



ГОД НАУКИ
2017

В. Ф. Логинов,
В. С. Микуцкий

ИЗМЕНЕНИЯ

КЛИМАТА

*тренды
циклы
паузы*



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт природопользования

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА: *тренды, циклы, паузы*

Минск
«Беларуская навука»
2017

УДК 551.583+502.171

Логинов, В. Ф. Изменения климата: тренды, циклы, паузы / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 179 с. – ISBN 978-985-08-2127-0.

В монографии рассмотрены пространственно-временные изменения аномалий температуры земного шара и их связь с естественными (вулканический аэрозоль, солнечная и геомагнитная активность, гравитационное воздействие больших планет Солнечной системы – Юпитера и Сатурна) и антропогенными факторами, а также общей циркуляции атмосферы. Показано наличие 22-летнего цикла солнечной активности в изменении величин линейных трендов аномалий температуры в различных регионах и глобальном масштабе. Рассмотрены механизмы его проявления в атмосфере Земли.

Книга адресует широкому кругу климатологов и геофизиков, а также специалистам в других областях знаний, интересующихся дискуссионными проблемами космических влияний на Землю.

Табл. 10. Ил. 35. Библиогр.: 188 назв.

Рецензенты:

доктор географических наук, профессор А. А. Волчек,
доктор географических наук, профессор П. С. Лопух

ISBN 978-985-08-2127-0

© Логинов В. Ф., Микуцкий В. С., 2017
© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Оценки трендовых и циклических составляющих в изменении температуры земного шара	8
1.1. Неопределенности оценок изменения климата и их причины	8
1.2. Роль урбанизации и неопределенности оценок глобальной и региональной температуры	16
1.3. Тренды, скачки и паузы в изменении глобальной и региональной температуры и их возможные причины	23
1.4. Характер линейных трендов глобальной температуры в различные периоды.....	35
1.5. Изменение климата Беларуси.....	45
Глава 2. Пространственно-временные изменения величины трендов аномалий температуры земного шара	48
2.1. Материалы и методы исследований	48
2.2. Анализ трендов аномалий температур земного шара.....	54
2.3. Оценка тесноты связи величин трендов аномалий температуры земного шара и модельных изменений солнечной активности в 22-летнем цикле.....	59
2.4. Спектральный анализ рядов линейных трендов аномалий температуры земного шара.....	67
2.5. Временная изменчивость величин линейных трендов аномалий температуры земного шара и их возможные причины.....	72
Глава 3. Влияние солнечной и геомагнитной активности на атмосферу Земли	78
3.1. Изменение солнечной и геомагнитной активности за период наблюдений (1700–2016 гг.).....	78
3.2. Индексы геомагнитной активности как показатель влияния заряженных частиц на атмосферу Земли.....	84
3.3. Природа квази-22-летнего цикла солнечной активности	99
3.4. Активные долготы на Солнце и рекуррентность солнечной и геомагнитной активности.....	107
3.5. Проявление 27-дневного солнечного цикла в нижней атмосфере....	120
3.6. Возможные агенты и механизмы солнечно-атмосферных связей	122
3.7. Оценки влияния космогеофизических факторов на погоду и климат.....	147
Заключение	157
Литература	167

ВВЕДЕНИЕ

С целью стандартизации терминов рабочая группа по изучению колебаний климата Всемирной метеорологической организации определила «изменение климата» как общий термин, включающий все виды его непостоянства независимо от их природы.

Такие виды непостоянства климата, как тенденции (тренды), разного рода колебания (периоды, ритмы, циклы, флюктуации, скачки, паузы), являются предметом анализа в представленной монографии.

Особое внимание будет уделено трендам, циклам, паузам и скачкам в изменении температуры земного шара и формирующим их внешним факторам.

Проблема изменения климата, затрагивающая многочисленные сферы экономики и международной безопасности, сегодня находится в центре внимания мирового сообщества.

Трудно назвать другую проблему, которая бы привлекла столь пристальное внимание ученых, политиков, всего мирового сообщества. Климатический (географический) детерминизм Хантингтона предопределял климат как главный компонент в развитии культуры, здоровья и истории человечества. Естественно, что глубина реакции экономики и социальной сферы на изменения климата определяется в значительной степени эпохой развития человеческого общества и социальной структурой, но роль климата в развитии человеческого общества в настоящее время еще более возросла и тому виной является деятельность человека. Об этом свидетельствует подписание в декабре 2015 г. Париж-

ского соглашения по защите климата. И это произошло несмотря на то, что научное сообщество до сих пор так и не договорилось о траектории климата будущего, поскольку пока нет полного понимания физических процессов, определяющих поведение составляющих климатической системы Земли. Наиболее обстоятельно их роль изложена в широко известных оценочных докладах изменений климата Земли, подготавливаемых к изданию Международной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) [125, 126]. Авторы согласны с оценкой и разделяют мнение экспертов о значительном прогрессе в развитии глобальных климатических моделей, связанном с ростом возможностей вычислительной техники и крупными достижениями в исследовании климатической системы, но нельзя не видеть и существенных неопределенностей в оценках изменений современного климата, весьма широких интервалов изменений будущего климата, что, естественно, должно потребовать разработки многовариантных мер по адаптации различных отраслей экономики к изменяющемуся климату.

До настоящего времени остается особенно большая неопределенность в оценках влияния «малых» климатообразующих факторов (солнечная и геомагнитная активность, геофизические параметры Земли, планетные влияния и др.). Здесь особенно велик разброс оценок: от полного отрицания таких влияний до попыток все изменения на Земле приписать воздействиям Солнца, Луны и другим планетам Солнечной системы. Ряд ученых вообще считают, что установленные солнечно-атмосферные связи – результат «удачных опытов по самовнушению», или дают на этот счет еще более жесткие определения [64, 91].

Однако к настоящему времени имеются достаточно определенные основания утверждать, что проблема космических влияний на атмосферу и климат приобрела респектабельность и тому свидетельством являются результаты, изложенные в многочисленных монографических работах и отдельных статьях, а также проведение на указанную тему многочисленных международных совещаний и конференций. Даже такой яркий противник космических влияний на атмосферу Земли, как академик РАН

А. С. Монин и соавт., в одной из своих последних работ рассматривал 60-летний цикл «как самый длинный из коротких циклов», в котором «приблизительно повторяется расположение Солнца, Юпитера и Сатурна» [24].

Предметом острых дискуссий до сих пор остается также проблема влияния на климат такого внешнего фактора, как аэрозоли. Величина и даже знак влияния аэрозолей на климат зависят от их оптических свойств и микрофизических характеристик. В зависимости от своих свойств они могут приводить как к повышению, так и к понижению температуры. Неопределенность оценок влияния аэрозолей на климат прямо либо косвенно – через образование облаков и осадков – пока остается крайне высокой.

Есть и много других неопределенностей в моделировании изменений климата, которые связаны с оценкой роли обратных связей, и особенно в оценках роли автоколебаний в климатической системе. Но этот вопрос выходит за рамки настоящей книги.

В данной работе предпринята попытка вынести на публичное обсуждение некоторые новые и довольно спорные идеи и подходы в исследовании солнечно-атмосферных связей, еще раз критически взглянуть на предложенные к настоящему времени механизмы солнечно-атмосферных связей и оценки роли солнечной активности в изменении параметров нижней атмосферы и, как следствие, погоды и климата.

Наиболее остро проблема достоверности оценки роли внешних факторов в изменении параметров атмосферы поставлена в крупной работе Скафетта [161], где сделан вывод, который сам по себе уже может вызвать дискуссию: «самые последние реконструкции температуры показывают, что общее влияние солнечной активности на климат было недооценено по крайней мере в три раза по традиционным моделям энергетического баланса климатической системы». Наши оценки влияния изменений солнечной постоянной, связанные с изменением яркости солнечного диска за счет изменения площади и температуры темных образований – пятен, и светлых образований – факелов и светлых колец [50], также оказались более существенными, чем это приведено в отчете МГЭИК ($0,05 \text{ Вт/м}^2$) [125].

В заключение отметим, что самые маргинальные утверждения по вопросу современного потепления климата сводятся к тому, что более 90% наблюдаемого с 1900 г. потепления и практически 100% наблюдаемого с 1970 г. потепления имеет антропогенное происхождение [134]. Однако большая неопределенность в антропогенном воздействии и чувствительности климатической системы к изменениям парниковых газов, неудовлетворительное моделирование обратной связи водяного пара, динамики океана и биосферы ставят под сомнение достаточность и обоснованность полученных результатов численного моделирования общей циркуляции для реконструкции современного и будущего климата, а следовательно, такое утверждение не имеет достаточных научных аргументов [41, 77, 123, 161].

В работе основное внимание было уделено оценке вклада 22-летнего магнитного цикла солнечной активности в изменение климата. Этот цикл больше выражен не в изменении электромагнитного (волнового) излучения Солнца, а в изменении притока в магнитосферу и атмосферу Земли заряженных частиц разной энергии (солнечный ветер, космические лучи), которые приходят от Солнца, а также галактических космических лучей. В этой связи спектр механизмов (схем) влияния солнечной активности на атмосферу Земли должен быть несколько сужен и сопровождаться детальным анализом магнитных полей на Солнце и в околоземном пространстве, а также индексов геомагнитной активности, которые в большей мере, чем индексы солнечной активности, характеризуют приток заряженных частиц в атмосферу Земли. Кроме того, проявления этого цикла в атмосфере и биосфере Земли изучены в меньшей степени, чем таких известных циклов солнечной активности, как 11-летний и вековой.

Неутихающие дискуссии о причинах современного потепления климата стимулировали написание этой, по сути еще одной дискуссионной работы.

Авторы признают, что ряд представленных в монографии результатов носит постановочный характер, а возможно, даже и не поддерживается значительным числом специалистов в области моделирования и прогнозирования изменений климата, но тем

не менее авторы считают, что изложение не общепринятых точек зрения на тот или иной предмет делает книгу более интересной для широкого круга научной общественности, а это, безусловно, должно способствовать решению дискуссионной проблемы диагноза, моделирования и прогнозирования климата.

Главы 1, 2 (за исключением раздела 2.1), 3, введение и заключение написаны В. Ф. Логиновым, глава 2 – В. С. Микуцким.

Авторы признательны Т. Г. Табальчук за активное участие в подготовке рукописи к печати.

В работе использованы данные значений геомагнитного индекса aa , рассчитанного и предоставленного EOST (Школа и информационный центр наук о Земле, Страсбург, Франция). Авторы благодарят сеть геомагнитных обсерваторий INTERMAGNET и международную службу геомагнитных индексов ISGI (isgi.unistra.fr).

ОЦЕНКИ ТРЕНДОВЫХ И ЦИКЛИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА

1.1. Неопределенности оценок изменения климата и их причины

К настоящему времени установлено наличие линейного положительного тренда в изменении температуры Северного и Южного полушария Земли за период достаточно надежных инструментальных наблюдений (100–170 лет). Показано, что рост температуры в Северном полушарии составляет $0,8 \pm 0,2$ °С, а в Южном – $0,6 \pm 0,2$ °С [19, 22, 23, 27, 36, 75, 76, 125, 126]. Скорость роста температуры на протяжении различных отрезков указанного времени испытывает значительные изменения: средняя скорость изменялась от $0,35$ °С за 10 лет до нескольких сотых градуса за 10 лет. В отдельные периоды тренд температуры даже менял свой знак, например, в период с 1940-х до 1960-х гг. тренд глобальной температуры и температуры в Северном полушарии стал отрицательным [55, 59, 76]. Это означает, что в изменении температуры отмечаются периоды быстрых изменений, так называемые скачки, и периоды медленных изменений температуры – паузы. Продолжительность скачков и пауз меняется в значительных пределах и составляет 5–15 лет [56–59, 178].

Основным фактором современного потепления климата принимается антропогенная деятельность, которая, по данным многочисленных публикаций [12, 36, 79, 126, 140], определяет не только повсеместный рост температуры в разных регионах земного шара, но и изменения интенсивности и повторяемости экстремальных климатических явлений (засух, наводнений, ураганов,

теплых зим и т. д.), а также таких крупномасштабных многолетних колебаний климатической системы, как Северо-Атлантическое колебание (САК), Южное колебание (ЮК) и др. Однако в других работах гипотеза о наличии трендов указанных колебаний отвергается на очень высоких (0,95 и выше) статистических уровнях по *t*-критерию Стьюдента [24, 77, 93]. В многочисленных крупномасштабных процессах выявляется колебание с периодом около 60–70 лет. Наличие такого колебания было неоднократно установлено во многих крупномасштабных характеристиках климатической системы, таких как Северо-Атлантическое и Северо-Тихоокеанское колебания [35, 59, 79], а также в изменениях температуры Северного полушария и особенно температуры высоких широт названного полушария. Понятно, что 60–70-летнее колебание не может быть связано с антропогенной деятельностью. Не обнаружено тренда в ряду разностей температуры Северного и Южного полушарий, хотя основные источники парниковых газов находятся в Северном полушарии [24].

Известно, что изменения приземной температуры на поверхности Земли происходят неравномерно. Если исходить из парниковой теории климата, то изменения температуры должны быть наиболее значительными в высоких широтах Земли. Это обусловлено вкладом альбедной обратной связи и воздействием сильной гравитационной устойчивости, вызванной выхолаживанием возле поверхности Земли, которая подавляет конвекцию и перенос длинноволнового излучения, приводя к концентрации, обусловленной ростом углекислого газа и других парниковых газов в тонком приповерхностном слое. Такие условия могут обеспечивать более яркое проявление парникового эффекта в изменении климата в холодное время года и суток, когда более часто наблюдается инверсионное распределение температуры и связанное с ростом парниковых газов потепление «запирается» в тонком приповерхностном слое. Анализ, проведенный в работах [18, 24, 67, 75], показывает, что с середины 1960-х гг. происходил непрерывный рост аномалий температуры приземного воздуха в холодный период года (ноябрь–апрель) на территории Арктики, и этот рост был бóльшим, чем в других районах Северного полушария, но не

менее существенный рост аномалий температуры в арктических районах наблюдался в 1915 по 1940 г., когда отмечался весьма незначительный рост содержания парниковых газов в атмосфере, а затем наступило падение величины аномалий температуры на протяжении четверти века. Величина падения аномалий температуры составила около $2/3$ ее роста в предшествующую четверть века. В северных широтах ($60\text{--}90^\circ$ с. ш.) понижение температуры составило $1,5^\circ\text{C}$. Как видно из представленного в работе [24] рис. 2, квазишестидесятилетнее колебание в арктическом районе выражено наиболее ярко, однако последний вопрос более сложен, чем это представлено в работе [24].

Известно, что максимальный рост температуры отмечается в континентальных районах. На материках создаются более благоприятные условия для усвоения длинноволновой радиации по сравнению с коротковолновой, поэтому потепление должно быть более интенсивным в центре материков, особенно зимой и ночью, когда ослабляется вертикальная конвекция. На океанах поглощение коротковолновой солнечной радиации днем происходит в поверхностном слое воды, а длинноволновой – в поверхностной пленке, что стимулирует рост испарения и, следовательно, снижение температуры поверхности океана [30, 65]. Это означает, что потепление в результате воздействия парниковых газов должно быть больше выражено в Северном полушарии, где относительная площадь материков существенно выше, чем в Южном. И действительно, в Северном полушарии, особенно в последние десятилетия, скорость и величина роста температуры была выше, чем в Южном.

Однако более важной особенностью изменений климата в Северном и Южном полушариях является то, что, если исключить из рассмотрения положительный линейный рост температуры в высоких широтах (Арктика и Антарктика), который, вероятно, связан с ростом парниковых газов, отклонения температуры от линейного тренда в Арктике и Антарктике изменяются в противофазе. Это противофазное изменение температуры в высоких широтах земного шара имеет естественное происхождение и связано с известным Северо-Атлантическим колебанием. Последнее,

вероятно, и формирует противоположное по фазе развитие ледовитости в Северном Ледовитом и Южном океанах Земли [116].

В работах [24, 161] делается вывод, что размах 60–70-летнего колебания соизмерим с линейным трендом глобальной температуры. Это означает, что во время наступления минимума в указанном цикле в течение ближайших десятилетий можно ожидать приостановки глобально потепления. Однако два последних теплых года не свидетельствуют об этом. О более скромном вкладе 60–70-летнего колебания в дисперсию глобальной температуры сделан вывод в докладе Э. Р. Раньковой и Г. В. Груза на семинаре Института глобального климата и экологии Росгидромета 20 мая 2013 г. Они указали, что в разных районах земного шара и месяцах года вклад 60-летнего колебания в дисперсию температуры ряда не достигает 25%. В своем докладе они также указывают, что 60-летнее колебание не воспроизводится гидродинамическими моделями, но за счет этого колебания можно ожидать понижение глобальной температуры на 0,25 °С к 2040 г., когда наступит очередной минимум 60-летнего колебания. На фоне 60–70-летних колебаний могут происходить и короткопериодные колебания. Наиболее часто их связывают с «малыми» климатообразующими факторами:

- свободные колебания оси вращения Земли и связанное с ними явление «полюсного прилива». Средняя продолжительность таких волн составляет шесть лет, и они связаны с Чандлеровским 14-месячным колебанием [63, 70];

- многолетние лунно-солнечные приливы. Наиболее известным является многолетний деклинационный лунный прилив. Его средняя продолжительность составляет 18,6 лет [63];

- многолетние изменения скорости вращения Земли;

- многолетние колебания солнечной и геомагнитной активности. Их часто называют гелиогеофизическими факторами. Наиболее существенными из них являются 11-летние, 22-летние и вековые циклические колебания и их обертоны (5–6-летние, полувековые (44-летние) и др.);

- изменения магнитного поля Земли [5].

Считается, что ряд колебаний в климатической системе возникает в результате ее реакции на указанные выше внешние

воздействия. Отмечается также, что многолетние автоколебания в климатической системе возникают в результате ее реакции на указанные выше внешние воздействия. Однако многолетние автоколебания в климатической системе могут происходить и без внешних воздействий [127]. Следует отметить, что оценки роли названных выше внешних факторов в изменение климата Земли являются предметом острых дискуссий.

Природа 60–70-летнего цикла, как и других указанных выше циклов в климатической системе, до настоящего времени также остается дискуссионной, тогда как природа положительного тренда в изменении температуры в подавляющем числе работ приписывается в основном росту содержания парниковых газов в атмосфере в результате антропогенной деятельности [125, 126].

Более 40 лет назад появились работы, в которых обращалось внимание на то, что вследствие гравитационного взаимодействия Солнца и планет Солнечной системы, особенно таких планет-гигантов, как Юпитер и Сатурн, движения планет происходят не вокруг Солнца, а вокруг центра массы Солнечной системы. Вокруг центра массы Солнечной системы движется и само Солнце. Эту точку зрения разделяют многие ученые, иначе трудно понять, почему под влиянием планет Солнце может двигаться вокруг центра массы, а сами планеты не могут.

Тем не менее, до сих пор продолжает складываться такая ситуация, когда налицо выступает факт недооценки или недопонимания влияния Солнца и планет Солнечной системы на процессы в земной атмосфере у определенной группы ученых. Другая группа ученых, наоборот, переоценивает роль внешних сил в изменении атмосферы и, как следствие, климата.

В последние годы появилась обстоятельная работа Скафетта [161], в которой показано, что в изменении скорости движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы имеется 20-летняя и 60-летняя модуляция солнечной орбиты. 60-летняя модуляция скорости Солнца также в точности соответствует 60-летней модуляции полярных сияний и глобальной температуре. После устранения восходящего тренда температуры, связанного, вероятно, с ростом парниковых газов, 60-летняя цикличес-

ская модуляция составляет 0,3–0,4 °С [161]. Эта оценка в 2 раза превышает оценку Э. Я. Раньковой и Г. В. Груза. Четкая 60-летняя вариация обнаружена в изменении полярных сияний в умеренных широтах с 1700 по 1900 г. [161]. Другие авторы обнаружили колебания подобной длительности и в иные годы нынешнего тысячелетия в различных районах земного шара. Эти ряды достаточно хорошо коррелируют с рядами полярных сияний, а следовательно, со вторжением в атмосферу заряженных частиц низкой энергии. В изменении числа полярных сияний за различные периоды времени длительность 20-летнего цикла изменялась в интервалах $20,6 \pm 0,9$; $21,3 \pm 0,9$; $20,3 \pm 0,9$; $20,2 \pm 0,9$. Приливное влияние Юпитера и Сатурна на расстоянии 1 а. е. от Солнца, вероятно, и обеспечивает земные проявления квазидвадцатилетнего цикла. Проведенное нами сопоставление экстремумов (максимумов и минимумов) приливных аномалий, вызванных Юпитером и Сатурном, с экстремумами 22-летнего солнечного цикла показало их близкое совпадение в первые десятилетия XX в., но начиная с 1950-х гг. экстремумы значений приливных аномалий наступают на несколько лет раньше, чем экстремумы 22-летних циклов солнечной активности: наступила десинхронизация воздействия двух факторов на атмосферу Земли. Таким образом, синхронизация влияния указанных внешних факторов на климат должна обеспечить более существенные по амплитуде изменения величины линейных трендов аномалий температуры земного шара. Результаты анализа величины трендов аномалий температуры обнаруживают указанную тенденцию (см. главу 2). В дальнейшем мы намерены провести работу по детализации этого предварительного вывода.

Минимумы 60-летнего цикла грубо приходились на 1880, 1940 г. и самое начало XXI в. Минимум указанного цикла должен наступить в 2040-е гг., тем самым привести к некоторому падению глобальной температуры. Пауза в изменении глобальной температуры 1998–2013 гг. совпала с началом нисходящей ветви 60-летнего цикла. Наметившийся в 2014 г. рост глобальной температуры, связанный, вероятно, с интенсивным событием Эль-Ниньо, прервал эту паузу. Изменения глобальной температу-