящего среднего по 21 году для исключения 19-летней вариации, не проявляющейся в изменчивости содержания CO_2 . Многолетняя изменчивость ИК в этом случае на 98,1 % определяется линейным трендом (рис. 4).

Корреляционный анализ многолетней изменчивости содержания CO_2 , ИК (рис. 5) и угла наклона оси вращения показывает, что связь между этими переменными близка

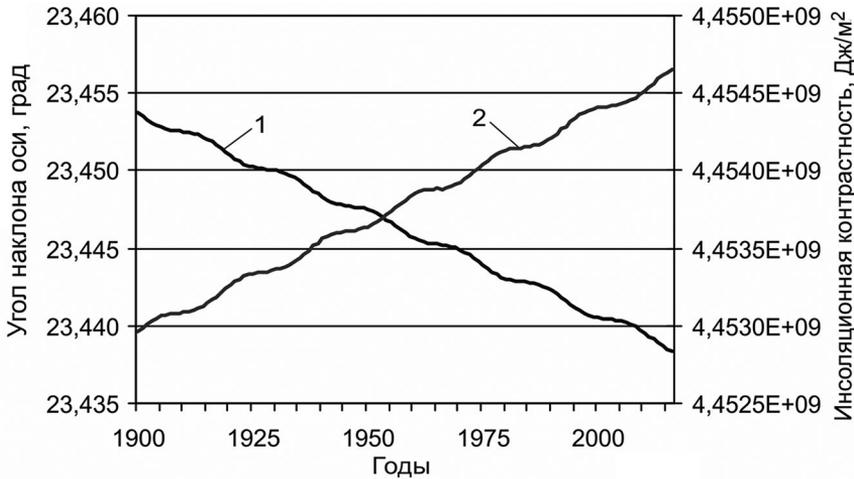


Рис. 3. Изменение угла наклона оси вращения Земли (1) и инсоляционной контрастности – ИК (2).

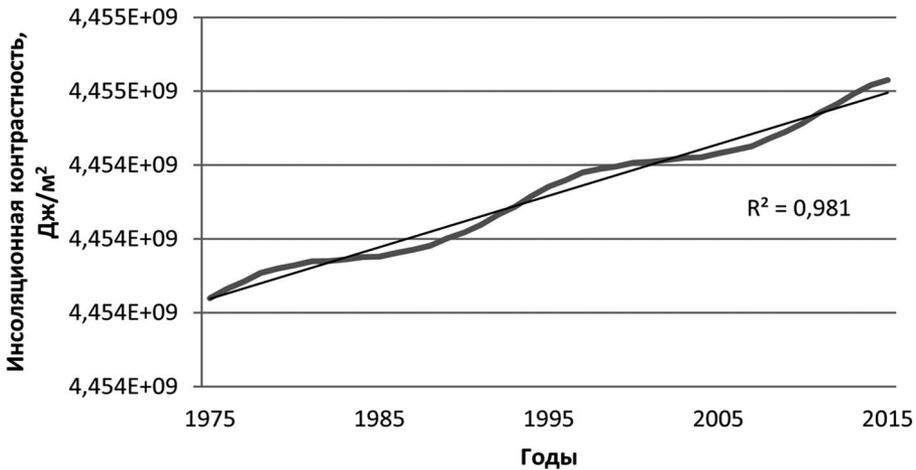


Рис. 4. Многолетняя изменчивость ИК и её линейный тренд.

к линейной. Значение R для содержания CO_2 в атмосфере и ИК составляет 0,988, для содержания CO_2 в атмосфере и угла наклона – 0,989.

Полученные линейные корреляционные связи стали основой для прогнозирования многолетней изменчивости содержания CO_2 на базе рассчитанных по инсоляции значений ИК [16]. Расчёты проводились на основе уравнений линейной и полиномиальной (полином второй степени) регрессии и последующего усреднения соответствующих значений содержания CO_2 , т. е. получались ансамблевые прогностические решения (рис. 6).

Коэффициент корреляции фактических и рассчитанных значений содержания CO_2 составляет 0,988. Среднее по модулю расхождение фактических и рассчитанных по ансамблю линейных и полиномиальных решений составляет 2,631 ppm. Это всего 0,725 % среднегодового содержания CO_2 в период инструментальных измерений

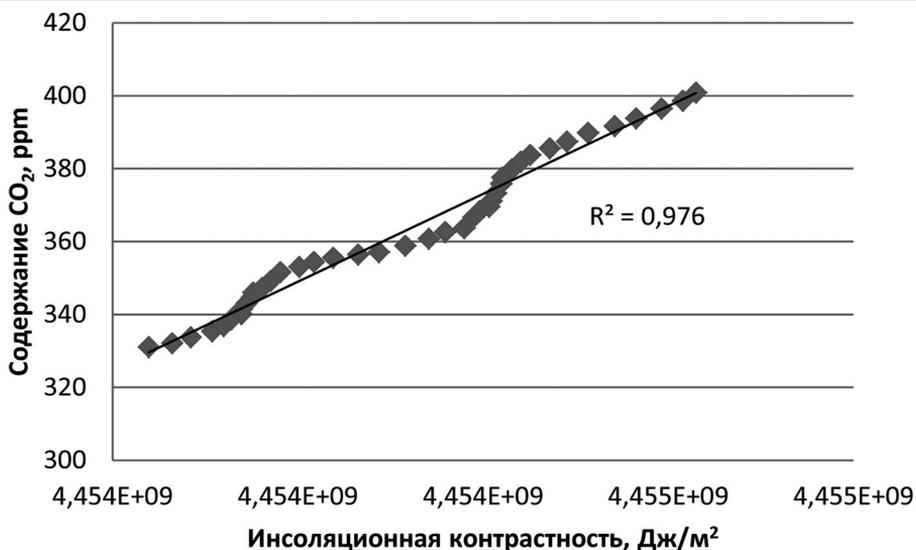


Рис. 5. График уравнения линейной регрессии и линейная аппроксимация.

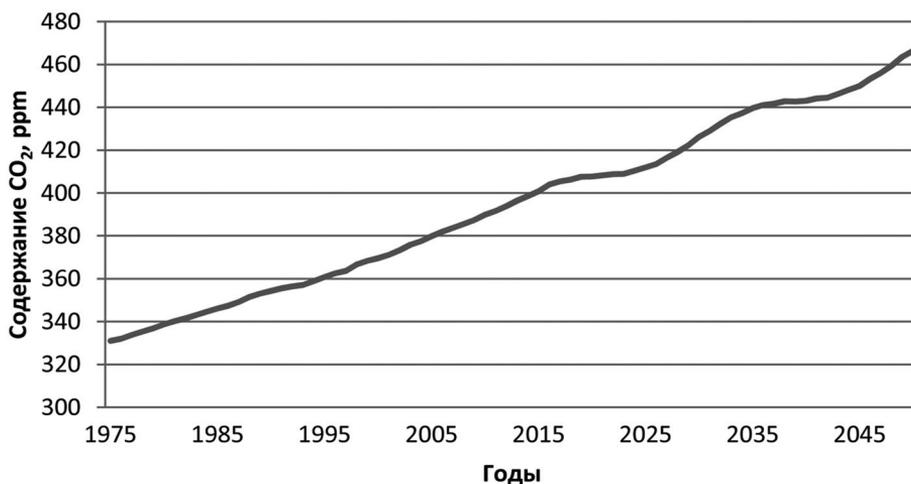


Рис. 6. Многолетняя изменчивость содержания CO₂ по данным [17] (с 1975 по 2015 гг.) и прогнозируемым (с 2016 по 2050 гг.) значениям.

(1975–2015 гг.). По рассчитанному прогнозу увеличение содержания CO₂ в 2050 г. относительно 2015 г. составит 65,5 ppт. Таким образом, ожидаемое увеличение содержания CO₂ составит около 16,3 % независимо от усилий стран участниц Парижского соглашения по климату. Это определяется тем, что менее 1 % CO₂ в атмосфере имеет антропогенное происхождение, в то время как многолетняя изменчивость почти 99 % содержащегося в атмосфере CO₂ регулируется многолетней изменчивостью ИК. Следовательно, полученный по регрессионной модели прогноз содержания CO₂ по своей определённости принципиально отличается от предполагаемых сценарных прогнозов МГЭИК [19].

Нами рассчитывалась дисперсия содержания CO_2 в рядах фактических значений (D_1) и в рядах разности фактических и рассчитанных (средних по ансамблю линейных и полиномиальных решений) значений содержания CO_2 (D_2). Затем находилось отношение дисперсии в соответствующих рядах разности фактических и рассчитанных значений содержания CO_2 и дисперсии фактических значений ($\frac{D_2}{D_1}$). Вычитанием из единицы полученных значений и затем умножением их на 100 были рассчитаны значения (в %) объясняемых регрессионной моделью изменений содержания CO_2 в атмосфере. В результате получено, что 97,7 % многолетней изменчивости содержания CO_2 в атмосфере объясняется многолетней изменчивостью ИК в регрессионной модели. Следует отметить, что инсоляция рассчитывалась без учёта атмосферы (а значит и содержания CO_2).

В результате проведённого анализа причины и механизм изменения глобального климата (его температурного режима) в связи с изменением инсоляции схематично можно представить следующим образом. Приход инсоляции в экваториальную область (источник тепла) увеличивается, а в полярные районы (области стока тепла) сокращается [8, 11, 16], т. е. увеличивается инсоляционная контрастность между экватором и полюсами. Это приводит к усилению межширотного теплообмена (усилению работы «тепловой машины первого рода») [14]. Тепло переносится воздушными потоками (в основном вихревыми образованиями – фронтальными и тропическими циклонами) в области стока, где от этого повышается температура (явное тепло). Воздушные массы при этом могут охлаждаться, высвобождая и скрытое тепло за счёт конденсации. Повышение температуры приводит к увеличению испарения и повышению содержания водяного пара (и других парниковых газов) в атмосфере [1]. Следствием этого является усиление парникового эффекта в областях стока тепла, что приводит к дополнительному повышению температуры. Кроме того, увеличение глобальной температуры в полярных районах определяется и положительными обратными связями, например, снижением альбеда из-за сокращения площади морских льдов в летний период [11, 16]. Усиление межширотного теплообмена происходит и в океане [8, 16].

В общепринятых в настоящее время представлениях о причинах изменения климата [19] основной из них считается многолетняя изменчивость содержания CO_2 , связанная с деятельностью человека. Однако, как показывают наши исследования, многолетняя изменчивость ПТВ (приповерхностная температура воздуха) и ТПО (температура поверхности океана) на 68,3 % определяется ИК. С учётом фаз 60-летнего колебания эти значения составляют 84,1 % и 84,2 % [8, 16]. Физическая основа, по которой ИК является причиной увеличения содержания CO_2 , заключается в том, что многолетней изменчивостью ИК определяется многолетняя изменчивость ТПО [8]. Следствием увеличения ТПО является уменьшение растворимости CO_2 в океане (и увеличение содержания CO_2 в атмосфере). Коэффициент корреляции содержания CO_2 в атмосфере и аномалии температуры поверхности океана [18] составляет 0,907. Согласно закону Генри–Дальтона, концентрация растворённого газа в воде и интенсивность газообмена атмосферы и океана зависят от парциального давления газа в атмосфере и его растворимости, которая снижается при повышении температуры (ТПО) и увеличении солёности воды:

$$m_g = C p_g,$$

где m_g – молярная концентрация газа в воде, p_g – парциальное давление газа над раствором, C – константа растворимости газа [4].

Заключение. Многолетняя изменчивость содержания CO_2 – в основном результат многолетней изменчивости ТПО, которая является следствием увеличения ИК, определяемого уменьшением угла наклона оси вращения Земли. Многолетняя изменчивость содержания CO_2 – не причина, а следствие изменения глобального климата, определяемого изменением наклона оси вращения Земли. Ранее, на основе сравнительного анализа палеотемператур и значений парциального давления CO_2 , полученных в результате анализа изотопного состава ледовых кернов Антарктиды, аналогичный вывод относительно содержания CO_2 был сделан О.Г. Сорохтиным [7].

По рассчитанному прогнозу содержание CO_2 в 2050 году составит 466 ppm. Увеличение содержания CO_2 относительно 2015 года составит 65,5 ppm. Следовательно, ожидаемое увеличение содержания CO_2 в атмосфере составит 16,3 % независимо от усилий стран – участниц Парижского соглашения по климату.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. Т 1. С. 11–26.
2. Воейков А.И. Климаты земного шара, в особенности России / Собр. соч. Т. 1. М.-Л.: АН СССР, 1948. С. 163–671.
3. Голубев В.Н., Гребенников П.Б., Ржаницин Г.А., Сократов С.А., Фролов Д.М., Шишков А.В. Влияние арктического ледяного покрова на внутригодовые колебания содержания CO_2 в атмосфере Северного полушария // *Материалы гляциологических исследований*. 2006. № 101. С. 49–54.
4. Голубев В.Н. Роль арктического морского ледяного покрова в газообмене поверхностных геосфер // *Криосфера Земли*. 2010. Т. XIV. № 4. С. 17–29.
5. Гор А. Неудобная правда. Глобальное потепление: как остановить планетарную катастрофу. СПб.: Амфора, 2007. 328 с.
6. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.–Л.: ГОНТИ, 1939. 208 с.
7. Сорохтин О.Г. Эволюция и прогноз изменений глобального климата Земли. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. 88 с.
8. Фёдоров В.М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. М.: Физматлит, 2017. 192 с.
9. Фёдоров В.М. Межгодовые вариации продолжительности тропического года // *Доклады РАН*. 2013. Т. 451, № 1. С. 95–97.
10. Фёдоров В.М. Периодические возмущения и малые вариации солярного климата Земли // *Доклады РАН*. 2014. Т. 457, № 2. С. 222–225.
11. Фёдоров В.М. Пространственные и временные вариации солярного климата Земли в современную эпоху // *Геофизические процессы и биосфера*. 2015. Т. 14, № 1. С. 5–22.
12. Фёдоров В.М. Теоретический расчёт межгодовой изменчивости инсоляции Земли с точным разрешением // *Астрономический вестник*. 2016. Т. 50, № 3. С. 233–238.
13. Фёдоров В.М. Анализ пространственных откликов приповерхностной температуры воздуха на многолетнюю изменчивость инсоляции Земли // *Жизнь Земли*. 2017. Т. 39, № 3. С. 245–262.
14. Шулейкин В.В. Физика моря. М.: АН СССР, 1953. 990 с.
15. <http://ssd.jpl.nasa.gov>. – NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США.
16. <http://www.solar-climate.com> – электронный ресурс «Солнечная радиация и климат Земли».
17. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/gmd/ccgg/> - Электронный ресурс Национального управления США по исследованиям океана и атмосферы.

18. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature> – Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэддли.
19. <http://www.ipcc.ch/> – Электронный ресурс Международной группы экспертов по изменению климата.

REFERENCES

1. Alekseev G.V. Development and amplification of global warming in the Arctic. *Fundamental and Applied Climatology*. **1**, 11–26 (2015) (in Russian).
2. Voeikov A.I. Climates of the world, particularly of Russia. Collected works. V.1. Pp. 163–671 (St.-Petersburg, 1948) (in Russian).
3. Golubev V.N., Grebennikov P.B., Rzhanitsin G.A., Sokratov S.A., Frolov D.M., Shishkov A.V. Influence of the Arctic ice cover on interannual oscillation of CO₂ content in the atmosphere of Northern Hemisphere. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy* (Materials of glaciological studies). **101**, 49–54 (2006) (in Russian).
4. Golubev V.N. Role of arctic sea ice cover in gas exchange of surficial geospheres. *Kriosfera Zemli*. **14** (4), 17–29 (2010) (in Russian).
5. Gore A. *An Inconvenient Truth: The Planetary Emergency of Global Warming and What We Can Do About It*. 328 p. (Rodale Books, 2006) (in Russian).
6. Milankovitch M. *Mathematical Climatology and the Astronomical Theory of Climatic Variations*. 208 p. (GONTI, Moscow, 1939) (in Russian).
7. Sorokhtin O.G. The evolution of the Earth's climate and the genesis of glacial epochs. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. **76** (4), 332–338 (2006) (in Russian).
8. Fedorov V.M. *Earth insolation and modern climatic changes*. 192 p. (Moscow: Fizmatlit, 2017) (in Russian).
9. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year. *Doklady Earth Sciences*. **451** (1), 750–753 (2013), DOI: 10.1134/S1028334X13070015.
10. Fedorov V.M. Periodic Perturbations and Small Variations of the Solar Climate of the Earth. *Doklady Earth Sciences*. **457** (1), 869–872 (2014), DOI: 10.1134/S1028334X14070137 (in Russian).
11. Fedorov V.M. Spatial and temporal variations in solar climate of the Earth in the Present epoch. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. **51** (8), 779–791 (2015), DOI: 10.1134/S0001433815080034 (in Russian).
12. Fedorov, V.M. Theoretical calculation of the interannual variability of the Earth's insolation with daily resolution. *Solar System Research*. **50** (3), 220–224 (2016), DOI: 10.1134/S0038094616030011 (in Russian).
13. Fedorov V.M. The analysis of the spatial responses of near-surface air temperature to the long-term variability of solar irradiance. *Zhizn Zemli*. **39** (3), 245–262 (2017) (in Russian).
14. Shuleykin V.V. *Fizika morya*. 990 p. (Moscow: AN SSSR, 1953) (in Russian).
15. <http://ssd.jpl.nasa.gov> – NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics).
16. <http://www.solar-climate.com>
17. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/gmd/ccgg/>
18. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>
19. <http://www.ipcc.ch/>