

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ И ТЕПЛОСОДЕРЖАНИИ МИРОВОГО ОКЕАНА

Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко, С.И. Молодых, О.А. Рубцова

SOLAR ACTIVITY AND DYNAMIC PROCESSES IN THE ATMOSPHERE AND WORLD OCEAN HEAT CONTENT

G.A. Zherebtsov, V.A. Kovalenko, S.I. Molodykh, O.A. Rubtsova

В рамках развиваемой авторами модели влияния солнечной активности на параметры земной климатической системы, управляющие потоком энергии, уходящей от Земли в космос в высокоширотных областях, представлен сценарий климатических изменений в XX в. Обсуждаются закономерности изменений циркуляции в атмосфере и океане. Особое внимание уделяется рассмотрению причин «похолодания» в течение 1940–1976 гг. в Северной полушарии и природы аномального возрастания теплосодержания земной климатической системы (океана) в период 1969–1980 гг. Показано, что эти явления – следствие изменений циркуляции в атмосфере и океане (в частности, изменения термохалинной циркуляции в Северной Атлантике), теплообмена между океаном и атмосферой и криосферой.

We present the scenario of climatic changes in the 20th century within the model the authors develop which shows solar activity effect on the parameters of the Earth climatic system driving the energy flux leaving the Earth for space in the highlatitude areas. We discuss the regularities of circulation variations in the atmosphere and the world ocean. Special attention is paid to considering the causes of "cold snap" in 1940–1976 in the Northern hemisphere and the nature of abnormal growth of heat content in the Earth climatic system (ocean) in 1969–1980. We show that these phenomena are the effect of circulation changes in the atmosphere and the world ocean (in particular, the change of thermohaline circulation in the Northern Atlantic), the heat exchange between the ocean and the atmosphere and the cryosphere.

В подавляющем большинстве работ, посвященных изучению влияния солнечной активности на погоду и климат, предполагается, что энергия, необходимая для изменения климатических характеристик тропосферы, должна обеспечиваться извне. Однако известно, что изменения потока энергии, достигающего нижней тропосферы, за счет вариаций солнечной активности пренебрежимо малы по сравнению с запасом энергии в стратосфере и тропосфере. Несмотря на это, по-прежнему при рассмотрении вопросов гелиоклиматических связей, особенно для длительных периодов, восстановленные характеристики солнечной активности (числа Вольфа) переводят в энергетические (солнечная постоянная, Вт/м²). Это встречает категорическое (по нашему мнению, обоснованное) возражение со стороны большинства климатологов и метеорологов о значимом влиянии солнечной активности на климат Земли.

Главную роль в формировании и изменениях климата играет радиационный фактор. Радиационный баланс Земли характеризуется тем, что на низких широтах поглощенная земной системой солнечная радиация превосходит потери за счет излучения. В высоких широтах имеет место обратная картина – здесь потери тепла превосходят количество поглощенной солнечной радиации. Наблюдаемое климатическое распределение температуры на Земле поддерживается за счет межширотного переноса энергии. В связи с этим система оказывается чувствительной к изменениям потерь тепла в высокоширотных областях и соответствующим изменениям меридионального градиента температуры и оттока тепла от низкоширотных областей. Следовательно, изменение потерь в высокоширотных областях может заметно повлиять на теплосодержание земной климатической системы и климата. В предложенной нами модели [1–3] основными факторами, отра-

жающими влияние солнечной активности на погодно-климатические характеристики тропосферы, являются параметры солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, которые определяют геомагнитную активность. Кроме того, определенный вклад в изменение электрического поля высокоширотной тропосферы вносят большие потоки солнечных космических лучей (СКЛ), генерируемые во время солнечных вспышек. Следует отметить, что долговременные значения геомагнитной возмущенности, сглаженные по 11-летним циклам, достаточно хорошо коррелируют с числом солнечных пятен. Однако в пределах отдельных 11-летних солнечных циклов связь неустойчива. Это наглядно можно видеть из данных, представленных на рис. 1.

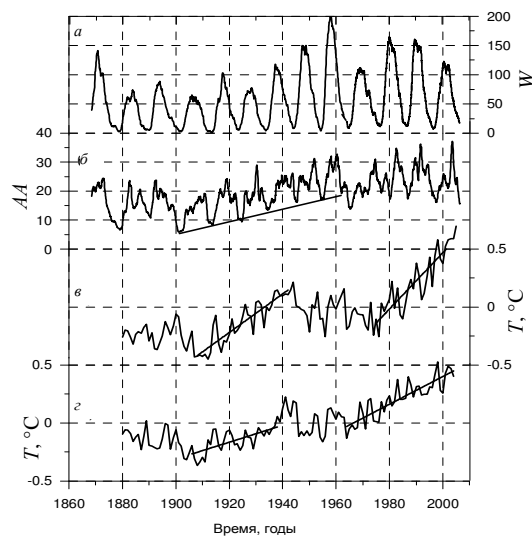


Рис. 1. Среднегодовые значения солнечной (W) (а), геомагнитной активности (AA -индекс) (б) и аномалий приземной температуры воздуха Северного и Южного полушарий (в) и глобальной температуры Земли (г).

С начала XX в. наблюдается непрерывное возрастание геомагнитной активности, продолжающееся до настоящего времени, которое характеризуется модуляцией 11-летним циклом и некоторым «провалом» в период 1965–1975 гг. с последующим возрастанием вплоть до 2007 г. Если предложенная модель реалистична и правильно описывает основные физические процессы в земной климатической системе, то следует ожидать определенных закономерностей в изменении климатических характеристик, вследствие вариаций геомагнитной активности. В соответствии с этой моделью, возрастание геомагнитной активности с начала XX в. должно приводить к уменьшению радиационного выхолаживания и соответствующему возрастанию температуры в высокоширотных областях, с некоторым запаздыванием из-за тепловой инерции.

Увеличение солнечной и геомагнитной активности в начале XX в. совпало с положительной фазой Северного Атлантического колебания, которое способствовало интенсификации межширотного переноса тепла в атмосфере и океане за счет интенсивного энергообмена, связанного с ветровым напряжением у поверхности океана, особенно в Северной Атлантике.

Эффективное включение влияния геомагнитной активности на радиационный баланс полярных областей обеспечило уменьшение радиационного выхолаживания и увеличение приземной температуры воздуха (ПТВ) в высокоширотных областях. С некоторым запаздыванием (1920–1940 гг.) началось эффективное таяние морского льда в Арктическом бассейне и сокращение его площади в теплый сезон (рис. 2). Уменьшение площади морского льда усилило воздействие потепления за счет положительной обратной связи «потепление – уменьшение ледовитости – уменьшение альbedo – повышение температуры воздуха» для теплого периода.

Именно в этот период наблюдается аномальное увеличение ПТВ, особенно значительное в полярных областях Северного полушария, которое сменилось похолоданием в 1940–1976 гг. Учитывая, что в этот период продолжалось возрастание солнечной и геомагнитной активности, причины похолодания до

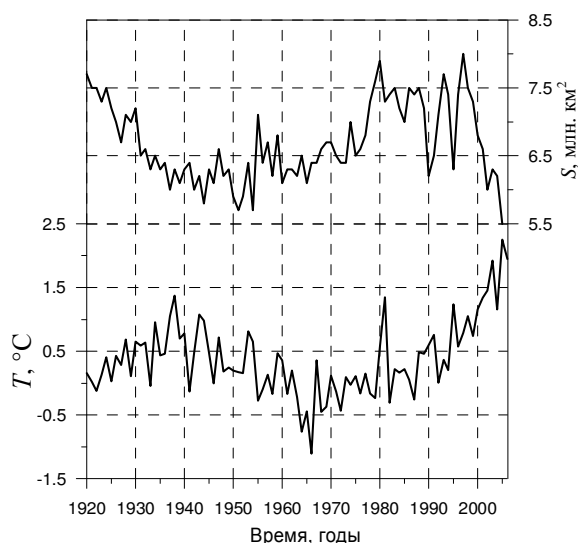


Рис. 2. Долговременные изменения площади льда в Арктике и приземной температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария (57.5–87.5 N).

последнего времени были неясны. Отметим очень важную особенность: в низкоширотных областях и в Южном полушарии в этот период потепление продолжалось. В связи с этим рассмотрим изменение климатических характеристик в этот период более внимательно.

Причины понижения ПТВ Северного полушария в период 1940–1976 гг.

Основными физическими компонентами климатической системы являются океан, атмосфера, суша и криосфера. Эти компоненты определяют теплосодержание земной климатической системы (основным является океан). Распределение по полушариям этих компонентов характеризуется значительной асимметрией. В соответствии с этим реакции на внешнее воздействие и изменение термического режима будут существенно различными в Северном и Южном полушариях как в ПТВ, так и в изменениях теплосодержания отдельных компонент климатической системы. Из-за различия площади подстилающей поверхности, занятой сушей и океаном в Северном и Южном полушариях, теплоемкость и теплосодержание Южного полушария значительно больше Северного, а так как среднегодовая температура ПТВ над континентами (16 °C) больше, чем температура поверхности Мирового океана (8.6 °C), то теплосодержание атмосферы Северного полушария оказывается больше, чем Южного. Именно поэтому возрастание ПТВ в период 1910–1940 гг. в Северном полушарии было значительно больше, чем в Южном (сглаживающая роль океана), что привело к увеличению асимметрии температуры и теплосодержания атмосферы Северного и Южного полушарий. Кроме того, так как возрастание ПТВ на высоких широтах было большим, чем в низкоширотных областях, значительно уменьшились меридиональные градиенты температуры в Северном полушарии на всех широтах, в то время как в Южном – только на широтах выше 60°.

Таким образом, в начале 1940-х гг. значительно изменилось термобарическое поле тропосферы, главным образом в Северном полушарии и экваториальных областях. Это привело к скачкообразной перестройке глобальной циркуляции климатической системы из одного состояния в другое равновесное состояние в начале 1940-х гг. Анализ циркуляционных условий по классификации Вангенгейма–Гирса [4] за период 1900–1997 гг. показывает, что действительно в конце 1930-х – начале 1940-х гг. наблюдалась аномально быстрая смена форм циркуляции в Северном полушарии. Уменьшение меридиональных градиентов температуры привело к ослаблению меридиональной циркуляции в атмосфере и поверхностных слоях Атлантического океана в Северном полушарии, соответствующему уменьшению меридионального переноса тепла от экваториальных областей к высокоширотным в Северном полушарии и постепенному понижению температуры на широтах выше 30°. В экваториальных широтах и в Южном полушарии вплоть до 60° наблюдалось повышение температуры в 1945–1978 гг. [5]. В этот период теплосодержание атмосферы Северного полушария

уменьшалось, в то время как Южного возрастало. Глобальная ПТВ при этом практически не изменялась, а полное теплосодержание земной климатической системы значительно возрастало за счет увеличения теплосодержания океана в этот период [6]. Таким образом, в этот период происходит выравнивание асимметрии температуры и теплосодержания атмосферы Северного и Южного полушарий вплоть до конца 1970-х гг. По данным наблюдений, в течение короткого промежутка времени (1976–1979 гг.) вновь произошло изменение структуры глобальной циркуляции, которое сопровождалось значительным усилением меридиональной циркуляции в Северном полушарии и ослаблением зональной. Одновременно значительно возросло теплосодержание атмосферы Северного и Южного полушарий. На долговременные изменения температуры атмосферы Северного полушария в 1940–1980 гг. значительное влияние оказало взаимодействие и циркуляция в системе атмосфера–океан–криосфера.

Аномальное возрастание теплосодержания Северного Атлантического океана в 1970–1980 гг.

Океан наравне с атмосферой участвует в межширотном и глобальном переносе тепла и вносит значительный вклад в наблюдаемые климатические изменения. Особенно важная роль принадлежит Атлантическому океану. В Северной Атлантике течение Гольфстрим, огибающее западное побережье Северной Америки, переносит теплые тропические воды в северные районы океана. В Лабрадорском море и у берегов Гренландии и Норвегии эти воды охлаждаются, становясь более плотными, и опускаются на глубину. Этот процесс имеет важнейшее значение для формирования климата, так как глубинные воды формируются в этих регионах и именно они составляют движущую силу термохалинной циркуляции, а следовательно, определяют перенос тепла в океане [7].

Потепление Арктики в начале XX в. характеризовалось значительной пространственно-временной и сезонной неоднородностью [8]. Максимальные среднегодовые ПТВ в Арктике наблюдались в конце 1930-х гг. Однако с конца 1950-х до середины 1960-х гг. отмечались необычно высокие температуры воздуха летом в районе Западной Гренландии, моря Баффина и прилегающей части Канадского архипелага. Это сопровождалось усилением таяния снега и льда, увеличением стока с окружающих материков, изменениями в атмосферной циркуляции над океаном. Это привело к тому, что в конце 1960-х гг. из-за выноса аномально большого количества льда из Арктического бассейна к востоку от Гренландии и его последующего таяния в верхнем 200-метровом слое соленость уменьшилась. Это явление получило название «Великая соленостная аномалия» (ВСА). Наличие слоя распресненной, а значит, и более легкой воды на поверхности в районах формирования глубинных вод привело к постепенному ослаблению, а затем и прекращению глубокой зимней вертикальной конвекции в море Лабрадор. В этот период произошли значительные изменения циркуляции вод в Северной Атлантике. Регион образования глубинных вод сместился к югу до широты примерно

50°. Поверхностный перенос тепла в океане существенно замедлился, так как в Гренландском, Исландском и Норвежском морях глубинная конвекция ослабла. На промежуточной глубине (300–800 м) на широтах к югу от 50° накапливались теплые воды. В этот период происходит аномальное возрастание теплосодержания в Атлантическом океане именно на глубинах 500–700 м [9], которое обусловлено значительным изменением циркуляции не только поверхностных, но и глубинных вод в Северной Атлантике. ВСА имела и другие последствия. Поскольку меридиональный поверхностный обмен вод через субполярный фронт в Северной Атлантике ослаб, уменьшились поступление тепла и его отдача в атмосферу в высоких широтах. В этот период наблюдаются аномально низкие температуры как поверхности океана в Северной Атлантике [10], так и температуры воздуха в Арктике, увеличение площади морского льда в Арктическом бассейне в теплый сезон (рис. 3).

Таким образом, наряду с положительной обратной связью (1920–1940 гг.) «потепление – уменьшение ледовитости – повышение температуры воздуха», действует отрицательная обратная связь (1940–1975 гг.): «потепление – распреснение верхнего слоя – замедление (ослабление) термохалинной циркуляции поверхностных вод в океане – уменьшение потока тепла из океана в атмосферу – понижение температуры воздуха – увеличение протяженности морского льда», которая ответственна за аномально большое возрастание теплосодержания Атлантического и Мирового океанов в 1970–1980 гг.

Безусловно, в рассмотренный период наблюдался ряд аномальных внутренних природных явлений, таких как Эль-Ниньо, Ла-Нинья, вулканическая деятельность (Пинатубо, Эль-Чичон, Агунг), которые внесли определенный, относительно кратковременный вклад в наблюдаемые долговременные изменения температуры и теплосодержания атмосферы.

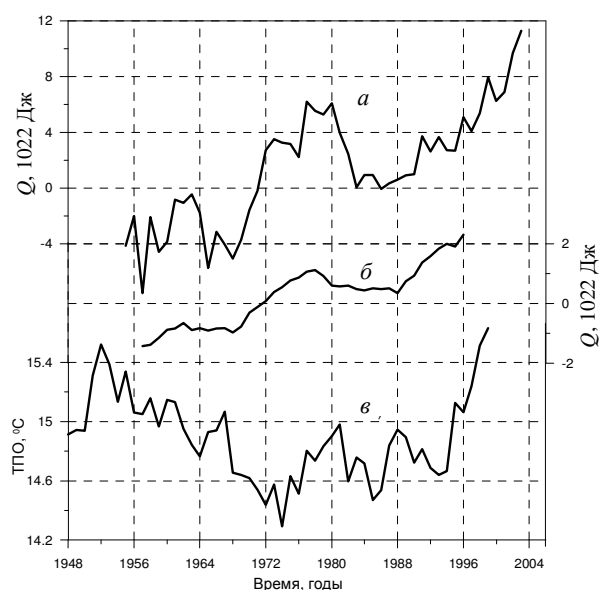


Рис. 3. Долговременные изменения теплосодержания Мирового океана в слое 0–700 м (а), теплосодержания в Атлантическом океане в слое 0–1000 м (б) и температуры поверхности океана в Северной Атлантике (в).

Выводы

В заключение отметим некоторые важные и принципиальные особенности функционирования земной климатической системы в XX в. Результаты проведенного анализа закономерностей изменений геомагнитной активности и термобарических характеристик тропосферы в рамках рассматриваемой модели, а также учет быстрых изменений глобальной циркуляции в атмосфере и океане позволяют сделать вывод, что значительная часть наблюдаемого потепления в XX в. может быть обусловлена изменением уровня солнечной активности. Аномалии ПТВ в периоды 1940–1975 гг. и 1976–1979 гг., так же как и изменения теплосодержания Мирового океана, являются следствием особенности отклика теплового и динамического режимов Мирового океана и атмосферы на изменение процессов в атмосфере, океане и криосфере, начало которых связано с потеплением в полярных областях в начале XX в. Исключительно важная роль при этом принадлежит изменениям массы льда в Арктическом бассейне и величины стока северных рек, регулирующих соленность воды в Северной Атлантике, характеристики термохалинной циркуляции и энергообмен атмосферы с океаном.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16, Программы ОНЗ РАН № 7.11.2 и проекта РФФИ № 06-05-81011-Бел_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А. Модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы Земли // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 12. С. 1042–1050.
2. Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I. The physical mechanism of the solar variability influence on electrical and climatic characteristics of the troposphere // Adv. Space Res. 2005. V. 35. P. 1472–1479.
3. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И. Роль солнечной и геомагнитной активности в изменении климата Земли // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 20, № 1. С. 1–7.
4. Переведенцев Ю.П. Теория климата / Казанский госуниверситет, 2004. 318 с.
5. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И. и др. Воздействие солнечной активности на тропосферу Земли // Солнечно-земная физика. 2007. Т. 10. С. 5–9.
6. Васильева Л.А., Жеребцов Г.А., Коваленко В.А. и др. Особенности долговременных изменений температуры и теплосодержания тропосферы и их связь с солнечной активностью // Солнечно-земная физика. 2008, Вып. 12. Т. 2. С. 306–307.
7. Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. М.: Наука, 2001. 351 с.
8. Алексеев Г.В. Изменение климата Арктики в XX столетии // Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. М.: Наука, 2006. 408 с.
9. Levitus S., Antonov J., Boyer T. Warming of the world ocean, 1955–2003 // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. L02604. doi: 10.1029/2004GL021592.
10. Покровский О.М. Изменение температуры поверхности океана в Северной Атлантике и колебания климата Европы // Исследование Земли из космоса. 2005. № 4. С. 24–34.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск