

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

Роль солнечной и геомагнитной активности в изменении климата Земли

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 7.09.2007 г.

Обсуждаются проблема изменений глобального климата в XX в. и один из основных вопросов — природа наблюдаемого глобального потепления. Особое внимание уделяется вопросу, в какой мере глобальное потепление в последние десятилетия имеет антропогенное происхождение и каков возможный вклад естественного происхождения и солнечной активности. Эксперты Международного совета ООН по изменению климата (экологический форум Climate Change 2007) пришли к выводу, что основной причиной изменения климата на Земле в XX в. является увеличение содержания CO_2 , обусловленное человеческой деятельностью.

Рассматривается новая концепция влияния солнечной активности на параметры земной климатической системы, управляющие потоком энергии, уходящей от Земли в космос в высокоширотных областях. Представлены и обсуждаются физический механизм и модель влияния солнечной активности на климатические характеристики и теплосодержание атмосферы. Анализируются долговременные изменения температуры и теплосодержания тропосферы. Дана оценка возможного вклада солнечной активности в изменение теплосодержания тропосферы и земной климатической системы в XX в.

Изменение климата оказывает огромное влияние на деятельность человека, сельское хозяйство, транспорт, экономику и окружающую среду в целом. Ответ на вопрос, чем вызвано глобальное потепление (ГП) в последние десятилетия, имеет первостепенное значение. Главное в проблеме изменений глобального климата состоит в том, что, хотя факт потепления в XX в. не вызывает сомнений (особенно это относится к последней четверти века), причины потепления и особенно количественные оценки вкладов различных факторов в изменения глобального климата остаются во многом неясными. В еще большей степени это относится к прогнозам климата с учетом антропогенных воздействий. Одна из главных нерешенных проблем состоит в отсутствии убедительных *количественных* оценок вклада антропогенных факторов в формирование глобального климата (подчеркнем, что сам факт антропогенных воздействий на климат не вызывает сомнений). В современных представлениях о глобальном климате и причинах его изменений содержится много неопределенностей. Наибольшая неопределенность связана с неадекватностью учета интерактивных процессов в системе «аэрозоль — облака — радиация», а также взаимодействий в системе «атмосфера — гидросфера — криосфера». Усиление парникового эффекта атмосферы, обусловленное предполагаемым удвоением концентрации CO_2 в атмосфере, может составить около 4 Вт/м^2 , в то время как неопределенности, связанные с учетом климатообразующей роли атмосферного аэрозоля и облаков при численном моделировании климата, достигают $10\text{--}15 \text{ Вт/м}^2$ [1].

В настоящее время научное мнение склоняется к тому, что ГП в последние десятилетия обусловлено антропогенным фактором. Однако известно, что это

не единственный фактор, влияющий на климат. Наблюдаемые корреляции долговременных изменений ГТ и содержания CO_2 не означают, что причиной увеличения ГТ является CO_2 , так как увеличение температуры океана (которое реально наблюдается) также приводит к увеличению содержания CO_2 в атмосфере, т.е. изменение содержания CO_2 может являться следствием, а не причиной ГП [2].

Солнечная активность и климат

В серии работ [3–6] солнечная переменность рассматривается в качестве одной из возможных причин глобального потепления. Сравнение изменений характеристик климата и солнечной активности на больших временных масштабах показывает большое сходство в их поведении. За последние 1000 лет климат испытывал изменения, соответствовавшие вариациям солнечной активности: в XII–XIII вв., когда солнечная активность была высока, отмечался теплый период («средневековый климатический оптимум»), а два четких понижения температуры в «малый ледниковый период» (XVI–XVII вв.) соответствуют длительным периодам с низкой солнечной активностью (минимумам Маундера и Шперера). После окончания минимума Маундера наступил общий подъем уровня солнечной активности, особенно заметный в период с 1900 г. вплоть до настоящего времени, и в течение большей части этого периода мировой климат становился теплее. Основной причиной, которая заставляет сомневаться в реальности и значимости влияния солнечной активности на погоду и климат, является отсутствие количественных оценок возможного вклада солнечной переменности в теплосодержание

земной климатической системы, а следовательно, в изменения климата.

Одним из ключевых параметров, который определяет изменение глобального климата, является радиационный баланс на верхней границе атмосферы для всей земной поверхности, который характеризует обмен энергией между земной климатической системой и космосом. Поток коротковолновой радиации, падающий на верхнюю границу атмосферы, достаточно хорошо известен — это солнечная постоянная (СП). По измерениям за два последних цикла солнечной активности СП изменяется не более чем на 0,15%. Поток энергии солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, солнечных и галактических космических лучей, вариации которых более значительны в цикле солнечной активности, составляет 10^{-6} от изменений СП. Таким образом, изменяющаяся часть внешнего воздействия непосредственно не может обеспечить изменение энергетики земной климатической системы.

Совершенно очевидно, что если влияние солнечной активности на климатические характеристики тропосферы значимо, в то время как изменение потока энергии, достигающего нижней тропосферы, за счет вариаций солнечной активности пренебрежимо мало по сравнению с запасом энергии в стратосфере и тропосфере, то физический механизм связи может реализоваться через изменение параметров, управляющих балансом потоков энергии, — поступающего в земную атмосферу и уходящего в космос. В связи с этим не менее важным, а скорее всего первостепенным является вопрос об изменениях потока энергии, излучаемого Землей и атмосферой в космос. Ключевая роль в регулировании этого потока принадлежит облачности и малым составляющим, в частности таким, как H_2O , CO_2 , O_3 , метан и др.

Механизм влияния солнечной активности на погоду и климат

В последнее время широко обсуждаются механизмы влияния солнечной активности на погоду и климат через галактические космические лучи (ГКЛ). Так как поток и спектр космических лучей модулируются межпланетным магнитным полем, которое контролируется солнечной активностью, космические лучи могут представлять собой одно из связующих звеньев между изменениями на Солнце и глобальным климатом. На возможность модуляции альбедо за счет изменений облачности, обусловленных вариациями потока ГКЛ, указывалось в работе [4]. К сожалению, экспериментальные данные по связи космических лучей с облачностью для средних широт достаточно противоречивы и эта гипотеза не получила пока сколько-нибудь убедительного подтверждения с точки зрения реальных количественных оценок. Очевидно, что космические лучи — это не единственное звено солнечно-тропосферной связи. С помощью ГКЛ невозможно объяснить реакцию тропосферы на геомагнитные возмущения, как было показано в многочисленных работах, например [3].

Принципиально иной физический механизм влияния солнечной активности на климатические характеристики и циркуляцию атмосферы через атмосферное электричество предложен, теоретически обоснован и проверен по данным наблюдений в работах авторов [7–9].

Связующим звеном между солнечной активностью и климатическими характеристиками тропосферы согласно данному механизму является атмосферное электричество. По данным измерений параметров атмосферного электричества во время геомагнитных возмущений, так же как и в периоды вторжения больших потоков солнечных космических лучей (СКЛ) в области полярных широт, наблюдается значительное возрастание электрического поля вблизи поверхности Земли и тока ионосферы — Земля.

Изменения электрического поля будут оказывать воздействие на заряженные частицы в тропосфере и, следовательно, приводить к перераспределению по высоте аэрозолей, которые могут являться ядрами конденсации в атмосфере и, следовательно, воздействовать на условия формирования облачности. Появление облачности приводит к изменению радиационного баланса, уменьшению радиационного выхолаживания и изменению термобарического поля тропосферы.

Модель воздействия солнечной активности на тропосферу

На основе рассмотренного механизма разработана физическая модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы Земли [7–9]. Ключевая концепция модели — влияние гелиогеофизических возмущений на параметры земной климатической системы, управляющие потоком энергии, уходящей от Земли в космос в высокоширотных областях.

Наиболее эффективно это проявление будет наблюдаться в высокоширотных областях (в зоне аврорального овала в период магнитосферных возмущений и в области полярной шапки, с максимумом на геомагнитном полюсе, во время вторжения СКЛ), приводя к дополнительному формированию облачности (в областях, где имеется достаточная концентрация водяного пара) над океанами в прибрежных районах.

При возрастании уровня солнечной активности будут происходить: уменьшение радиационного выхолаживания высокоширотных областей, увеличение температуры нижней тропосферы, перестройка термобарического поля, уменьшение среднего меридионального градиента температуры между полярными и экваториальными областями, который определяет меридиональный перенос тепла. Это будет сопровождаться уменьшением оттока тепла из низкоширотных областей, что приведет к увеличению приземной температуры воздуха (ПТВ) средних и низких широт и теплосодержания океана и климатической системы в целом.

Долговременные изменения температуры в тропосфере

Рассмотрим сценарий возможного вклада солнечной активности в наблюдаемые климатические изменения в XX в. в соответствии с рассмотренной моделью. Подчеркнем, что практически во всех климатических моделях влияние солнечной активности включается через прямое воздействие (изменение солнечного излучения примерно 0,1%) на тропосферу, которое, на наш взгляд, не может дать значимый вклад в изменение климата Земли.

Изменение глобального климата — это, прежде всего, изменение теплосодержания земной климатической системы, подавляющая часть которого определяется океаном. 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. Эту климатическую функцию выполняют системы циркуляции в атмосфере и Мировом океане. 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, изменения потерь в высокоширотных областях могут заметно влиять на теплосодержание земной климатической системы и климата.

В предложенной нами модели основным агентом солнечной активности, оказывающим решающее влияние на погодно-климатические характеристики тропосферы, являются параметры солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, которые определяют *геомагнитную активность* и влияют на изменение электрического поля высокоширотной атмосферы. Следует отметить, что долговременные вариации геомагнитной возмущенности, сглаженные по 11-летним циклам, достаточно хорошо коррелируют с числом солнечных пятен. Однако в пределах отдельных 11-летних солнечных циклов связь неустойчива. Кроме того, следует обратить особое внимание на очень важную, на наш взгляд, особенность в долговременных изменениях геомагнитной активности: начиная с 1900 г. и вплоть до 1960 г. наблюдалось возрастание минимальных значений геомагнитной активности, в то время как минимальные значения уровня солнечной активности, оцениваемые по числам Вольфа, практически не изменяются в течение всего наблюдаемого периода. Это наглядно можно видеть из данных, представленных на рис. 1.

Начиная с начала XX в. наблюдается непрерывное возрастание геомагнитной активности, продолжающееся вплоть до настоящего времени, которое характеризуется модуляцией 11-летним циклом и некоторым «провалом» в период 1965–1975 гг. с последующим

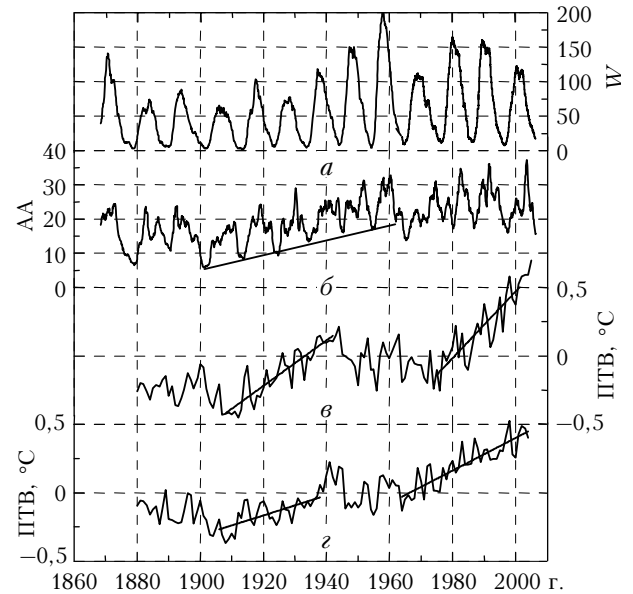


Рис. 1. Долговременные изменения чисел Вольфа (а), геомагнитного индекса АА (б), аномалий приземной температуры воздуха в Северном (г) и Южном (з) полушариях

возрастанием вплоть до 2004 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.

В конце XIX в. началось потепление, которое за исключением интервала 1940–1970 гг. продолжается и по настоящее время. Средняя глобальная температура повысилась за последние 100 лет на 0,7 °C. Рост средней глобальной температуры воздуха в последние 100 лет не был монотонным. Данные наблюдений обнаруживают наличие весьма сильной пространственно-временной неоднородности изменений среднегодовой ПТВ. Это проявилось, например, в том, что потепление климата в XX в. происходило в течение двух периодов времени: 1919–1945 гг. и с 1976 г. по настоящее время. В период 1940–1970 гг. в Северном полушарии наблюдалось похолодание. Необходимо подчеркнуть очень важную и принципиальную особенность: как первое, так и второе потепление в высокоширотных и среднеширотных областях наблюдалось в основном в холодный период. Наибольшие возрастания ПТВ наблюдаются для ночных (минимальных) температур местной зимы. Эти особенности соответствуют ожидаемым из модели [9].

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. Это сопровождалось усилением меридиональной циркуляции в атмосфере и поверхностных водах океана, соответствующей интенсивному меридиональному переносу тепла в Арктику в 1900–1940-е гг. Увеличение температуры тропосферы (в период 1910–1940 гг.) началось раньше в полярных областях с запаздыванием относительно возрастания геомагнитной активности (примерно на 10 лет), которое связано с большой теплоемкостью Арктического бассейна. Амплитуда потепления значительно уменьшалась от высоких широт к низким [10]. Эффективное включение влияния геомагнитной активности на радиационный баланс полярных областей обеспечило уменьшение радиационного выхолаживания и увеличение ПТВ в высокоширотных областях. С некоторым запаздыванием (1920–1940 гг.) начались эффективное таяние морского льда в Арктическом бассейне и сокращение его площади в теплый сезон (рис. 2).

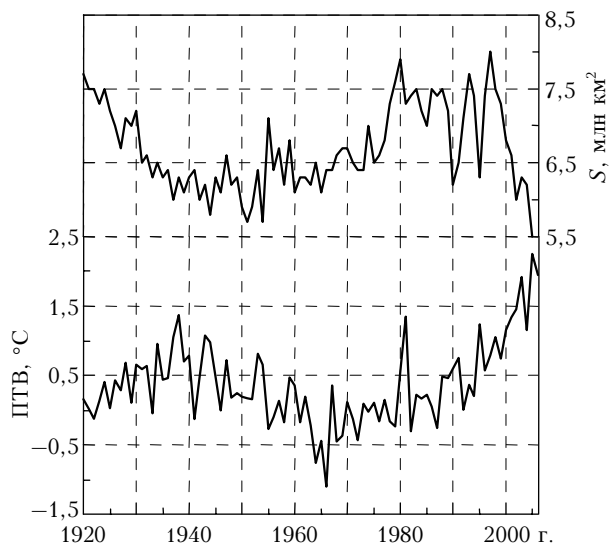


Рис. 2. Долговременные изменения площади льда в Арктике и аномалий приземной температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария (57,5–87,5° с.ш.)

Уменьшение площади морского льда усиливает воздействие потепления за счет положительной обратной связи «потепление — уменьшение ледовитости — уменьшение альбедо — повышение температуры воздуха». Именно в этот период наблюдается увеличение ПТВ, особенно значительное в полярных областях Северного полушария, которое сменялось похолоданием в период 1940–1976 гг. В Южном полушарии в этот период продолжалось потепление.

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 изменения термического режима будут существенно различными в Северном и Южном полушариях как в ПТВ, так и в изменениях теплосодержания отдельных компонентов климатической системы. Из-за различий площадей подстилающей поверхности, занятой сушей и океаном в Северном и Южном полушариях, теплоемкость и теплосодержание океанов в Южном полушарии значительно больше, чем в Северном, а так как среднегодовая температура ПТВ над континентами (16 °C) больше, чем температура поверхности Мирового океана (8,6 °C), то теплосодержание атмосферы Северного полушария больше, чем Южного. Именно поэтому возрастание ПТВ в период 1910–1940 гг. в Северном полушарии было значительно большим, чем в Южном (сглаживающая роль океана), что привело к увеличению асимметрии температуры и теплосодержания атмосферы Северного и Южного полушарий. А так как возрастание ПТВ на высоких широтах было значительно больше, чем в экваториальных областях, то меридиональные градиенты температуры в Северном полушарии уменьшились на всех широтах, в то время как в Южном — только на широтах выше 60°.

Таким образом, в начале 40-х гг. значительно изменилось термобарическое поле тропосферы, главным образом в Северном полушарии и экваториальных областях, что привело к скачкообразной внутренней перестройке глобальной циркуляции климатической системы из одного состояния в другое равновесное состояние в начале 40-х гг.

Анализ циркуляционных условий по классификации Вангенгейма—Гирса [10] за период 1900–1997 гг. показывает, что действительно в конце 30-х — начале 40-х гг. наблюдалась аномально быстрая смена меридиональной и зональной форм циркуляции в Северном полушарии. Уменьшение меридиональных градиентов температуры привело к ослаблению меридиональной циркуляции в атмосфере и поверхностных слоях Атлантического океана в Северном полушарии и 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 период 1945–1978 гг. (рис. 3).

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 [11–13]. Таким образом, в этот период происходит выравнивание асимметрии температуры и теплосодержания атмосферы Северного и Южного полушарий вплоть до конца 70-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

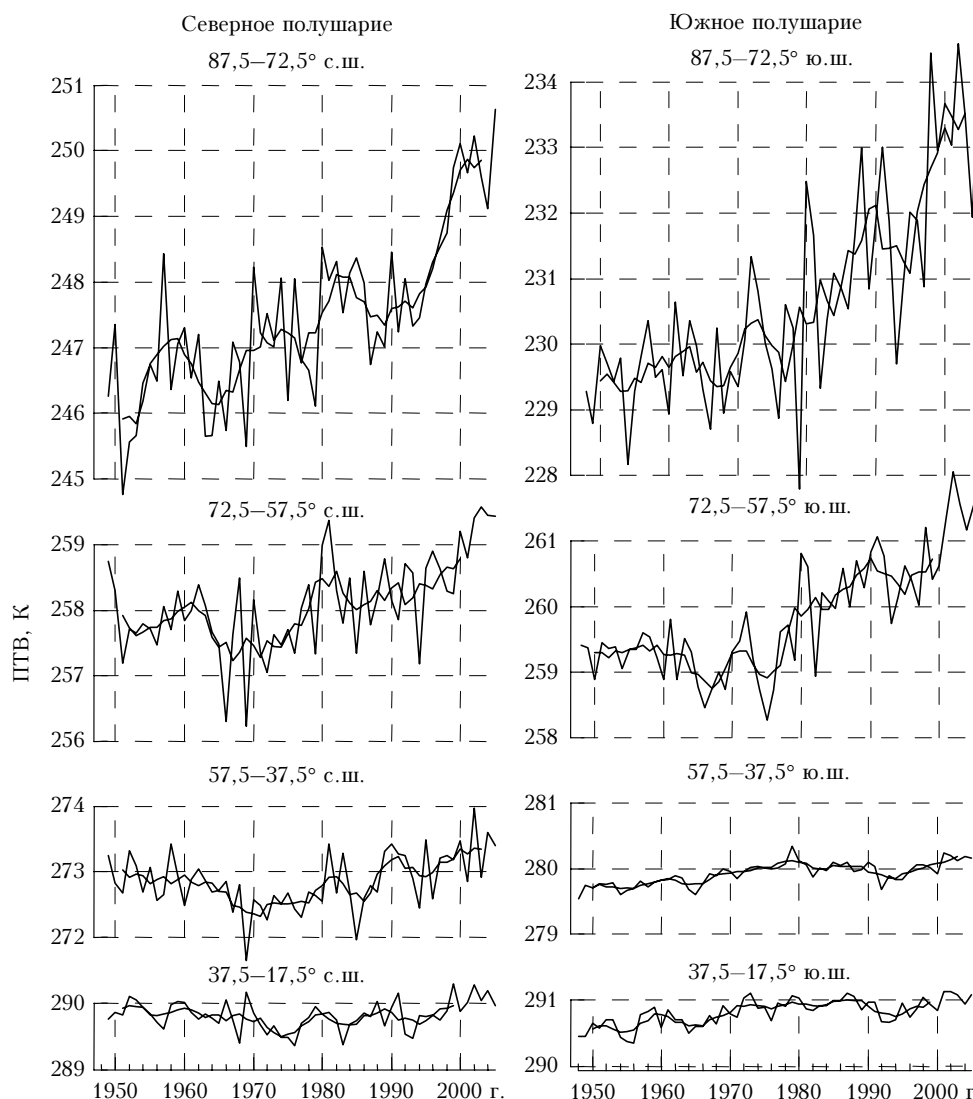


Рис. 3. Долговременные изменения приземной температуры воздуха в различных широтных зонах Северного и Южного полушарий в зимний период года

значительно возросло теплосодержание атмосферы Северного и Южного полушарий. На долговременные изменения температуры атмосферы Северного полушария в период 1940–1980 гг. значительное влияние оказали 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 переносе тепла и вносит значительный вклад в наблюдаемые климатические изменения. Особенно важная роль принадлежит Атлантическому океану. В Северной Атлантике течение Гольфстрим, огибающее восточное 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, они 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, перенос тепла в океане (рис. 4, а) [14].

Потепление Арктики в начале XX в. характеризовалось значительной пространственно-временной и сезонной неоднородностью [15]. Максимальные среднегодовые ПТВ в Арктике наблюдались в конце 30-х гг. Однако в период с конца 1950-х до середины 1960-х гг. отмечались необычно высокая температура воздуха летом вблизи побережья Арктического океана и особенно высокая температура 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 Арктическим океаном. Средняя многолетняя температура воздуха в этой области

Потепление Арктики в начале XX в. характеризовалось значительной пространственно-временной и сезонной неоднородностью [15]. Максимальные среднегодовые ПТВ в Арктике наблюдались в конце 30-х гг. Однако в период с конца 1950-х до середины 1960-х гг. отмечались необычно высокая температура воздуха летом вблизи побережья Арктического океана и особенно высокая температура 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 Арктическим океаном. Средняя многолетняя температура воздуха в этой области

летом наиболее низкая во всей Арктике, и здесь скапливается наибольшее количество снега и льда в зимний период. Большие положительные аномалии температуры воздуха здесь способствовали интенсивному летнему таянию и стоку пресной воды в Арктический бассейн, канадские проливы, море Баффина и Гудзонов залив. В результате в конце 60-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».

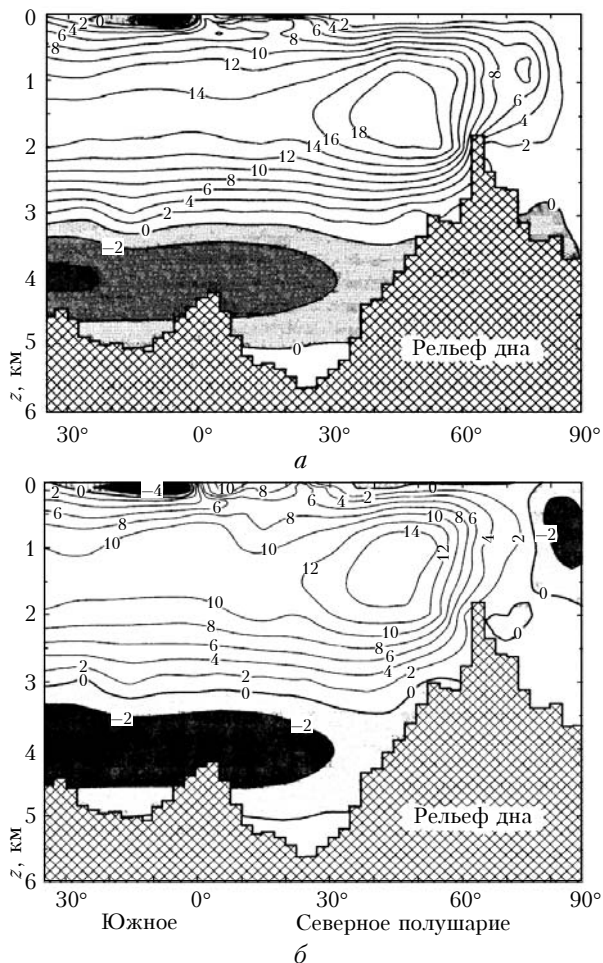


Рис. 4. Линии тока меридиональной циркуляции вод Атлантического океана: *а* — для периода 1900–1950 гг. и современные условия (1990–2000 гг.); *б* — для периода 1970–1980 гг.

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, которые показаны схематически на рис. 4, *б*. 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 ос-

лабла. На промежуточной глубине (300–800 м) на широтах к югу от 50° накапливались теплые воды. Данные наблюдений, приведенные на рис. 5, подтверждают представленный сценарий климатических изменений в атмосфере и океане.

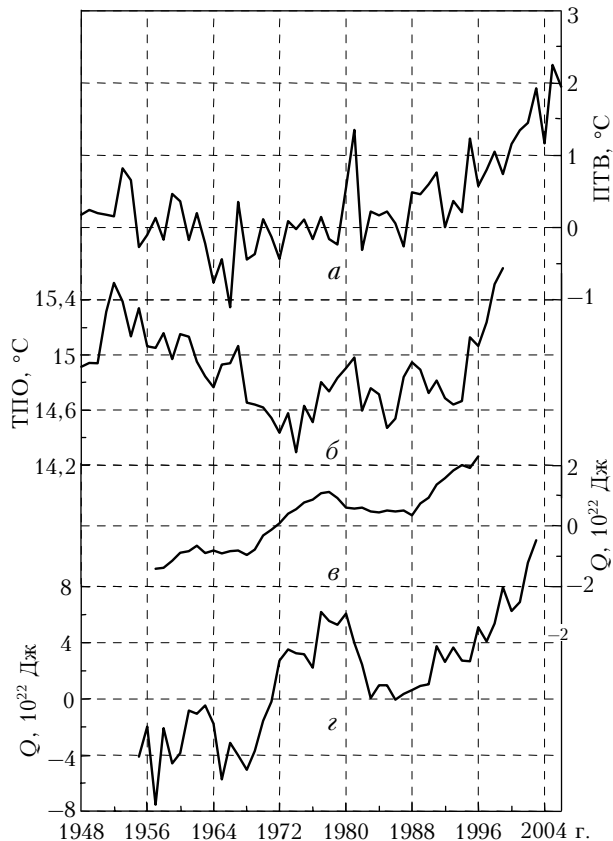


Рис. 5. Долговременные изменения аномалий приземной температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария (57,5–87,5° с.ш.) (*а*), температуры поверхности океана (ТПО) в Северной Атлантике (*б*), теплосодержания в Атлантическом океане в слое 0–1000 м (*е*), теплосодержания Мирового океана в слое 0–700 м (*з*)

В этот период происходит аномальное возрастание теплосодержания в Атлантическом океане именно на глубинах 500–700 м, которое обусловлено значительным изменением циркуляции не только поверхностных, но и глубинных вод в Северной Атлантике.

Великая соленостная аномалия 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 [16], так и температуры воздуха в Арктике, увеличение площади морского льда в Арктическом бассейне в теплый сезон.

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 термохалинной циркуляции поверхностных

вод в океане — уменьшение потока тепла из океана в атмосферу — увеличение протяженности морского льда — понижение температуры воздуха», которая ответственна за аномально большое возрастание теплосодержания Атлантического и Мирового океанов (см. рис. 5).

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 радикальных 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 1940–1945 и 1976–1979 гг., так же как и теплосодержания Мирового океана, являются следствием естественных многолетних колебаний теплового и динамического режимов Мирового океана и атмосферы, изменений процессов в атмосфере и океане и криосфере, начало которых связано с потеплением в полярных областях в начале XX в. Исключительно важная роль при этом принадлежит изменениям ледового покрова в высокоширотных областях, регулирующих соленость воды в Северной Атлантике, характеристики термохалиной 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.

1. Кондратьев К.Я. Глобальные изменения климата: данные наблюдений и результаты численного моделирования // Исслед. Земли из космоса. 2004. № 2. С. 61–96.
2. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физ. наук. 2000. Т. 170. № 4. С. 419–445.
3. Мустель Э.Э., Мулюкова Н.Б., Четопруд В.Е. О солнечно-тропосферном эффекте в северном и южном полушариях Земли // Научные информации. 1990. Вып. 68. Рига. С. 99–117.

4. Svensmark H., Fris-Christensen E. Variations of cosmic ray flux and global cloud coverage — A missing link in solar-climate relationship // J. Atmos. and Sol.-Terr. Phys. 1997. V. 59. N 16. P. 1225–1232.

5. Авдюшин С.И., Данилов А.Д. Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему (обзор) // Геомагнетизм и аэрон. 2000. Т. 40. № 5. С. 3–14.

6. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И. Радиационный баланс атмосферы и климатические проявления солнечной переменности // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17. № 12. С. 1003–1017.

7. Zhrebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I. A mechanism of solar variability effect on radiative balance of the Earth atmosphere // Chin. J. Space Sci. 2005. V. 25. N 5. P. 444–454.

8. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Пубцова О.А. Модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы Земли // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 12. С. 1042–1050.

9. Zhrebtsov 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.

10. Переведенцев Ю.П. Теория климата. Казань: КГУ, 2004. 318 с.

11. Levitus S., Antonov J.I., Wang J., Delworth T.L., Dixon K.W., Broccoli A.J. Anthropogenic Warming of Earth's climate system // Science. 2001. V. 292. N 5515. P. 267–270.

12. Hansen J., Nazarenko L., Ruedy R., Laws A., Koch D., Tegen I., Hall T., Shindell D. Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications // Science. 2005. V. 308. P. 1431–1434.

13. Levitus S., Antonov J., Boyer T. Warming of the world ocean, 1955–2003 // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. L02604. doi: 10.1029/2004GL021592.

14. Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. М.: Наука, 2001. 351 с.

15. Алексеев Г.В. Изменение климата Арктики в XX столетии // Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. М.: Наука, 2006. 408 с.

16. Покровский О.М. Изменение температуры поверхности океана в Северной Атлантике и колебания климата Европы // Исслед. Земли из космоса. 2005. № 4. С. 24–34.

G.A. Zhrebtsov, V.A. Kovalenko, S.I. Molodykh. Role of solar and geomagnetic activities in Earth's climate fluctuation.

The problem of global climate fluctuation in 20th century and its nature is discussed. The question of anthropogenic nature of the global warming in last decades as well as the contribution of natural factors and solar activity are of special importance.

A new concept of the effect of solar activity on the parameters of Earth's climate system, managing the flux of energy from the Earth into space in high-latitude regions, is described. A physical mechanism and a model of solar activity effect on climate parameters and heat content of the atmosphere are presented and discussed. Long-term variations of temperature and heat content of the troposphere are analyzed. Probable contribution of solar activity in variations of troposphere heat content and Earth's climate system in 20th century is estimated.