

ЭТА СТАТЬЯ ПУБЛИКУЕТСЯ КАК ДИСКУССИОННАЯ,
ПОЛУЧИВШАЯ КАК ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ,
ТАК И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ РЕЦЕНЗИИ

АСИНХРОННЫЕ СВЯЗИ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

© 2022 г. Б. Г. Шерстюков*

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД), г. Обнинск (Калужская обл.), Россия*

**e-mail: boris@meteo.ru*

Поступила в редакцию 05.04.2021 г.

После доработки 27.05.2021 г.

Принята к публикации 25.05.2022 г.

Выполнен анализ асинхронных связей многолетних изменений температуры воздуха над континентами и температуры поверхности океана с изменениями солнечной активности. Показано, что изменения солнечной активности определяют около 50% общей изменчивости температуры поверхности океана в южных широтах Атлантического, Тихого и Индийского океанов с запаздыванием на 28–37 лет. Многолетние колебания температуры поверхности океана из Южного океана медленно переносятся в Северное полушарие через систему большого океанического конвейера Брокера, проходя все широты Земли с нарастающим запаздыванием. До самых крайних северных широт колебания климата доходят через 40–47 лет. Запаздывание переноса создает прогностические предпосылки. В Южном океане после наблюдавшегося максимума температуры в 1980–1990-х гг. в настоящее время наблюдается понижение температуры. С запаздыванием на 28–37 лет можно ожидать появления максимума потепления поверхности океана в высоких широтах Северного полушария (в ближайшие годы), а затем в 2030-х гг. потепление может смениться очередной фазой временного похолодания. Неучтенные в работе факторы могут подкорректировать наметившиеся прогностические предпосылки.

DOI: 10.31857/S0016794022050121

1. ВВЕДЕНИЕ

Современное глобальное потепление климата затрагивает многие стороны жизни всего человечества. Проблема понимания причин этих изменений является одной из острейших научных проблем. В научной литературе сложилась ситуация, при которой наблюдаемое глобальное потепление в последней четверти XX в. стали почти полностью связывать с антропогенным влиянием на газовый состав атмосферы без учета существующих природных факторов колебаний климата. Антропогенная гипотеза, основанная на модельных оценках, не подтверждается по данным наблюдений. Существующие модели климата не учитывают космических воздействий на климатическую систему Земли, не воспроизводят известные долгопериодные колебания климата последних двух столетий, но при этом описывают потепление эпохи интенсивного развития индустриального общества, начиная с 1970-х гг. В XX в.

с интервалом 60–80 лет появлялось два глобальных потепления, последнее началось в середине 1970-х гг. Модели создавались для описания последнего потепления, которое удалось описать только после введения внешнего, по отношению к климатической системе, фактора антропогенного увеличения концентрации CO₂ в атмосфере. Недостаток количественных знаний о влиянии гипотетического внешнего антропогенного фактора заменили эмпирической настройкой коэффициентов модели под реальные изменения климата последних десятилетий. Научного обоснования такая настройка не имеет. В модель искусственно заложили антропогенное влияние, и модель показала это влияние. В мире разработано несколько десятков подобных глобальных моделей в разных климатических центрах мира, но все они имеют общий недостаток, делающий их мало пригодными для доказательства антропогенной гипотезы. При недостатке знаний полезная ин-

формация может быть получена из анализа данных наблюдений.

В настоящей работе ставилась задача исследования асинхронного влияния долгопериодных изменений солнечной активности на изменения климата Земли последнего столетия. Долгопериодные изменения (в масштабах десятилетий) климата атмосферы поддерживаются термодинамической инерционностью океана. Океан можно рассматривать как ведущего, а атмосферу как ведомую в изменениях климата Земли. Термодинамическая инерционность океана создает предпосылки для запаздывания отклика климата на внешнее воздействие, поэтому можно ожидать появление асинхронных связей климата с внешними воздействиями.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

В работе использовались данные таких наблюдений.

– Среднегодовые значения количества солнечных пятен (W) за 1700–2020 гг. [Sunspot data, 2021].

– Данные за 1854–2020 гг. о среднегодовых аномалиях температуры поверхности океана (SST). Они вычислены по месячным данным из массива “The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature [ERSST V5] на сетке $2^\circ \times 2^\circ$. Это глобальный ежемесячный набор данных о температуре поверхности океана, полученный из Международного всеобъемлющего набора данных об океане и атмосфере (ICOADS). [ERSST V5, 2020; Huang et al., 2017; 2018a, b].

– Аномалии среднегодовой температуры воздуха (T) над континентами вычислены по месячным данным из объединенного набора данных глобальной температуры поверхности суши и океана NOAA с названием NOAA GlobalTemp, версия v5 [Smith et al., 2008; Zhang et al., 2019] с пространственной сеткой ($5^\circ \times 5^\circ$). Самые ранние данные в этом массиве начинаются с января 1880 г., но во многих регионах данные начинаются не раньше 1935 г., поэтому в работе использовались данные о температуре воздуха с 1935 по 2020 г.

Ставилась задача исследования долгопериодных изменений климата, поэтому все ряды о температуре были сглажены по скользящим трехлетям. Связи между изменениями анализируемых параметров оценивались по коэффициентам асинхронной корреляции в предположении запаздывания передачи возмущений. В вычислениях асинхронных корреляций W с T и с SST количество сопоставляемых членов рядов составляло 86 лет. Оно определялось длительностью используемых рядов о температуре воздуха (1935–2020 гг.). При сдвигах в асинхронных вычислениях коли-

чество сопоставляемых членов рядов не уменьшалось, так как при вычислениях сдвигались ряды SST и W с более ранним началом данных (SST с 1854 г., W с 1700 г.). Значимыми коэффициентами корреляции принимались значения $R > 0.6$ с достоверностью $>95\%$.

3. АСИНХРОННЫЕ СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА С ДОЛГОПЕРИОДНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

О влиянии солнечной активности на климат писали многие исследователи. Например, в недавней работе [Veretenenko and Ogurtsov, 2020] показано, что глобальные колебания температуры могут быть связаны с долговременными изменениями светимости Солнца. Обзор таких работ и новый взгляд на проблему недавно опубликован в монографии [Логинов, 2020]. В.Ф. Логинов, как и многие другие, рассматривал синхронные связи. Swingedouw et al. [2011] оценивали реакцию климата на изменения солнечной активности и установили, что колебания средней SST Северного полушария коррелируют ($R = 0.74$) с колебаниями солнечной активности. Также они обнаружили, что солнечная активность влияет на Северо-Атлантическое колебание, но это влияние проявляется с запаздыванием 40 лет. Атмосфера не обладает достаточной памятью для подобной задержки колебаний. Можно предположить, что долгопериодные изменения солнечной активности сначала влияют на состояние океана, а затем возмущения передаются из океана в атмосферу.

С учетом накопленных сведений проводилось исследование связей SST Мирового океана и T над континентами с изменениями солнечной активности. В работе [Шерстюков и др., 2020] рассматривались асинхронные связи долгопериодных изменений температуры воздуха в Приволжском федеральном округе России (ПФО) с изменениями солнечной активности. При этом было обнаружено, что до 1990 г. в изменениях температуры воздуха просматривалась 11-летняя цикличность. С каждым новым циклом активности Солнца температура воздуха в ПФО повышалась после максимумов активности Солнца и понижалась после минимумов, но в конце XX в. и в XXI в. после максимумов солнечной активности температура стала достигать таких высоких значений, после которых она перестала возвращаться в исходное состояние после минимумов активности Солнца. Возможно, к этому времени в атмосферной циркуляции или во всей климатической системе произошла некоторая перестройка, после которой время релаксации системы увеличилось, и поэтому температура после повышения на максимуме солнечной активности перестала успевать восстанавливаться (понижаться)

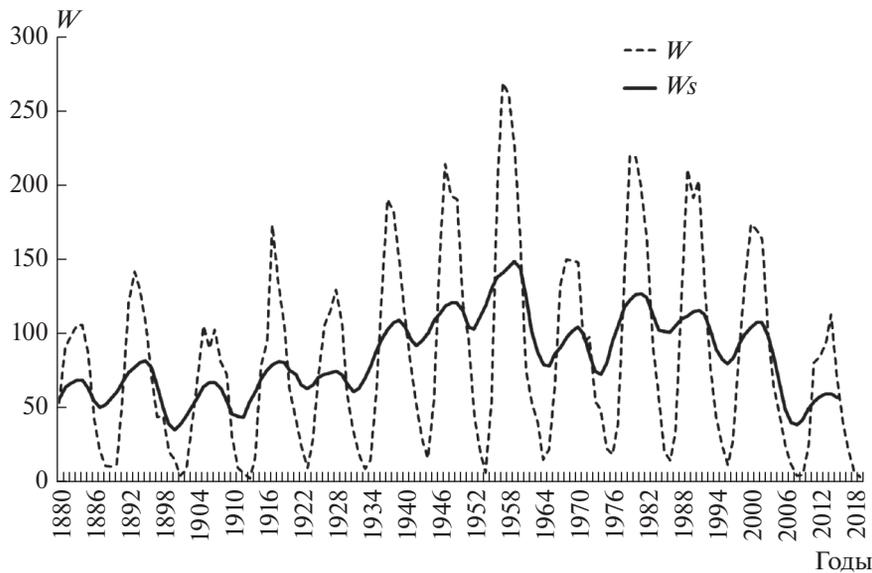


Рис. 1. Число солнечных пятен W средние по годам и сглаженные значения по скользящим 9 г. W_s .

до начального уровня в годы минимумов солнечной активности. После 1990 г. с каждым новым 11-летним циклом активности Солнца температура воздуха повышалась еще больше. Происходило накопление тепла в атмосфере и, как следствие, потепление климата.

Если инерционность колебаний параметров климатической системы больше, чем инерционность процессов, формирующих 11-летний цикл солнечной активности, то для сравнения колебаний температуры с изменениями солнечной активности необходимо сгладить ряд солнечной активности так, чтобы имитировать инерционность показателя солнечной активности, близкую к инерционности климатической системы. Хорошее согласие хода температуры и солнечной активности получилось при сглаживании ряда солнечной активности W по скользящим девяти годам. В таком случае сглаженный показатель солнечной активности повышается на максимумах 11-летнего цикла и не совсем опускается до начального уровня на минимумах активности Солнца. В настоящей работе ряд солнечной активности предварительно был сглажен по скользящим девяти годам.

На рисунке 1 показан график изменения солнечной активности W и сглаженных значений солнечной активности W_s . Он показывает 11-летнюю цикличность и долгопериодные колебания солнечной активности. Методом корреляционного анализа оценивались связи изменений SST и T в каждом узле географической сетки Земли со сглаженными значениями солнечной активности W_s . Вычислялись асинхронные коэффициенты корреляции изменений T и SST в узлах сетки с

солнечной активностью при сдвигах ряда солнечной активности от 0 до 50 лет. Данные об SST и T использовались за 1935–2020 гг., а данные о солнечной активности W_s за 1800–2020 гг. При вычислении асинхронных корреляций сдвиг ряда W_s имитировал предполагаемое запаздывание отклика температуры на внешнее воздействие.

В каждом узле из набора всех полученных асинхронных коэффициентов корреляции выбирался один максимальный коэффициент и фиксировалась величина сдвига (годы) при наилучшем коэффициенте корреляции. Сдвиг рассматривался как время запаздывания отклика температуры на внешнее воздействие. Коэффициенты асинхронных корреляций при сдвигах меньше 28 лет оказались слабее заданного критерия $R > 0.6$ на всей планете. Но при сдвигах от 28 до 37 лет обнаружены районы на Земле с надежными связями изменений температуры с изменениями солнечной активности. Коэффициенты корреляции оказались значимыми $R > 0.6$ в приполярных районах Южного полушария. На рис. 2 показана карта пространственного распределения коэффициентов корреляций SST и T с солнечной активностью W_s при запаздывании реакции температуры на 28–37 лет.

Обнаружено (рис. 2) обширное поле значимых положительных коэффициентов связи изменений SST с солнечной активностью (коэффициенты корреляции от 0.6 до 0.85) в южной широтной зоне от 50° S на юг до берегов Антарктиды в Атлантическом и в Индийском океанах. На рис. 2 видна область больших коэффициентов корреляций $R > 0.7$ на Антарктическом течении над Африкано-Атлантической котловиной, которая тя-

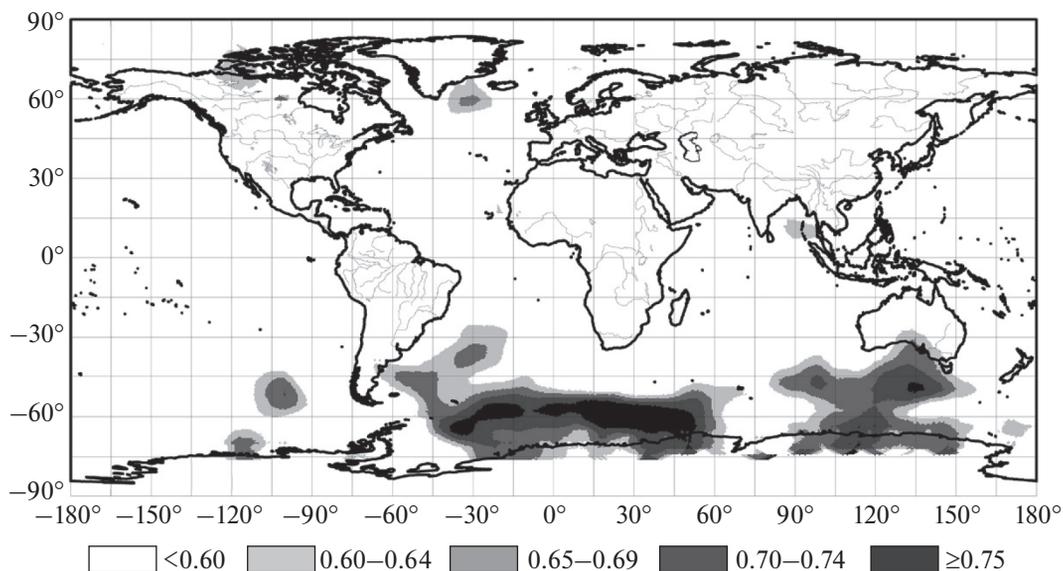


Рис. 2. Коэффициенты асинхронных корреляций температуры воздуха и температуры поверхности океана с солнечной активностью при сдвигах от 28 лет до 37 лет.

нется от южной оконечности Срединно-Атлантического хребта до плато Кергелен, и вторая область больших коэффициентов корреляции — над Австрало-Антарктическим поднятием. На обширной территории в Южном океане вклад изменений солнечной активности в изменения SST составил ~50% общей изменчивости (дисперсии).

Как пример, на рис. 3 показано изменение SST на Антарктическом течении западнее южной оконечности Срединно-Атлантического хребта в реперном узле с координатами $60^{\circ} \text{ S } 24^{\circ} \text{ W}$. На том же рис. 3 показан график изменения солнечной активности W_s . Изменения солнечной активности опережают изменения SST в этом районе на 30 лет, поэтому график W_s смещен по оси времени на 30 лет так, что значение W_s за 1905 г. совмещено со значением SST за 1935 г. Шкала времени на рис. 3 соответствует данным наблюдений SST.

С учетом запаздывания температурного отклика, коэффициент корреляции между SST и солнечной активностью при сдвиге на 30 лет оказался $R = 0.81$. График рис. 3 показывает, что в приполярном регионе Южной Атлантики на Антарктическом течении последние четыре десятилетия происходит понижение SST, которое тесно связано с ослаблением солнечной активности.

Еще один пример графического представления изменений SST и W_s показан на рис. 4 для узла с координатами $56^{\circ} \text{ S } 16^{\circ} \text{ E}$ на Антарктическом течении на границе Южной Атлантики и Индийского океана. Коэффициент корреляции SST с W_s в этом районе оказался $R = 0.82$ при запаздывании температурных изменений на 37 лет (рис. 4). Шкала времени на графике соответствует дан-

ным наблюдениям за SST, а график W_s сдвинут на 37 лет.

Рисунок 4 показывает, что и в этой части Южного океана SST понижается в XXI веке вслед за ослаблением солнечной активности. Судя по асинхронным связям, представленным графически на рис. 3, 4 температура SST в Южном океане в последующие 20 лет будет понижаться.

Широтная зона, в которой проявилась связь ТПО с изменениями солнечной активности, уникальна в том, что в этой зоне нет материков, препятствующих круговому зональному течению океанических вод вокруг Антарктиды. Именно поэтому там возможно циркумполярное Антарктическое течение, самое мощное на всей Земле, в которое вовлечены не только верхние, но и глубинные слои океана. Это течение является важной частью глобальной системы океанических течений, в которую вовлечен весь Мировой океан. Все течения объединены в один, так называемый, конвейер Брокера [Broecker, 1991]. Глобальная система океанических течений способна переносить возмущения по всему трехмерному Мировому океану.

4. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ПЛАНЕТЕ

Проследим распространение долгопериодных колебаний SST из района тесных связей SST с солнечной активностью (Южный океан) в другие районы Земли. Для этого был выбран реперный узел в Южном океане с координатами $60^{\circ} \text{ S } 24^{\circ} \text{ W}$,

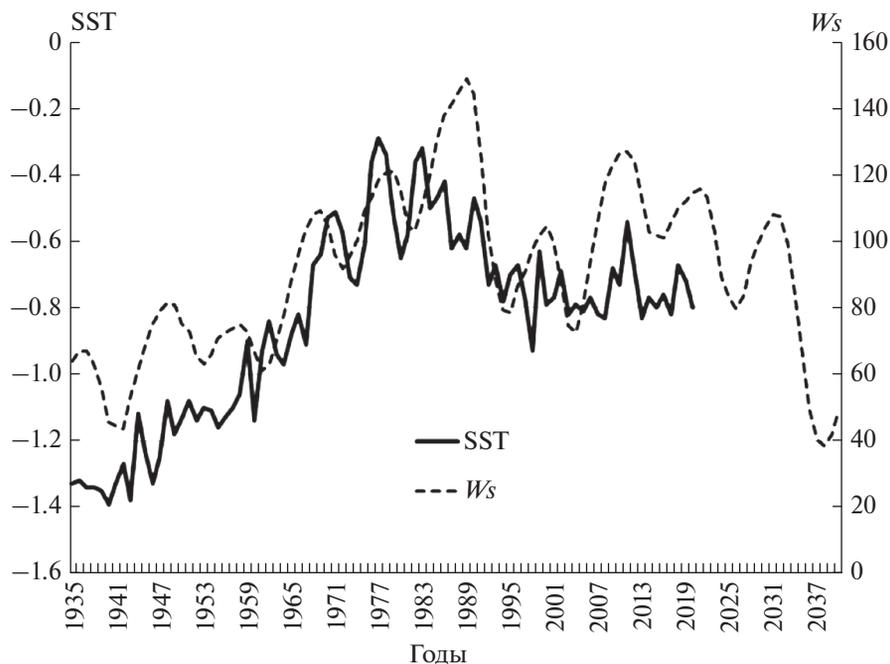


Рис. 3. Температура поверхности океана на Антарктическом течении в узле с координатами 60° S 24° W и солнечная активность W_s со сдвигом на 30 лет.

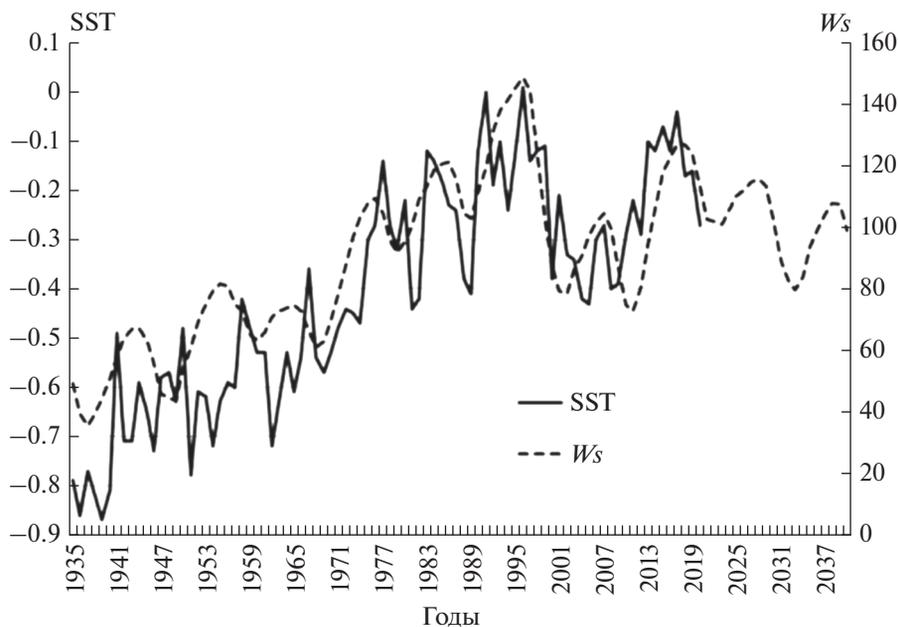


Рис. 4. Температура поверхности океана на Антарктическом течении в узле с координатами 56° S 16° E и солнечная активность W_s со сдвигом на 37 лет.

в котором ранее была обнаружена тесная связь изменений SST с изменениями солнечной активности. Вычислялись асинхронные коэффициенты корреляций SST в заданном узле с SST и T во всех других узлах географической сетки Земли. Сдвиг задавался от 0 до 50 лет. В этих вычислениях

величина сдвига означает время запаздывания переноса возмущений температуры из заданного района в Южной Атлантике в другие районы Земли. На рис. 5 показана карта коэффициентов наилучших асинхронных коэффициентов корреляции. А на карте рис. 6 показаны сдвиги, при которых

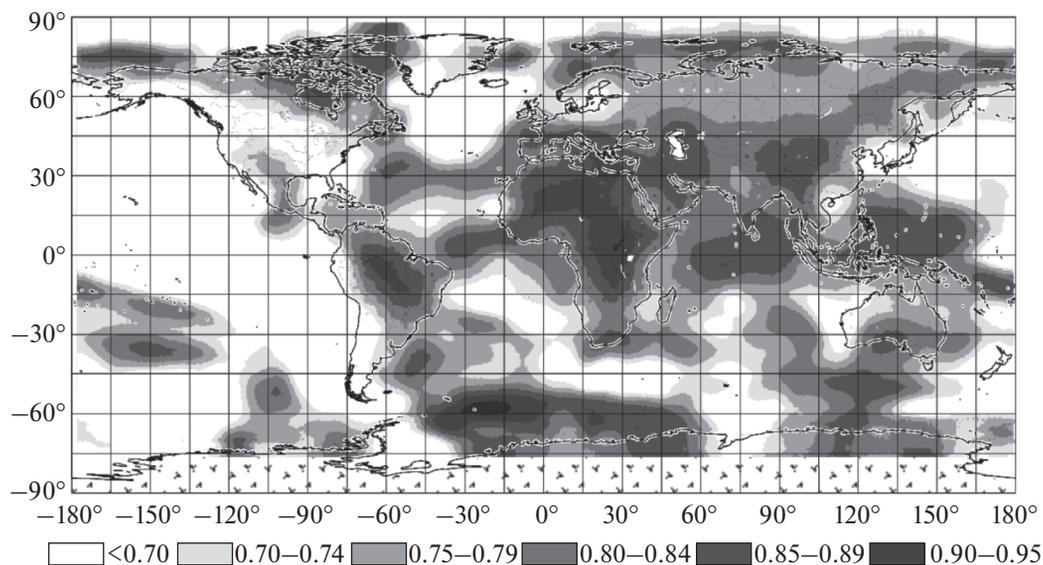


Рис. 5. Коэффициенты асинхронной корреляции SST и T в узлах географической сетки с температурой SST на Антарктическом течении в заданном узле с координатами $60^{\circ} S 24^{\circ} W$.

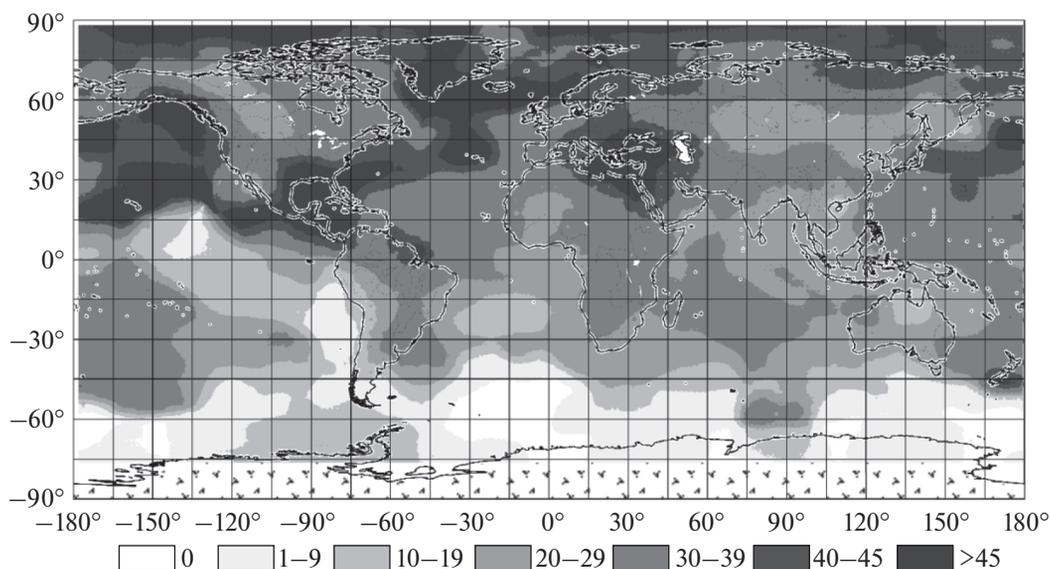


Рис. 6. Время запаздывания (годы) долгопериодных колебаний SST и T в узлах географической сетки относительно колебаний SST на Антарктическом течении в заданном узле с координатами $60^{\circ} S 24^{\circ} W$.

получены наилучшие коэффициенты асинхронной корреляции. Значения коэффициентов корреляции оказались очень высокими на обширных территориях на всех широтах и долготах Земли, но при разных сдвигах. Во многих узлах коэффициенты корреляции оказались от 0.7 до 0.9 и выше. Области с коэффициентами менее 0.7 на карте рис. 5 не показаны. Вклад изменений SST в реперной точке на Антарктическом течении в долгопериодные изменения SST и T в обширных

районах Земли составил более 60% от общей изменчивости температуры в этих районах.

Совместный анализ карт рис. 5, 6 показывает, что в приполярных широтах Южного полушария вдоль всего Антарктического течения наилучшими оказались преимущественно синхронные связи изменений SST в узлах сетки с изменениями в реперном узле, но на некоторых участках запаздывание составило 3–5 лет и до 7 лет. Это означает, что вдоль Антарктического течения возмущения распространяются с некоторым запаздыва-

нием. В небольшой широтной зоне севернее Антарктического течения связи ослабевают ($R < 0.7$), а примерно от $40^\circ S$ и дальше к северу связи восстанавливаются $R > 0.7$ и $R > 0.9$. Обусловленные изменениями солнечной активности возмущения температуры воздуха и океана в этой широтной зоне появляются с запаздыванием на 27–35 лет относительно изменений солнечной активности. В эту зону входят северная половина Южной Америки, Африка, Австралия, южная половина Азии, северная половина Индийского океана, два района в низких широтах Северной Атлантики и область в приэкваториальных широтах на западе и в центре Тихого океана. В средние и высокие широты Северного полушария возмущения доходят с запаздыванием от 38 до 47 лет. Долгопериодные изменения температуры, которые сначала появляются в Южном полушарии на циркумполярном Антарктическом течении постепенно переносятся на север до самых высоких широт Северного полушария. Весь путь от Южного океана до самых северных широт Земли занимает ~40–47 лет. Ослабление связей на некоторых широтах и последующее их усиление на более северных широтах показывает, что возмущения не везде распространяются по верхнему слою океана. На некоторых участках своего продвижения на север возмущения могут опускаться в более глубокие слои и становиться менее заметны по данным о температуре поверхности океана.

Итак, на первом этапе исследования обнаружены тесные асинхронные связи долгопериодных изменений температуры воздуха и температуры поверхности океана с долгопериодными изменениями солнечной активности. Короткопериодные изменения в настоящей работе не рассматриваются. Никогда раньше при исследованиях синхронных связей не были обнаружены такие сильные зависимости. Асинхронные связи согласуются с термодинамической инерционностью океана. Влияние солнечной активности проявилось в изменениях температуры поверхности океана в области циркумполярного Антарктического течения с запаздыванием на 28–37 лет (запаздывание отличается на разных участках течения).

На втором этапе показано, что долгопериодные колебания SST от широт траектории Антарктического течения продвигаются в Северное полушарие с нарастающим запаздыванием. До самых крайних северных широт колебания доходят через 40–47 лет.

В 1980–1990-х гг. значения SST на Антарктическом течении достигли максимума, а в последующие годы температура в Южном океане понижалась. С учетом времени запаздывания распространения теплой волны на север можно ожидать, что максимум теплой волны достигнет Арктики в

2030-е г. В работе [Шерстюков и Салугашвили, 2010] ранее, при анализе трендов среднегодовых SST и T в узлах сетки Северного полушария, было отмечено, что если во второй половине XX в. потеплением было охвачено все Северное полушарие, то в последующие годы южная граница положительных трендов температуры отходила к северу с нарастающим усилением потепления в высоких широтах. Тенденция северного смещения потепления продолжается. В настоящее время потепление уже не глобальное, оно продолжается только в умеренных и высоких широтах Северного полушария. Ранее обнаруженное смещение границы потепления к северу согласуется с новыми результатами о запаздывании изменений температуры в высоких широтах Северного полушария по сравнению с колебаниями SST в Южном океане.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Механизм влияния солнечной активности на океан не изучен, не известно, на каких глубинах океана появляется первоначальное влияние солнечной активности. Запаздывание на три десятилетия изменений на поверхности океана после изменений солнечной активности подсказывает, что в механизме задействованы глубинные слои океана и его тепловая и динамическая инерционность. Большой конвейер океанических течений медленно переносит тепло и влагу из одних регионов и слоев океана в другие по сложным, не совсем понятным траекториям [Broecker, 1991]. Выход аномалий на поверхность океана в разных его частях возможен с запаздыванием в несколько лет или десятилетий. Допускается существование колебаний климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких лет до порядка 1000 лет [Birchfield et al., 1994; Лаппо, 1984; Лаппо и др., 2006].

Важное значение района Антарктического течения в передаче влияний космоса на климат впервые было отмечено в работе [Шерстюков, 2019] при исследованиях другого предполагаемого внешнего фактора влияния на климат. В работе было показано, что неравномерное движение Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы создает дополнительные зональные долгопериодные возмущения в движении океанических масс на Земле, в первую очередь на Антарктическом течении и затем в восточной части Тихого океана. Было показано, что на поверхности океана изменения формируются с запаздыванием 35–37 лет после изменения момента барицентрического вращения Солнца.

Аналогичная связь долгопериодных изменений SST на Антарктическом течении с внешним воздействием была описана в работе [Шерстюков и др., 2020]. В ней показано, что долгопериодные изменения SST в районе Антарктического течения

согласуются с долгопериодными изменениями планетарной геомагнитной активности. Наилучшие связи обнаружены на Антарктическом течении в районе пересечения им Восточно-Тихоокеанского поднятия дна океана (запаздывание 32–33 г.), а также на пересечении Антарктическим течением южного окончания Срединно-Атлантического хребта (запаздывание 22–26 лет) и в узком месте между Австралией и Антарктидой (запаздывание ~30 лет). Проявления разных циклических воздействий космоса в изменениях температуры поверхности океана в области Антарктического течения согласуются между собой во всех исследованиях и во всех океанах.

Последующий перенос возмущения из Южного океана и время запаздывания переноса долгопериодных возмущений по планете согласуются с оценками, полученными ранее другими авторами. По данным Smith et al. [2008] сигнал изменения температуры проходит через всю Атлантику за 30 лет. Аналогичная оценка запаздывания реакции атмосферы на внешнее воздействие получена совершенно иным способом в работе [Бялко, 2012]. Бялко [2012] утверждает, что отклик состояния атмосферы на внешнее воздействие происходит с запаздыванием, которое определяется необходимым временем релаксации, свойственным всей климатической системе. По мнению автора, оптимальные значения такого времени релаксации оказались 25.1–27.5 лет [Бялко, 2012].

Южный океан оказался местом, где обнаружены влияния трех космических факторов на температуру его поверхности. Механизмы их влияния разные, но объединяет их, видимо, физико-географическая или геомагнитная уникальность этой широтной зоны.

Главное сомнение о реальности космических влияний на климатическую систему всегда было основано на слабой энергии этого воздействия по сравнению с энергией фактических изменений в океане и атмосфере. Вопрос этот часто задается в публикациях, ответы бывают разные. Напомним еще одну гипотезу, предложенную ранее в монографии [Монин и Сонечкин, 2005] и позднее развитую в работе [Шерстюков, 2019]. Проявление внешних воздействий на климатическую систему является вынужденной реакцией системы на резонансную раскачку колебаний ее характеристик на ее собственных частотах. Наблюдаемые долгопериодные колебания в климатической системе являются следствием параметрического резонанса внешних воздействий на собственных частотах системы. Такую же точку зрения высказали Бышев и др. [2016]. По их мнению известные межгодовые и междекадные колебания в климатической системе относятся к категории автоколебаний на собственных частотах. Эти колебания

Бышев и др. [2016] считают проявлением естественной изменчивости внутренней динамики климатической системы.

Климатическая система обладает свойствами, присущими колебательным системам. Эти свойства принципиально влияют на ее восприимчивость внешних циклических воздействий. В климатической системе, так же как во всех сложных колебательных системах, на близких и равных частотах колебаний возникают биения и резонансы. Космические воздействия на Землю тоже циклические. Резонансы колебаний могут возникать как внутри климатической системы, так и с внешними повторяющимися воздействиями. Каждая колебательная система, включая климатическую, избирательно воспринимает повторяющиеся слабые воздействия на нее. Многократные повторяющиеся даже очень слабые, но резонансные воздействия на систему с периодами ее собственных колебаний могут раскачать систему на ее собственных частотах до колебания с заметной амплитудой. Малая величина повторяющихся воздействий космоса на климатическую систему не является препятствием для модуляции в ней резонансных колебаний и биений. Это свойство вытекает из теории динамических систем [Блехман, 1971]. Основной особенностью синхронизации динамических систем, является отсутствие нижнего предела синхронизации. Приведенные сведения позволяют считать, что нет никаких препятствий для появления колебаний климата с частотами повторяющихся резонансных космических воздействий. В трех независимых перечисленных исследованиях автора показано, что первоначальные проявления в климатической системе от воздействий трех разных космических факторов наиболее заметны в Южном океане в области Антарктического течения на разных его участках и с небольшими различиями по времени запаздывания. Но во всех случаях возмущения SST от южных приполярных широт распространялись в сторону экватора и далее до высоких широт Северного полушария, предположительно через глобальную трехмерную систему океанических течений большого конвейера Брокера.

6. ВЫВОДЫ

1. Современное потепление климата в значительной мере является следствием циклических долгопериодных космических воздействий на Землю.

2. Многолетние долгопериодные изменения солнечной активности сопровождаются изменениями температуры поверхности океана в области Антарктического течения в южных широтах Атлантического, Тихого и Индийского океанов с запаздыванием на 28–37 лет на разных его участках. В этих районах изменения солнечной актив-

ности определяют 50% общей дисперсии долгопериодных колебаний SST.

3. Из Южного океана колебания SST медленно переносятся в Северное полушарие, проходя все широты по океанам и континентам с нарастающим запаздыванием. До самых крайних северных широт Земли долгопериодные колебания климата доходят через 40–47 лет. Изменения SST на Антарктическом течении объясняют более 60% общей дисперсии долгопериодных асинхронных изменений SST и T Северного полушария.

4. Асинхронные связи дают возможность получать статистические прогностические оценки будущего состояния климата Северного полушария на три-четыре десятилетия вперед.

5. В Южном океане после максимума температуры в 1980–1990-х гг. в настоящее время наблюдается понижение температуры поверхности океана. С учетом времени запаздывания переноса возмущений в северные широты в высоких широтах Северного полушария следует ожидать наступления максимума потепления в ближайшие годы. Неучтенные в работе факторы могут подкорректировать наметившиеся прогностические предпосылки.

6. Задержка на три десятилетия первичной реакции SST в Южном океане на внешние воздействия позволяет работать над методами, продлевающими проекции колебаний климата еще на три десятилетия.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 20-5500014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Блехман И.И.* Синхронизация динамических систем. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 894 с. 1971.
- *Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В.* Значение и роль Индийского океана в глобальной климатической системе / Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей. М.: Научный мир, С. 35–47. 2010.
- *Бышев В.И., Нейман В.Г., Анисимов М.В., Гусев А.В., Романов Ю.А., Серых И.В., Сидорова А.Н., Фигуркин А.Л., Анисимов И.М.* Междекадные осцилляции теплосодержания верхнего деятельного слоя океана в контексте короткопериодной изменчивости современного климата // Труды ГОИН. Вып. 217 / Исследования океанов и морей. Ред. Е.В. Борисов. С. 323–343. 2016.
- *Бялко А.В.* Релаксационная теория климата // Успехи физ. наук. Т. 182. № 1. С. 111–116. 2012.
- *Ланно С.С.* К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане / Исслед. процессов взаимодействия океана и атмосферы. М.: Гидрометеоздат., С. 125–129. 1984.
- *Ланно С.С., Добролюбов С.А., Лозовацкий И.Д., Морозов Е.Г., Соков А.В., Шаповалов С.М.* Трансформация вод антарктического происхождения и меридиональный перенос в Атлантике к северу от экватора по данным квазизонального разреза 2000 года / Фундаментальные исследования океанов и морей. Т. 1. М.: Наука, С. 15–32. 2006.
- *Логинов В.Ф.* Космические факторы климатических изменений. Минск: Институт природопользования НАН Беларуси. 168 с. 2020.
- *Монин А.С., Сонечкин Д.М.* Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. М.: Наука, 191 с. 2005.
- *Шерстюков Б.Г.* Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 184. С. 80–93. 2019.
- *Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П., Шерстюков А.Б.* О связи многолетних колебаний температуры воздуха в Приволжском федеральном округе с циклическими космическими воздействиями на Землю // Вестн. Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. Т. 30. Вып. 3. С. 307–315. 2020.
- *Шерстюков Б.Г., Салугашивили Р.С.* Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие // Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 175. С. 43–51. 2010.
- *Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J.* Century/millennium internal climate oscillations in an ocean–atmosphere–continental ice sheet model // J. Geophys. Res. V. 99. № С6. P. 12459–12470. 1994. <https://doi.org/10.1029/94JC00523>
- *Broecker W.S.* The great ocean conveyor // Oceanography. V. 4. № 2. P. 79–89. 1991.
- *ERSST V5.* National Centers for Environmental Information. The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature. 2020. <https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/cmb/ersst/v5/ascii/>
- *Huang B., Liu C., Ren G., Zhang H.-M., Zhang L.* The role of buoy and Argo observations in two SST analyses in the global and tropical Pacific oceans // J. Climate. V. 32. P. 2517–2535. 2018a. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0368.1>
- *Huang B., Thorne P., Banzon V., Boyer T., Chepurin G., Lawrimore J., Menne M., Smith T., Vose S., Zhang H.* Extended reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons // J. Climate. V. 30. № 20. P. 8179–8205. 2017. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>
- *Huang B., Angel W., Boyer T., Cheng L., Chepurin G., Freeman E., Liu C., Zhang H.* Evaluating SST analyses with independent ocean profile observations // J. Climate. V. 31. P. 5015–5030. 2018b. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0824.1>
- *Smith T., Reynolds R., Peterson T., Lawrimore J.* Improvements NOAAs Historical Merged Land – Ocean Temp

- Analysis (1880–2006) // *J. Climate*. V. 21. P. 2283–2296. 2008.
<https://doi.org/10.1175/2007JCLI2100.1>
- Sunspot data from the World Data Center SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels. 2021. <http://sidc.be/silso/datafiles#total>
- *Swingedouw D., Terray L., Cassou C., Voldoire A., Salas-Melia D., Servonnat J.* Natural forcing of climate during the last millenium: Fingerprint of solar variability. Low frequency solar forcing and NAO // *Climate Dynam.* V. 36. P. 1349–1364. 2011.
<https://doi.org/10.1007/s00382-010-0803-5>
- *Veretenenko S., Ogurtsov M.* Manifestation and possible reasons of ~60-year climatic cycle in correlation links between solar activity and lower atmosphere circulation / *Problems of Geocosmos–2018*. Eds. Yanovskaya T., Kosterov A., Bobrov N., Divin A., Saraev A., Zolotova N. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. 2020.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-21788-4_30
- *Zhang H., Lawrimore J., Boyin H.* Updated temperature data give a sharper view of climate trends // *Eos*. 100. 2019.
<https://doi.org/10.1029/2019EO128229>