

УДК 551.524.34(470.4)(045)

*Б.Г. Шерстюков, Ю.П. Переведенцев, А.Б. Шерстюков***О СВЯЗИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРИВОЛЖСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ С ЦИКЛИЧЕСКИМИ КОСМИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА ЗЕМЛЮ¹**

По данным наблюдений за 1891–2018 гг. исследовались природные многолетние колебания среднегодовой температуры воздуха в Приволжском Федеральном округе после исключения линейного тренда антропогенного потепления климата. Методом асинхронного корреляционного анализа при сдвигах от 0 до 70 лет обнаружена статистически значимая связь многолетних колебаний температуры с числом солнечных пятен. Наилучшая положительная связь оказалась при запаздывании температурных колебаний на 65 лет относительно изменений солнечной активности. Предполагается, что при циклических изменениях солнечной активности в Мировом океане возникают индуцированные квази-зональные электрические токи, способные создавать изменения температуры воды в глубинах океана преимущественно в области Антарктического циркумполярного течения. С запаздыванием на ~ 30 лет появляются циклические изменения температуры на поверхности Южного океана. Затем через систему течений глобального океанического конвейера Брокера температурные возмущения переносятся из Южного океана в Северную Атлантику и оказывают воздействие на температуру воздуха в Европе с опозданием еще на 30–36 лет.

Ключевые слова: колебания климата, солнечная активность, асинхронная корреляция.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-3-307-316

Вопрос о космических воздействиях на состояние климата рассматривается уже несколько десятилетий и до сих пор остается дискуссионным и актуальным. Вновь и вновь приходится к нему возвращаться на основе новых накопленных знаний, привлекая наработки в смежных науках о Земле и в космосе. Наука тогда является наукой, когда по данным наблюдений ведется поиск новых фактов, производятся новые обобщения или на основе накопленных фактов и обобщений разрабатываются новые теории. В науке узаконен метод выдвижения гипотез и построения моделей, в таком методе идея опережает знания и в результате множатся всевозможные парадоксы и противоречия, разрешить которые можно только проверкой гипотез на практике на основе данных наблюдений. Сравнение и уточнение теории является нормальным научным процессом, а накопление фактов, выдвижение гипотез, построение моделей и их корректировка на основе новых знаний являются единым процессом познания.

Надо признать, что вопрос о доминировании антропогенного фактора в современных изменениях климата также находится в процессе развития и уточнения на основе появления новых знаний и неизбежной корректировки моделей. Актуальность исследования внешних воздействий на климатическую систему сохраняется, потому что современные модели климата, построенные в предположении замкнутости климатической системы, не в состоянии описать реальные циклические изменения климата. Простейшие попытки учесть космические факторы в моделях климата не привели к успеху из-за недостатка знаний о механизмах этих воздействий. В настоящей работе не рассматриваются причины вековой тенденции глобального потепления, основное внимание здесь уделено исследованию по данным наблюдений возможных причин циклических изменений климата.

Материалы и методы исследований

При исследованиях предполагаемых космических воздействий на климатическую систему следует учитывать, что параметры космической среды содержат циклическости разной природы и с разными частотами. Не располагая уверенными знаниями о механизмах этих воздействий на земные процессы, можно ожидать появление первоначального отклика этих воздействий в любой из составляющих климатической системы с последующим распространением первоначального возмущения на другие ее составляющие. Первой задачей подобных исследований является определение или предположение места в климатической системе первоначального возникновения отклика на внешнее воздействие. Наиболь-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 18-05-00721, 18-45-160006 и 20-55-00014.

ший интерес представляют собой вариации климата атмосферы и прежде всего вариации температуры воздуха. Известно, что колебания температуры воздуха над континентами с периодами от нескольких лет до нескольких десятилетий и столетий обеспечивает крупномасштабный теплообмен атмосферы с океаном. Поэтому естественно предположить, что океан может оказаться передаточным звеном космических воздействий в атмосферу, если таковые обнаружатся. Океан обладает значительной тепловой и динамической инерционностью, связанной как с большой теплоемкостью его верхнего перемешанного слоя взаимодействия с атмосферой, так и с малыми скоростями горизонтальной и особенно вертикальной адвекции тепла во всей толще океана. Глобальный океанический конвейер теплых и холодных течений Брокера [1] охватывает все океаны и все его глубины, при этом полный оборот его течений занимает более 1000 лет [2]. Любые вариации в поверхностных теплых и холодных течениях океана сопровождаются аномалиями температуры воздуха на континентах.

Межгодовые и многолетние изменения в характеристиках поверхностных течений являются следствием тех процессов, которые происходят в глобальном океаническом конвейере Брокера. Разные по природе внешние воздействия на океан со своими разными частотами и разными механизмами передачи в него возмущений могут проявляться первоначально на разных глубинах океана или в разных регионах Мирового океана. Задержка распространения этих возмущений по вертикали и по горизонтали неизбежно должна сопровождаться запаздыванием отклика температурных возмущений в атмосфере. Из сказанного следует, что при решении поставленной задачи необходимо искать асинхронные связи. Даже если атмосфера, а не океан, является местом возникновения первоначальных возмущений в результате циклических воздействий космоса, то океан своей тепловой инерционностью отодвинет максимальное развитие процесса на многие годы.

Циклические космические воздействия на Землю можно разделить на три большие группы. В первую из них входят все процессы, связанные с изменениями солнечной активности (светимость Солнца и его излучения на разных частотах, потоки заряженных солнечных частиц разных энергий и связанные с ними магнитные бури на Земле, космические лучи солнечного и галактического происхождения, модулированные солнечной активностью, межпланетные магнитные поля, модулированные солнечным ветром и др.). Во вторую группу входят динамические силы воздействия на Землю, связанные с небесной механикой и силами, возникающими при неравномерном движении Земли по орбите и в космическом пространстве (изменения скорости вращения Земли, динамические возмущения в результате прецессии и нутации земной оси, дополнительный вращательный момент циркуляции океана из-за барицентрического движения Солнца и Земли вместе с ним вокруг центра масс Солнечной системы, а также возмущения, связанные с барицентрическим движением Земли и Луны вокруг их общего центра масс). К третьей группе можно отнести вариации воздействия на Землю светимости Солнца, связанные с той же небесной механикой (вариации количества приходящей солнечной радиации, связанные с изменением расстояния Солнце–Земля, с прецессией и нутацией земной оси и др.). Механизмы и особенности каждого из внешних воздействий на климатическую систему принципиально различны. На начальном этапе необходимо исследовать время запаздывания реакции региональных характеристик атмосферы на внешние воздействия.

Изложенные представления о возможных внешних воздействиях на климатическую систему положены в основу описанного ниже анализа.

В работе использованы данные о среднегодовой температуре воздуха по метеорологическим станциям на территории Приволжского Федерального округа (ПФО) с наблюдениями, начиная не позднее 1891 г. (таблица).

Привлекались данные о числе солнечных пятен (Числа Вольфа) за 1828–2019 г. [3]. Проводился асинхронный корреляционный анализ температуры воздуха ПФО и солнечной активности, представленной Числами Вольфа.

Изменения во времени среднегодовых Чисел Вольфа представляют собой гладкую кривую с ярко выраженным 11-летним циклом. А температурные ряды среднегодовых значений содержат более короткопериодную изменчивость, которая в настоящих исследованиях рассматривается как шум, поэтому значения среднегодовой температуры воздуха по всем станциям были сглажены скользящими средними по трехлетиям. Многолетние колебания сглаженной среднегодовой температуры воздуха на всех станциях ПФО оказались подобными между собой. Это позволило получить и рассматривать далее ряд осредненных по 12 станциям ПФО среднегодовых значений температуры. Предполагалось, что циклические внешние воздействия могут создавать циклические изменения в климатической системе, поэтому из ряда температуры исключался линейный тренд и рассматривались только отклонения от него.

Список метеорологических станций

№	Наименование станции	Синоптический номер	Координаты с.ш. в.д.
1.	Оренбург	35121	51.68 55.10
2.	Земетчино	27857	53.48 42.63
3.	Пенза	27962	53.12 45.02
4.	Чердынь	23914	60.40 56.52
5.	Бисер	28138	58.52 58.85
6.	Пермь	28224	58.00 56.40
7.	Уфа, Дема	28722	54.72 55.83
8.	Казань	27595	55.80 49.30
9.	Елабуга	28506	55.80 52.10
10.	Порецкое	27675	55.18 46.33
11.	Октябрьский Городок	34163	51.63 45.45
12.	Саратов, ЦГМС	34172	51.60 46.00

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показаны графики изменений температуры воздуха и Чисел Вольфа, их кусочно-полиномиальные тренды и линейный тренд температуры. Полиномы использовались второй степени. Они вычислялись по скользящим пятнадцати годам для температуры и по скользящим 35 годам для Чисел Вольфа.

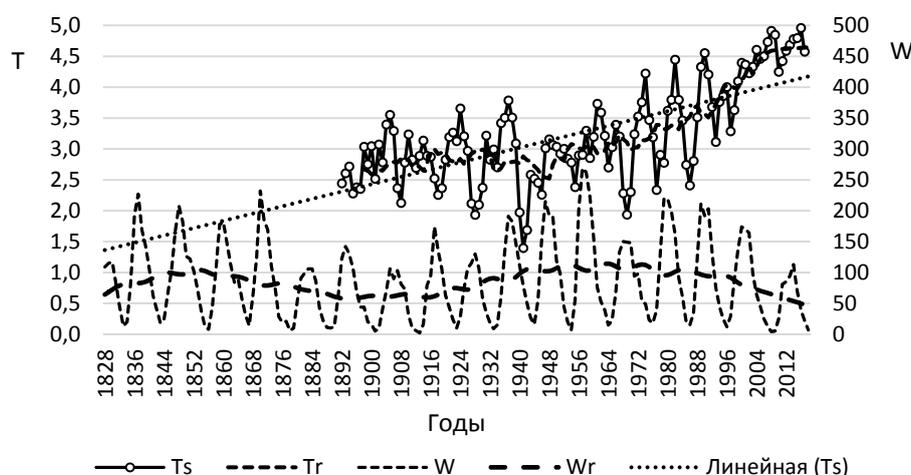


Рис. 1. Температура воздуха над ПФО (T_s), сглаженная по трехлетиям, и Числа Вольфа (W) (T_r и W_r – кусочно-полиномиальные сглаженные значения температуры и Чисел Вольфа)

Кусочно-полиномиальный тренд температуры воздуха на рис.1 демонстрирует волну ~80-летнего колебания относительно линии линейного тренда. Полиномиальный тренд вместе с линейным описывают 61 % общей изменчивости температуры. Доля объясненной вариации линейным трендом составляет 46 %. 15 % изменчивости относительно линейного тренда составляет ~80-летнее колебание. Остальные 39 % общей изменчивости приходится на колебания с периодами меньше 15 лет. Наблюдаемое современное потепление в ПФО началось после минимума 1941 г. За 1941–2018 г. потепление составило 2 °C (0,3 °C/10лет), если начальную и конечную температуру оценивать по значениям полиномиального тренда в эти граничные годы. Из этой величины на 1,2 °C произошло потепление за счет линейного тренда и еще на 0,8 °C произошло потепление за счет фазы роста ~80-летнего колебания.

О существовании ~80-летних колебаний в температуре было известно ранее. Они отмечались в [4] в изменении температуры воздуха высоких широт (60–90°с.ш.). Полиномиальные тренды на рис. 1 демонстрируют волну ~80-летнего колебания как в изменениях температуры, так и в изменениях Чисел Вольфа. Этот цикл солнечной активности тоже известен давно как цикл Гляйсберга, он имеет длину около 80–90 лет и проявляется в модуляциях максимумов 11-летних циклов [5].

Минимальная среднегодовая температура воздуха в ПФО наблюдалась в 1941 г., а максимальная в 2017 г. Самая низкая солнечная активность с минимальным Числом Вольфа наблюдалась в 1878 г., а максимальная солнечная активность за всю историю наблюдений была в 1957 г. Сравнение показывает, что минимальная температура воздуха в ПФО сформировалась через 63 года после минимума солнечной активности, а максимальная температура наблюдалась через 60 лет после максимума солнечной активности. Фактически многолетнее колебание солнечной активности повторилось через 60–63 года в аналогичных изменениях температуры воздуха ПФО с добавлением к температуре линейного тренда. Такое неожиданно большое запаздывание многолетних изменений температуры относительно Чисел Вольфа никогда ранее не отмечалось и требует дополнительного исследования.

На рис. 1 видно, что график температуры содержит положительный тренд, на который накладывается волна многолетнего колебания, а график Чисел Вольфа показывает наличие многолетнего колебания без заметного линейного тренда. Рост температуры, который показан линейным трендом, судя по литературным источникам, может быть следствием накопления тепла в результате усиления парникового эффекта [6]. В настоящей статье этот фактор не входит в рассмотрение, поэтому далее из ряда температуры был исключен линейный тренд за 1891–2018 г. Далее в работе используются остатки после исключения линейного тренда, которые будем называть аномалиями температуры.

Между аномалиями температуры и Числами Вольфа были вычислены асинхронные корреляции с запаздываниями реакции температуры от 0 до 70 лет. Максимальный по модулю коэффициент корреляции оказался $R=0,37$ при запаздывании колебаний аномалий температуры на 65 лет относительно Чисел Вольфа. Так как данные о Числах Вольфа мы имеем с 1700 г., то в вычислениях корреляций при сдвигах этого ряда не происходило уменьшение числа парных анализируемых значений. Коэффициент $R=0,37$ статистически значим с вероятностью 95 %.

На рис. 2 показан график изменения температуры ПФО после удаления линейного тренда и график чисел Вольфа, который сдвинут вперед на 65 лет так, что на горизонтальной шкале значение Числа Вольфа за 1826 г. приписано 1891 г. (сдвиг вперед на 65 лет), а значение Числа Вольфа 1827 г. приписано 1892 г. и т.д. При таком сдвиге достигается наилучшее согласие многолетних колебаний солнечной активности и аномалий температуры ПФО с коэффициентом корреляции $R=0,37$.

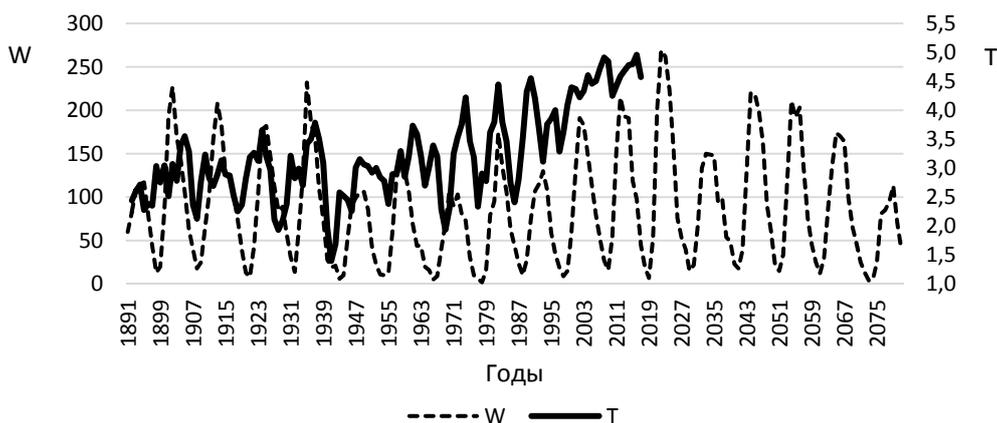


Рис. 2. Аномалии температуры воздуха над ПФО (Т), сглаженные по трехлетиям, и Числа Вольфа (W) со сдвигом на 65 лет

Примерно до 1990 г. в изменениях аномалий температуры просматривалась 11-летняя цикличность – на максимумах солнечной активности температура воздуха повышалась, а на минимумах понижалась (с учетом запаздывания на 65 лет). Но далее температура достигла таких высоких значений на максимумах солнечной активности, после которых она перестала возвращаться в исходное состоя-

ние на минимумах солнечной активности. Возможно, к этому времени в климатической системе произошла некоторая перестройка, после которой время релаксации системы увеличилось и поэтому температура после повышения на максимуме солнечной активности перестала успевать восстанавливаться (понижаться) до начального уровня в годы минимумов солнечной активности. С каждым новым 11-летним циклом активности Солнца температура воздуха повышалась еще больше. Каждый новый максимум солнечной активности начинался раньше, чем температура восстанавливалась до начального уровня. Происходило накопление тепла в атмосфере и потепление климата. Заметим, что повышение температуры, которое предположительно было связано с усилением парникового эффекта, уже было исключено ранее путем вычитания линейного тренда. В данном случае рассматривается дополнительное повышение температуры в результате многолетнего колебания, которое наблюдается на фоне линейного тренда потепления. Можно предположить, что после 1990 г. время релаксации климатической системы (по температуре) превышает время релаксации активности Солнца. Это обстоятельство нельзя не учитывать при исследованиях связи климата с солнечной активностью.

Если климатическая система в части температуры воздуха ПФО имеет время релаксации больше, чем Числа Вольфа, то для сравнения температуры с изменениями солнечной активности необходимо сгладить Числа Вольфа так, чтобы имитировать время релаксации показателя солнечной активности, близкое ко времени температурной релаксации.

Хорошее согласие хода температуры и солнечной активности получилось при скользящем сглаживании Чисел Вольфа по 9 годам (рис. 3). В таком случае сглаженный показатель солнечной активности, также как и температура, повышается на максимумах 11-летнего цикла и не опускается до начального уровня на минимумах 11-летнего цикла активности Солнца.

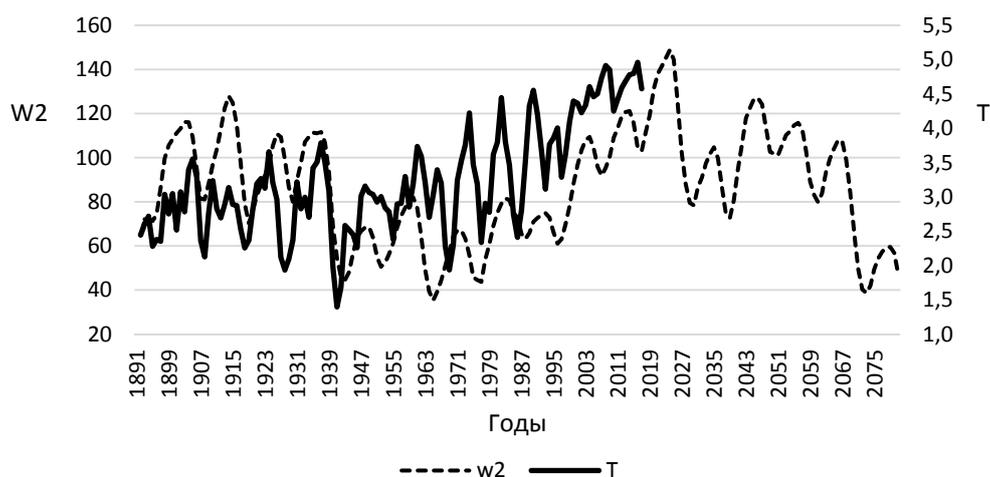


Рис. 3. Аномалии температуры воздуха над ПФО (T), сглаженные по трехлетиям, и Числа Вольфа (W2), сглаженные по скользящим 9-летиям со сдвигом на 65 лет

Вычислены асинхронные корреляции полученных сглаженных рядов аномалий температуры T и солнечной активности W2 при сдвигах от 0 до 70 лет. Наилучший коэффициент корреляции $R=0,70$ оказался при запаздывании температуры на 65 лет (рис. 3). Большое запаздывание подсказывает перспективы для прогностических оценок на будущее, однако без учета полного комплекса влияющих факторов такой прогноз был бы поспешным.

Изменения индекса W2 на рассмотренном интервале лет демонстрируют 11-летнюю цикличность на фоне квази-векового цикла (рис. 3). Здесь значительный вклад в высокую корреляцию внес квази-вековой цикл. Теперь необходимо независимо определить время запаздывания реакции температуры на 11-летнюю цикличность без квази-векового цикла. Для этого из рядов аномалий температуры и из Чисел Вольфа были вычтены кусочно-полиномиальные тренды с помощью полиномов 2-й степени по скользящим интервалам по 35 лет. При этом оказались исключенными все многолетние изменения длительностью более 35 лет. Полученный ряд температурных аномалий dT характеризует короткопериодную цикличность температуры без антропогенных изменений и без квази-вековых ко-

лебаний. А вычисленный ряд солнечной активности W_2 характеризует 11-летнюю цикличность солнечной активности без квази-вековых колебаний.

Вычислялись асинхронные коэффициенты корреляции короткопериодных вариаций аномалий температуры ПФО с 11-летней цикличностью солнечной активности при запаздываниях температуры от 0 до 70 лет. В случае строгой 11-летней цикличности существовала бы опасность статистически получить высокие корреляции при всех сдвигах, кратных 11 годам. Но длительность 11-летних циклов, на самом деле, варьирует от 9 до 17 лет в разные эпохи, а фаза 11-летнего цикла из-за этого неоднократно смещается за рассмотренный ряд лет. Поэтому наилучшая асинхронная корреляция должна быть только при таком сдвиге, который точнее соответствует реальному запаздыванию вариаций температуры относительно солнечных циклов. При сравнении длительных рядов возможность статистической ошибки минимальна в определении времени запаздывания реакции температуры на 11-летнюю солнечную цикличность. Наилучший по модулю коэффициент корреляции оказался $R=0,44$ при сдвиге на 65 лет. Это согласуется с ранее полученной задержкой реакции температуры на изменения солнечной активности в квази-вековом цикле. Теперь такое же запаздывание обнаружено для случаев с 11-летним циклом солнечной активности. На рис. 4 показаны отклонения аномалий температуры и Чисел Вольфа от их кусочно-полиномиальных трендов. График отклонений Чисел Вольфа сдвинут на 65 лет.

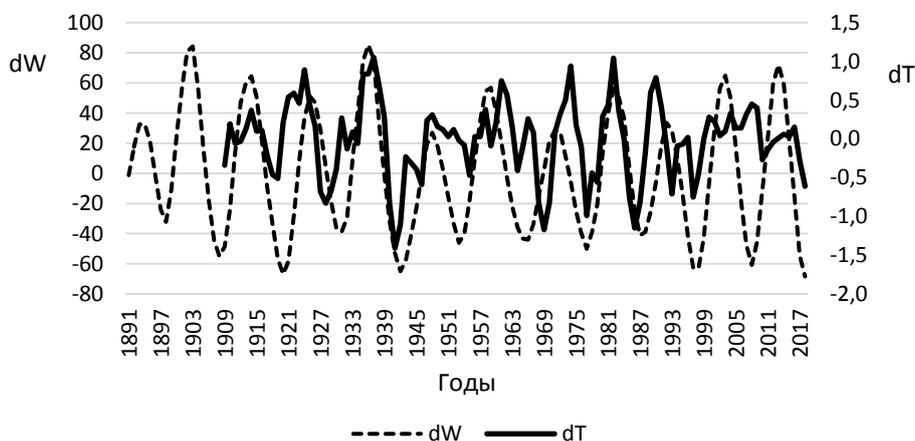


Рис. 4. Отклонения температуры (dT) и Чисел Вольфа (dW) от их кусочно-полиномиальных трендов (график отклонений Чисел Вольфа сдвинут на 65 лет)

В результате анализа показано, что при сдвиге на 65 лет ряда Чисел Вольфа совпали по фазе квази-вековые изменения температуры воздуха ПФО и солнечной активности (температура запаздывает). После исключения квази-вековых колебаний обнаружено, что при таком же сдвиге достигается наилучшая корреляция аномалий температуры с 11-летней цикличностью солнечной активности. На рис.4 десяти последним максимумам в изменениях солнечной активности соответствуют десять аналогичных максимумов в колебаниях аномалий температуры воздуха в ПФО. Такое совпадение в вековом и во всех одиннадцатилетних циклах не может быть случайным.

Запаздывание реакции температуры на изменения солнечной активности как в вековом, так и в 11-летнем циклах оказалось 65 лет. На первый взгляд такое запаздывание кажется невероятным. Однако необычайному запаздыванию есть объяснение. Изначально было известно, что многолетние колебания температуры воздуха связаны с взаимодействием атмосферы с океаном. Многолетние колебания в системе «атмосфера – океан» возможны благодаря существованию циклических колебаний в океане. По нескольким публикациям приведем оценки времени запаздывания температурных изменений в океане относительно циклических изменений солнечной (геомагнитной) активности и – оценки времени запаздывания изменений температуры воздуха в Европе относительно колебаний температуры поверхности Мирового океана.

В работах [5; 8] ранее исследовались асинхронные корреляции температуры воздуха в двух регионах на Европейской части России с температурой поверхности Мирового океана (ТПО) в узлах

географической сетки Северного и Южного полушарий. Если не считать небольшого региона Северной Атлантики вблизи Скандинавии, то наилучшие статистически значимые корреляции температуры воздуха в Европе с ТПО оказались в Тихом океане на Антарктическом циркумполярном океаническом течении с многолетним запаздыванием. В центральном регионе России запаздывание многолетних колебаний температуры составило 30–36 лет относительно колебаний ТПО на разных участках этого течения [7]. В Татарстане запаздывание колебаний температуры составило 35 лет относительно ТПО на Антарктическом течении западнее пролива Дрейка [8]. В отмеченных работах показано, что колебания ТПО, возникшие на Антарктическом течении, через 30–36 лет достигают средних широт Европейской части России в результате глобальной циркуляции океана и длительных неоднократных превращений на основе прямых и обратных атмосферно-океанических связей. Время такого запаздывания согласуется с известными скоростями распространения возмущений в океане и со временем релаксации температуры воздуха [9].

Средняя скорость основных океанических течений в океане составляет 2–10 см/сек [10]. Это означает, что средний перенос тепла океаническими течениями составляет 1–3 тыс. км за год. Если считать время переноса тепла в океане по средней скорости океанических течений около 2 тыс. км за год, то через систему океанических течений вихри океанических течений преодолеют не прямое расстояние около 60 тыс. км от южной части Тихого океана западнее пролива Дрейка до берегов Скандинавии за 30 лет. Отклик состояния атмосферы в Европе на вариации ТПО в Южном океане происходит с запаздыванием, которое определяется необходимым временем распространения и релаксации возмущений, свойственных всей климатической системе. Оптимальные значения такого времени релаксации в [11] получены 25,1–27,5 лет и близки к оценкам [7; 8]. Подобные оценки необходимого времени на перенос температурных аномалий в океане на большие расстояния приводятся и в других работах. Так, например, в работе [12] рассматривалась автоколебательная система в Северной Атлантике, источником тепла в которой являются Экваториальное и Флоридское течения, и было показано, что время пространственного переноса тепла течениями от экватора в Арктику составляет 21–24 года.

Близкие оценки запаздывания обнаружены и при других циклических внешних воздействиях на океан. Так, например, в [13] обнаружено влияние циклических изменений солнечной активности на Северо-Атлантическое колебание с запаздыванием в 40 лет в результате смещения зоны тропической конвекции в Тихом океане. Итак, время 30–36 лет, необходимое на перенос температурных аномалий из Южного океана в Северную Атлантику и для последующего воздействия на температурные аномалии воздуха в Европе, многократно подтверждается независимыми исследованиями разных авторов.

Далее приведем сведения о связи ТПО Южного океана с солнечной активностью. В авторской работе [14] независимо исследовалась связь изменений ТПО в узлах географической сетки с изменениями планетарной геомагнитной активности. Геомагнитная активность модулируется солнечной активностью. Связи с солнечной активностью исследовались по данным ТПО во всех узлах географической сетки Мирового океана $2 \times 2^\circ$ широты и долготы. Оказалось, что магнитные бури сопровождаются изменениями ТПО с наилучшей асинхронной корреляцией на Антарктическом циркумполярном течении с запаздыванием около 33 лет. Это тот же район в Мировом океане, с которым связаны многолетние колебания температуры воздуха в ПФО. Зона Антарктического океанического течения является единственным местом на всей планете Земля, где материки не мешают зональным кольцевым океаническим электрическим токам и кольцевому зональному океаническому течению. Поэтому там в Южном океане сложились более благоприятные условия для появления первоначальных возмущений в циркумполярном течении после изменений солнечной и геомагнитной активности. Возникает предположение о том, что солнечная активность через модуляцию вариаций магнитного поля Земли индуцирует в глубинных слоях океана квази-зональные электрические токи, которые влияют на температуру океана через нагрев (или отклоняют движение течений в магнитном поле) с запаздыванием на 33 года изменений температуры на его поверхности. Время 33 года необходимо для выхода глубинных возмущений океанических течений на поверхность. Затем с запаздыванием еще примерно на 30–36 лет через океанический конвейер Брокера [1] вариации ТПО достигают Северной Атлантики и вызывают изменения в температуре воздуха ПФО. Общее время запаздывания изменений температуры ПФО на изменения солнечной активности получается от 63 до 69 лет, что примерно соответствует обнаруженному в настоящей работе запаздыванию 65 лет. Учитывая сопоставленные факты, уже не кажется невероятным запаздывание на 65 лет многолетних колебаний температуры ПФО относительно циклических изменений солнечной активности.

Полная картина и механизмы передачи возмущений активности Солнца в изменения региональной температуры воздуха могут быть значительно сложнее, однако представленные результаты полезны для понимания важности исследования асинхронных внутриконтинентальных связей в климатической системе и асинхронных связей состояния отдельных элементов климатической системы с внешними воздействиями. Автоколебания являются основным свойством климатической системы, для поддержания которых необходим циклический источник дополнительной энергии. Источник дополнительной энергии может быть многократно слабее энергии автоколебаний, но он будет эффективным по принципу резонанса, если его цикличность имеет частоты, соизмеримые с собственными частотами колебаний элементов климатической системы.

Заключение

В дополнение к известному тренду среднегодовой температуры воздуха ПФО антропогенного происхождения за последние 128 лет обнаружены циклические изменения температуры воздуха ПФО, связанные с квази-вековым и 11-летним циклами солнечной активности.

Главной особенностью обнаруженных солнечно-атмосферных связей является запаздывание на 65 лет вариаций температуры воздуха ПФО после изменений солнечной активности как в квази-вековом, так и в 11-летних циклах.

На основе ранее выполненной авторами работы предполагается, что в передаточном механизме участвуют электрические зональные кольцевые токи в океане вокруг Антарктиды, индуцированные изменяющимся магнитным полем Земли во время магнитных бурь, вызванных солнечной активностью.

Передаточным звеном от вариаций солнечной активности к вариациям температуры воздуха ПФО предполагается глобальный океанический конвейер Брокера. Многолетнее запаздывание реакции температуры воздуха ПФО на вариации солнечной активности объясняется появлением первоначальных возмущений ТПО в области Антарктического течения в Тихом океане и необходимым временем последующего добега возмущений ТПО до высоких широт Северной Атлантики через глобальную систему океанических течений.

Полученные результаты после углубленных дополнительных исследований могут оказаться полезными для создания метода прогноза природных колебаний климата на ближайшие десятилетия в дополнение к сценариям антропогенного потепления и с учетом других факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Broecker W.S. The great ocean conveyor // *Oceanography*. 1991. 4(2). P. 79-89.
2. Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J. Century/millennium internal climate oscillations in an ocean-atmosphere-continental ice sheet model // *Journal of Geophysical Res.* 1994. Vol. 99. Iss. C6. P. 12459-12470. URL: <https://doi.org/10.1029/94JC00523> (дата обращения: 05.05.2020).
3. SILSO, World Data Center – Sunspot Number and Long-term Solar Observations, Royal Observatory of Belgium, on-line Sunspot Number catalogue. URL: http://sidc.oma.be/silso/DATA/SN_y_tot_V2.0.txt (дата обращения: 05.05.2020).
4. Логинов В.Ф., Лысенко С.А. Современные изменения глобального и регионального климата. Минск: Белорусская наука, 2019. 315 с.
5. Витинский Ю.И. Солнечная активность. М.: Наука, 1983. 192 с.
6. IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
7. Шерстюков Б.Г. Переведенцев Ю.П. Дальние асинхронные связи в долгопериодных колебаниях климата Мирового океана и региональной атмосферы применительно к Республике Татарстан // *Вестн. ВГУ. Серия: География. Геоэкология*. 2019. №1. С. 5-11.
8. Шерстюков Б.Г. Асинхронные связи температуры воздуха в Центральном регионе России с температурой поверхности мирового океана // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2019. Вып. 184. С.67-89.
9. Wyatt M.G., Kravtsov S., Tsonis A.A. Atlantic multidecadal oscillation and Northern hemisphere's climate variability // *Climate Dynamics*. 2012. Vol. 38. Iss. 5-6. P. 929-949.
10. Логинов В.Ф. Космические факторы климатических изменений. Минск, 2020. 168 с.
11. Бялко А.В. Релаксационная теория климата // *Успехи физических наук*. 2012. Т. 182, № 1. С. 111-116.

12. Яковлева Н.М. К вопросу о причинах квазипериодических колебаний климата // Труды ГГО. 1969. Вып. 236. С. 35-44
13. 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 Dynamics*. 2011. Vol. 36. P.1349-1364
14. Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П. Многолетние колебания температуры поверхности Мирового океана в связи с изменениями геомагнитной активности // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Серия: География. Гео-экология. 2020. № 1. С.14-21. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2020.1/2656>.

Поступила в редакцию 20.08.2020

Шерстюков Борис Георгиевич, доктор географических наук,
заведующий лабораторией исследования последствий изменения климата
ФГБУ «Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»
249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 6
E-mail: boris_sher@mail.ru

Переведенцев Юрий Петрович, доктор географических наук, профессор,
заведующий кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы
Казанский федеральный университет, Институт экологии и природопользования
420097, Россия, г. Казань, ул. Товарищеская, д. 5
E-mail: yuri.perevedentsev@kpfu

Шерстюков Артем Борисович, кандидат географических наук,
старший научный сотрудник лаборатории исследования последствий изменения климата
ФГБУ «Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»
249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 6
E-mail: artem@meteo.ru

B.G. Sherstyukov, Yu.P. Perevedentsev, A.B. Sherstyukov

ON THE RELATIONSHIP OF LONG-TERM FLUCTUATIONS IN AIR TEMPERATURE IN THE VOLGA FEDERAL DISTRICT WITH CYCLICAL SPACE IMPACTS ON THE EARTH

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-3-307-316

Based on observation data for 1891–2018, natural long-term fluctuations in the average annual air temperature in the Volga Federal District were studied after excluding the linear trend of anthropogenic climate warming. The method of asynchronous correlation analysis with lag from 0 to 70 years revealed a statistically significant relationship between long-term temperature fluctuations and the number of sunspots. The best positive relationship was found with a 65-year delay in temperature fluctuations relative to changes in solar activity. It is assumed that, with cyclical changes in solar activity, induced quasi-zonal electric currents arise in the World Ocean that can create changes in water temperature in the ocean depths, mainly in the area of the Antarctic Circumpolar Current. Cyclical temperature changes appear on the surface of the Southern Ocean with a delay of ~ 30 years. Then, through the system of currents of the Broker's global oceanic conveyor, temperature perturbations are transferred from the Southern Ocean to the North Atlantic and affect the air temperature in Europe with a delay of another 30–36 years.

Keywords: climate fluctuations, solar activity, asynchronous correlation.

REFERENCES

1. Broecker, W.S. The great ocean conveyor, in *Oceanography*, 1991, 4(2), pp. 79-89.
2. Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J. Century/millennium internal climate oscillations in an ocean-atmosphere-continental ice sheet model, in *Journal of Geophysical Res.*, 1994, vol. 99, iss. C6, pp. 12459-12470. Available at: <https://doi.org/10.1029/94JC00523> (accessed: 05.05.2020).
3. SILSO, World Data Center – Sunspot Number and Long-term Solar Observations, Royal Observatory of Belgium, on-line Sunspot Number catalogue. Available at: http://sidc.oma.be/silso/DATA/SN_y_tot_V2.0.txt (accessed: 05.05.2020).
4. Loginov V.F., Lysenko S.A. *Sovremennye izmeneniya global'nogo i regional'nogo klimata* [Modern changes in global and regional climate], Minsk: Belarusskaya Navuka, 2019, 315 p. (in Russ.).
5. Vitinskiy Yu.I. *Solnechnaya aktivnost'* [Solar activity], Moscow: Nauka, 1983, 192 p. (in Russ.).

6. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
7. Sherstyukov B.G. Perevedentsev Yu.P. [Long-range asynchronous communications in long-period fluctuations of the climate of the World ocean and the regional atmosphere in relation to the Republic of Tatarstan], in *Vestnik Voronezhskogo Gos.Univ., Ser.Geografiya. Geoekologiya*, 2019, no.1, pp. 5-11 (in Russ.).
8. Sherstyukov B.G. [Asynchronous connections of air temperature in the Central region of Russia with the surface temperature of the world ocean], in *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrometeorologicheskoy informatsii – Mirovoy tsentr dannykh [Proceedings of RIHMI-WDC]*, 2019, iss. 184, pp. 67-89 (in Russ.).
9. Wyatt M.G., Kravtsov S., Tsonis A.A. Atlantic multidecadal oscillation and Northern hemisphere's climate variability, in *Climate Dynamics*, 2012, vol. 38, iss. 5-6, pp. 929-949.
10. Loginov V.F. *Kosmicheskie faktory klimaticheskikh izmeneniy* [Space factors of climate change], Minsk, 2020, 168 p. (in Russ.).
11. Byalko A.V. [Relaxation theory of climate], in *Uspekhi fizicheskikh nauk [Advances in Physical Sciences]*, 2012, vol. 182, no. 1, pp. 111-116 (in Russ.).
12. Yakovleva N.M. [On the causes of quasi-periodic climate fluctuations], in *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii*, 1969, iss. 236, pp. 35-44 (in Russ.).
13. 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, in *Climate Dynamics*, 2011, vol. 36, pp. 1349–1364.
14. Sherstyukov B.G., Perevedentsev Yu.P. [Long-Term fluctuations in the surface temperature of the World ocean due to changes in geomagnetic activity], in *Vestnik Voronezhskogo Gos. Univ., Ser.Geografiya. Geoekologiya*, 2020, no. 1, pp.14-21 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2020.1/2656>

Received 20.08.2020

Sherstyukov B.G., Doctor of Geography, Head of the laboratory for research on the effects of climate change
All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information – The World Data Center
Koroleva st., 6, Obninsk, Kaluga region, Russia, 249035
E-mail: boris_sher@mail.ru

Perevedentsev Yu.P., Doctor of Geography, Professor,
Head of the Department of meteorology, climatology and atmospheric ecology
Kazan Federal University, Institute of ecology and natural resources
Tovarischeskaya st., 5, Kazan, Russia, 420097
E-mail: yuri.perevedentsev@kpfu.ru

Sherstyukov A.B., Candidate of Geography, Senior Researcher, for research on the effects of climate change
All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information – The World Data Center
Koroleva st., 6, Obninsk, Kaluga region, Russia, 249035
E-mail: artem@meteo.ru