МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.524(410) doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-207-226

Дальние асинхронные связи долгопериодных колебаний температуры воздуха в Англии

Б.Г. Шерстюков, А.Б. Шерстюков

ФГБУ «Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных», г. Обнинск, boris_sher@mail.ru

Показано, что изменения климата в центральной Англии состоят из линейного тренда и 60—80-летних колебаний, которые начались на два столетия раньше появления интенсивных антропогенных выбросов CO_2. Долгопериодные изменения температуры воздуха в центральной Англии оказались статистически связанными с предшествующими изменениями температуры поверхности Южной Атлантики в области Антарктического течения. Время запаздывания изменений температуры в Европе составляет 25—29 лет относительно изменений температуры океана Южной Атлантики. Вклад асинхронных колебаний температуры поверхности океана Южной Атлантики в общую дисперсию долгопериодных колебаний температуры воздуха в центральной Англии составил около 50 %.

Ключевые слова: изменения климата, температура воздуха, температура океана, океанические течения, дальние связи, асинхронные корреляции.

Long-distance asynchronous connections of long-period air temperature fluctuations in England

B.G. Sherstyukov, A.B. Sherstiukov

All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information — World Data Center Obninsk, Russia

The study aims at identifying causes of long-term climate change in Europe in the twentieth century. Based on air temperature observations in Central England for 1800—2020 and on data in the nodes of the geographical grid on the global sea surface temperature, using data on air temperature over the continents, asynchronous correlations have been studied at shifts up to 37 years. Weather data on the amount of anthropogenic CO2 emissions into the atmosphere have been used. Climate change in Central England is shown to consist of a linear trend and 60—80-year fluctuations, which began two centuries before the appearance of intense anthropogenic CO2 emissions. Three waves of climate warming in Central England over the past two centuries are a manifestation of the peculiarities of the oscillatory processes of the main ocean currents in the World Ocean. The intense climate warming in the second half of the twentieth century appears to result from the summation of the natural trend component and the ascending phase of 60—80-year natural fluctuations.

The analysis of asynchronous correlations has shown that long-period temperature changes in Central England are closely related to similar previous changes in the surface temperature of the South Atlantic in the Antarctic Current region. Based on the shifts of temperature fluctuations at different latitudes of the Atlantic, it is established that the fluctuations occur initially in the values of the sea surface temperature

at the circumpolar latitudes of the Southern Hemisphere, and then are slowly transferred northwards by the system of ocean currents of the global Broker conveyor belt. These fluctuations are transferred to the near-equatorial latitudes with a delay of 20—24 years. In low northern latitudes, connections are lost, but then, after a few more years, similar fluctuations appear in the North Atlantic surface temperature at latitudes north of 32° N and are found in changes in air temperature over Europe. This global conveyor belt of the ocean currents slowly transfers heat from one region and layer to others along complex pathways, not always the surface ones.

The total time lag of temperature changes in Europe is 25—29 years relative to changes in the temperature of the South Atlantic. The contribution of asynchronous fluctuations in sea surface temperature of the South Atlantic to the total dispersion of long-period air temperature fluctuations in Central England is about 50 %. The appearance of long-range connections is consistent with the Atlantic meridional overturning circulation, but it is not yet clear what happens at latitudes 0—32° N.

The Southern Ocean in the Antarctic Current area plays a key role in the emergence of long-term climate fluctuations in many regions of the Earth. The observational data and the results of their analysis do not confirm the widespread hypothesis about the predominant anthropogenic contribution to modern climate change in Europe.

Keywords: climate change, air temperature, sea surface temperature, ocean currents, correlations, long-term fluctuations.

For citation: *B.G. Sherstyukov, A.B. Sherstiukov.* Long-distance asynchronous connections of long-period air temperature fluctuations in England. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Journal of Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2021. 63: 207—226. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-207-226

Введение

Современные изменения глобального климата состоят из трендовой составляющей однонаправленного изменения его параметров, на которую накладываются колебания метеорологических величин разного временного масштаба. В докладах [1] современное потепление связывают с усилением парникового эффекта атмосферы из-за увеличения концентрации углекислого газа в результате сжигания ископаемого топлива. Однако, сравнение данных метеорологических наблюдений за последние 200 лет с данными об увеличении антропогенных выбросов парниковых газов показывает явную несогласованность их изменений во времени. В.М. Котляков [2] отмечает, что ход глобальной температуры значительно сложнее роста мирового потребления топлива. Интенсивные антропогенные выбросы парниковых газов в атмосферу начались во второй половине XX века, а потепление климата во многих регионах Земли началось на несколько десятилетий раньше. Кроме того, во многих регионах обнаружена циклическая составляющая изменений климата с периодом около 60—80 лет [3—5], которую нельзя связать с антропогенным влиянием.

В работе [6] отмечалось, что причины изменений в климатической системе на временных масштабах от нескольких лет до тысячелетий обусловлены внутренней океанической динамикой и взаимодействием океана с атмосферой.

По данным [7—9] в работе [10] указано, что на территории Европы и северо-западной Азии в течение последних 100 лет выделялись интервалы по 25—35 лет усиления и ослабления континентальности климата, колебаний водности рек, уровня Каспийского моря и экстремальных сезонных температур воздуха,

которые являются следствием квази-шестидесятилетнего цикла. О существовании подобных циклов известно на протяжении нескольких столетий. В работе [4] упоминается, что в спектре значений ширины годичных колец деревьев Гренландии и Лапландии известны циклы около 70 и 90—110 лет. Длительность таких колебаний климата в разные эпохи изменяется от 60 до 120 лет.

Сложность изучения причин современного потепления заключается в том, что восходящая ветвь 60—80-летнего цикла изменения глобальной температуры в последней четверти XX века совпала с усилением эмиссии парниковых газов. Очень сложно по коротким рядам наблюдений отделить антропогенную составляющую потепления климата от природной. Задача облегчается при анализе рядов наблюдений за два последних века при сравнении особенностей изменения климата до и после появления антропогенного фактора интенсификации сжигания топлива.

В связи с этим были выполнены исследования по многолетним данным на основе сопоставления изменений температуры воздуха в центральной Англии с изменениями температуры поверхности океана и температуры воздуха над континентами в узлах географической сетки. Изменения климата Европы происходят не изолированно, они являются следствием глобальных взаимосвязанных термодинамических процессов в климатической системе. В данной работе ставилась задача поиска источника наблюдаемых в Европе 60—80-летних колебаний климата и причин современного потепления.

Исходные данные и методы анализа

В работе использовались данные наблюдений:

1) среднегодовая (Та) и зимняя (декабрь—февраль) температура (Т) воздуха в центральной Англии за 1800—2020 гг. [11—14];

2) данные о количестве антропогенной эмиссии CO_2 за 1800—2020 гг. [15], выраженные в млн т углерода;

3) аномалии среднегодовой температуры воздуха (Тв) над континентами, вычисленные по месячным данным из объединенного набора данных NOAAGlobalTemp глобальной температуры поверхности суши и океана NOAA, версия V5 [16, 17] с пространственной сеткой 5×5° по широте и долготе за 1880—2020 гг., однако до 1935 г. данные в этом массиве приводятся не во всех узлах (по полной сетке 5×5° данные начинаются с 1935 г.);

4) данные о среднегодовой температуре поверхности океана (ТПО), вычисленные по месячным данным из массива The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST V5) на сетке 2×2° за 1854—2020 гг. [18].

В архиве ERSST V5 данные ТПО в узлах географической сетки начинаются с 1854 г., но из-за очень ограниченного количества данных наблюдений до 1880 г. во временных рядах ТПО в самые ранние годы данные являются ненадежными, особенно в высоких широтах [19]. После 1880 г. качество данных стало лучше в части пространственного и временного разрешения. Существует несколько версий такого архива. Каждая новая версия отличалась введением дополнительных

новых данных наблюдений и усовершенствованием методов усвоения разнородных данных. Например, в третью версию ERSST V3 были добавлены спутниковые данные о ТПО с 1985 г. [20]. Но затем более тщательный анализ показал, что они вызывают слишком сильное смещение. Поэтому в следующей версии ERSST V3b от спутниковых данных отказались. В последующие годы привлекались дополнительные данные и усовершенствовалась методика усвоения данных наблюдений из разных источников, включая данные о температуре воздуха на островных и прибрежных станциях. Самая последняя версия ERSST, версия V5 [21], использует новые наборы данных из ICOADS Release 3.0 о температуре поверхности океана SST, данные буев Argo в слое 5 м, сведения о ледовой обстановке Hadley Center Ice-SST версии 2 [22]. В архиве ERSST V5 улучшено описание пространственной и временной изменчивости ТПО за счет уменьшения пространственной фильтрации в функциях реконструкции данных в Мировом океане, особенно в Арктике. Авторами массива выполнено восстановление пропущенных данных статистическими методами.

Авторы рекомендуют данные архива ERSST V5 с 1880 г. только для исследования долгопериодных крупномасштабных изменений, так как в рядах ТПО за ранние годы все же остаются сглажеными локальные и короткопериодные вариации. Начиная с 1940 г., данные становятся более надежными и пригодными для многих исследований.

В настоящей работе дальние связи оценивались по укороченным, но более надежным рядам ТПО за 1940—2020 гг. и дополнительно все вычисления дублировались по длительным рядам данных за 1880—2020 гг. При нашем анализе связей между долгопериодными колебаниями температуры воздуха и температуры поверхности океана допустимо использование рядов с 1880 г. в соответствии с рекомендациями авторов массива. Кроме того, длительные ряды данных повышают статистическую надежность оценок. А укороченные ряды повышают надежность результатов в районах с изначально редкими данными наблюдений.

Поскольку ставилась задача анализа дальних связей между долгопериодными колебаниями климата в разных регионах Земли, то короткопериодные вариации в рядах Та, Тв и ТПО были сглажены методом скользящих средних по трехлетиям. Сглаженные по трехлетиям значения использовались в дальнейших расчетах. Для графического представления данные о зимней температуре в центральной Англии (Т) были сглажены 11-летним скользящим осреднением. Колебания климата, возникшие в одном регионе, могут появляться в других регионах с некоторым сдвигом. Так появляются асинхронные дальние связи в колебаниях климата. Дальние связи оценивались по коэффициентам асинхронной корреляции в предположении запаздывания переноса возмущений на большие расстояния.

В океане перенос температурных возмущений на большие расстояния занимает годы [4], поэтому асинхронные корреляции вычислялись при сдвигах от 0 до 37 лет. При вычислении асинхронных коэффициентов корреляции количество сопоставляемых членов двух рядов уменьшалось при сдвигах. Вычисления коэффициентов корреляции между температурой воздуха в центральной Англии Та за 1800—2020 гг. и ТПО в узлах за 1940—2020 гг. при нулевом сдвиге выполнялось

по данным за 81 год, а в предельном случае при сдвиге на 37 лет оно уменьшалось до 44 лет. В дополнительном анализе асинхронных корреляций по данным ТПО за 1880—2020 гг. количество сопоставляемых членов рядов составляло от 141 года при нулевом сдвиге и сокращалось до 104 лет при сдвиге на 37 лет.

Ряды температуры воздуха над континентами Тв использовались с 1935 г., поэтому коэффициенты асинхронной корреляции Тв с Та вычислялись по значениям за 86 лет при нулевом сдвиге и сокращались до 49 лет при максимальном сдвиге на 37 лет.

Основные результаты

В колебаниях современного климата Европы особое значение имеет понимание причин появления цикла 60—80 лет, который внес свой вклад в потепление всего глобального климата в конце XX века [23], но до настоящего времени недостаточно изучен. По этой причине потепление климата во время его восходящей фазы, начиная с последней четверти XX в., иногда полностью отождествляется с антропогенным усилением парникового эффекта [1].

Наиболее заметно этот цикл проявляется в Северной Атлантике и в прилегающих регионах. На рис. 1 показаны изменения зимней (декабрь—февраль)

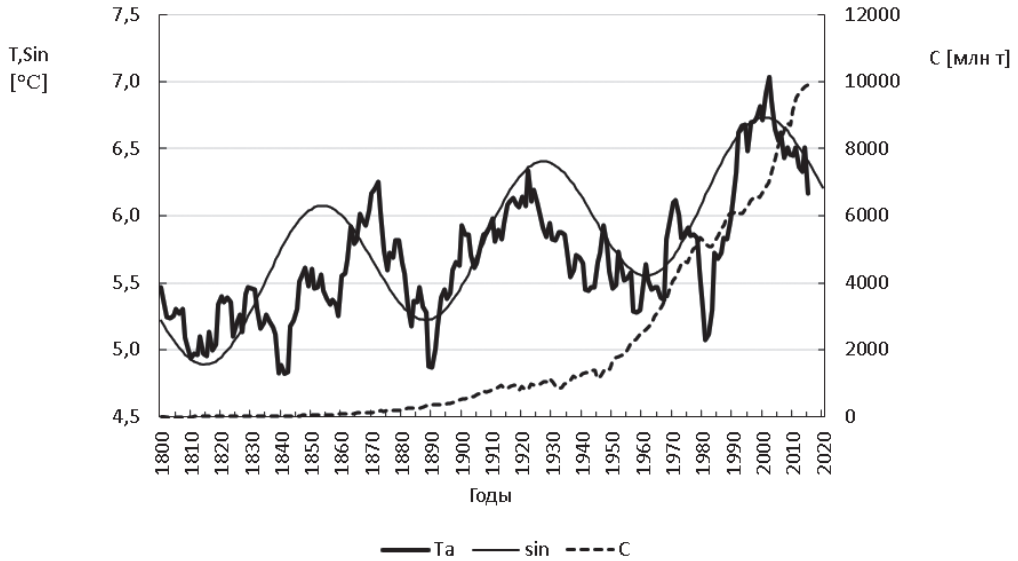

Рис. 1. Зимняя температура (Т) в центральной Англии, сглаженная 11-летним скользящим осреднением, ее трендовая составляющая, модель колебаний (Sin) и антропогенная эмиссия CO_2, выраженная в млн т углерода (С).

Fig. 1 Winter temperature (T) in central England, smoothed by 11-year moving averaging, its trend component, fluctuation model (Sin) and anthropogenic CO_2 emissions, expressed in million tons of carbon (C).

температуры воздуха в центральной Англии (Т) за 1800—2020 гг. и изменения антропогенной эмиссии CO_2.

Сопоставление трех графиков рис. 1 показывает, что тренд потепления климата в центральной Англии начался на полтора столетия раньше появления антропогенного усиления парникового эффекта атмосферы Земли и не может быть следствием антропогенной деятельности. Данные наблюдений также показывают (рис. 1), что на фоне тренда потепления за последние более 200 лет изменения температуры содержат долгопериодные колебания в виде волн повышения и понижения температуры, которые известны как 60—80-летние колебания. В это время накопление CO_2 происходило без подобных колебаний, причем интенсивное антропогенное увеличение выбросов CO_2 началось только во второй половине XX в. Именно этим увеличением углекислого газа в атмосфере пытаются объяснить современное потепление климата [1], не учитывая, что за два последних века долгопериодные колебания Т через каждые 60—80 лет уже неоднократно создавали подобные потепления в Англии даже в те годы, когда еще не было интенсивных антропогенных выбросов CO_2. Очевидно, ни двухсотлетний тренд, ни 60—80-летние колебания климата не связаны с деятельностью человека. Спектральный анализ представленного ряда зимней температуры воздуха в Англии показал наличие в нем колебаний температуры с периодом 73,3, 44,0 и 24,4 года. По данным [24], колебания с указанными тремя периодами описывают 35 % изменчивости Т без учета тренда, а вместе с линейным трендом они описывают 97 % общей изменчивости. Наиболее сильной является волна 73 года.

На рис. 1 показана модель синусоиды с периодом 73 года, наложенная на линейный тренд потепления. Колебания температуры (Т) и модельная синусоида (Sin) не согласуются с графиком накопления антропогенного углекислого газа. Начиная с 1800 г., рис. 1 демонстрирует три волны потепления с периодом около 73 года. Третью волну потепления климата нельзя отрывать от первых двух, поэтому потепление в последней четверти XX в. нельзя полностью приписать антропогенному влиянию. Существование долгопериодных циклических изменений температуры на всем интервале за 221 год статистически достоверно [24]. Есть основания полагать, что волна потепления климата центральной Англии во второй половине XX в. является продолжением того колебательного процесса, который обеспечил появление первых двух волн потепления климата без участия человека. Нет причин для того, чтобы третьей волне потепления придавать исключительную значимость в связи с усилением сжигания топлива в эти годы.

Такой вывод согласуется с выводами других авторов о том, что влияние антропогенного накопления парниковых газов в атмосфере играет второстепенную роль или вообще не оказывает заметного влияния на климатическую систему, поскольку не объясняет основные особенности реальных изменений климата Земли [2, 4, 25—29].

В работе [30] отмечается, что в короткопериодных (межгодовых) изменениях климата важное значение имеют атмосферные процессы, а в долгопериодных (междекадных) изменениях климата ведущая роль принадлежит океану. Способность климатической системы длительное время сохранять долгопериодные

колебания определяется тепловой и динамической инерционностью океана в глобальном масштабе. Океанические течения переносят огромные массы воды из одних районов Мирового океана в другие, а вместе с ними происходит перенос долгопериодных колебаний температуры воды вдоль траекторий течений. За счет адвекции волн тепла и холода с океана на континенты возникают колебания температуры воздуха в Англии и в других районах континентов, сопряженных с разными районами колебаний ТПО. При этом в разных частях континентов могут формироваться подобные между собой долгопериодные колебания температуры воздуха.

В связи с этим возникает задача нахождения района Мирового океана, который является источником долгопериодных колебаний температуры в центральной Англии с учетом задержки передачи возмущений в район Великобритании. Дополнительно оценивалась возможность появления колебаний Тв в других регионах Земли, подобных колебаниям Та. Для этого были вычислены асинхронные коэффициенты корреляций изменений температуры Та с ТПО в узлах географической сетки. Также вычислялись асинхронные коэффициенты корреляции между Та и Тв над континентами в узлах сетки. Вычисления коэффициентов выполнялись в каждом узле сетки со сдвигами рядов данных ТПО и Тв относительно ряда Та на время от 0 до 37 лет с шагом один год. Сдвиг эмитировал возможное запаздывание изменений температуры в центральной Англии относительно изменений ТПО и Тв в удаленных районах. В каждом узле географической сетки было получено 38 коэффициентов корреляции при сдвигах от 0 до 37 лет. Из 38 полученных коэффициентов асинхронных корреляций в каждом узле выбирался максимальный положительный коэффициент и фиксировался сдвиг, при котором он получен.

На рис. 2 показана карта наилучших (максимальных) коэффициентов асинхронной корреляции Та с ТПО и с Тв в узлах географической сетки (коэффициенты $R < 0{,}6$ на карту не наносились). А на рис. 3 показана карта сдвигов рядов ТПО и Тв, при которых были получены наилучшие коэффициенты асинхронной корреляции. На этих картах (рис. 2 и 3) южные широты и западные долготы подписаны с минусами. Использовались данные ТПО за 1940—2020 гг., данные Та за 1800—2020 гг. и данные Тв за 1935—2020 гг. Коэффициенты корреляции $R > 0{,}75$ во всех случаях являются статистически значимыми на 95 % уровне.

Карта рис. 2 показывает, что тесные связи изменений температуры в центральной Англии с ТПО и с Тв наблюдаются как в близких, так и в самых удаленных районах Земли, но обнаружены эти связи при разных сдвигах (при разном времени запаздывания изменений Та относительно изменений ТПО и Тв в узлах сетки. В узлах, окружающих Великобританию, коэффициенты корреляции Та с ТПО оказались $R > 0{,}8$. Неожиданно такие же тесные связи $R > 0{,}8$ проявились между изменениями температуры воздуха в Англии и ТПО в Южной Атлантике на широтах 20—30° ю.ш., а также вблизи Антарктиды на широтах 50—60° ю.ш. южнее Африки в долготном интервале 15—40º в.д.

Поля тесных связей Та с ТПО и Тв с R равном 0,75—0,79 охватывают часть Европы, примыкающую к Великобритании, и ближайший район Северной

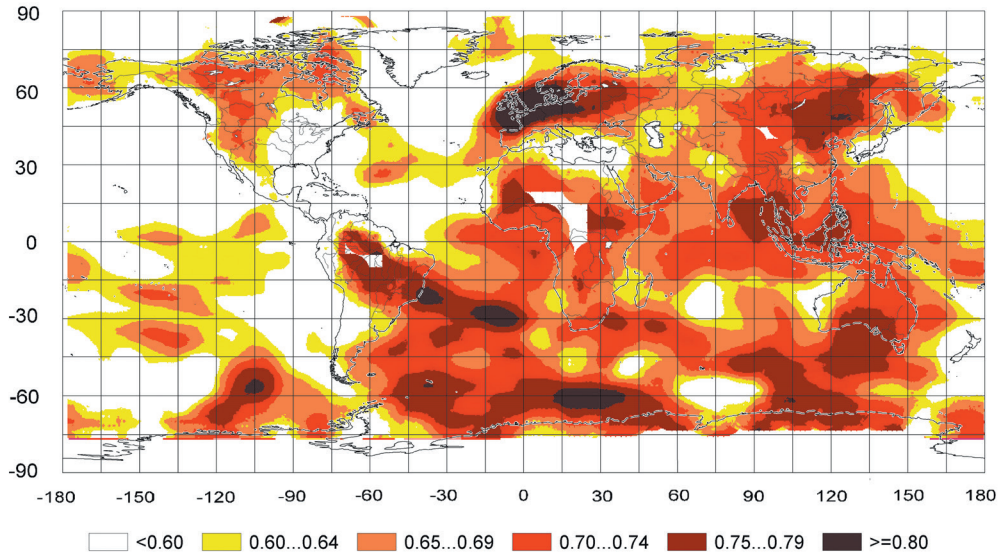

Рис. 2. Коэффициенты асинхронной корреляции Та с ТПО и с Тв в узлах географической сетки при наилучших сдвигах в интервале от 0 до 37 лет (по горизонтали — долготы, по вертикали — широты).

Fig. 2. Coefficients of asynchronous correlation Ta with SST and with TV at the nodes of the geographic grid at the best shifts in the interval from 0 to 37 years (horizontal — longitude, vertical — latitude)

Атлантики, а также часть Восточной Сибири, район на севере и юге Индийского океана, районы в северной и южной частях Южной Атлантики и в юго-восточной части Тихого океана вблизи Антарктиды (рис. 2). Корреляции с $R > 0{,}70$ охватывают почти всю Европу и Восточную Сибирь, а также обширные приэкваториальные районы Африки, Индийского океана и Юго-восточной Азии. Такие же корреляции видны на карте рис. 2 почти во всех узлах Южной Атлантики и во многих узлах Индийского океана.

Обширные дальние связи подтверждают, что долгопериодные колебания температуры в Англии в общих чертах подобны колебаниям во многих других районах Земли, но эти колебания асинхронны. Асинхронность демонстрируется на карте рис. 3.

Если допустить, что асинхронные связи являются следствием переноса долгопериодных волн тепла и холода в район Великобритании из других районов с задержкой, тогда карта сдвигов на рис. 3 показывает время (количество лет), необходимое для того, чтобы колебания температуры из разных районов Земли, распространяясь в пространстве, достигли центральной Англии.

Карта рис. 3 позволяет определить на Земле начальное место возникновения искомых долгопериодных колебаний климата. На карте рис. 3 видно, что раньше всего колебания начинаются в изменениях ТПО в самых южных широтах

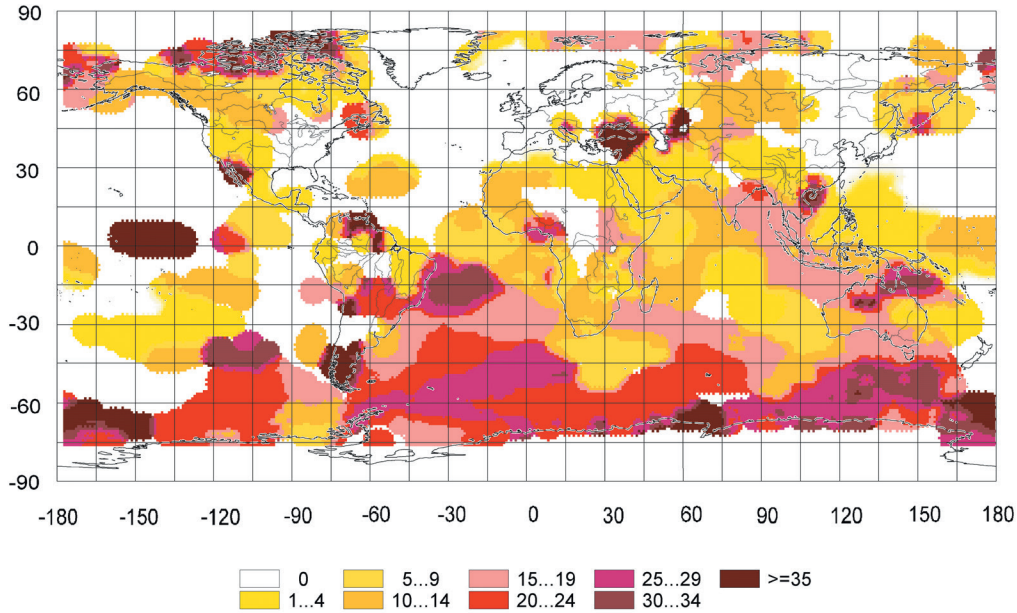

Рис. 3. Сдвиг (количество лет) при максимальных коэффициентах асинхронной корреляции Та с ТПО и с Тв в узлах сетки (по горизонтали — долготы, по вертикали — широты).

Fig. 3. Shift (number of years) at maximum coefficients of asynchronous correlation Ta with SST and with TV at grid nodes (horizontally — longitude, vertically — latitude).

Атлантического, Индийского и Тихого океанов в Антарктическом циркумполярном течении. Время опережения колебаний температуры в этих районах океана относительно колебаний температуры в Англии составляет 25—35 лет. Более точно, у берегов Антарктиды в Тихом и Индийском океанах колебания наблюдаются за 30—35 лет, а в Атлантике — за 25—29 лет до появления аналогичных колебаний температуры в центральной Англии.

Аналогичные вычисления асинхронных коэффициентов корреляции были выполнены по рядам ТПО с 1880 г. В этом случае статистически значимыми на уровне 95 % были коэффициенты корреляции $R > 0{,}6$. По длительным рядам данных ТПО в узлах сетки поля максимальных асинхронных коэффициентов корреляции и поля сдвигов, при которых они были получены полностью, подтвердили пространственные и временные особенности асинхронных связей, полученных ранее на более коротких рядах данных ТПО. В обоих вариантах вычислений главный вывод заключается в том, что долгопериодные колебания климата с периодом около 60—80 лет первоначально возникают в Южном океане, а затем появляются с запаздыванием на других широтах. По изменению времени запаздывания долгопериодных колебаний ТПО на разных широтах можно судить о переносе волн тепла и холода от берегов Антарктиды в сторону экватора.

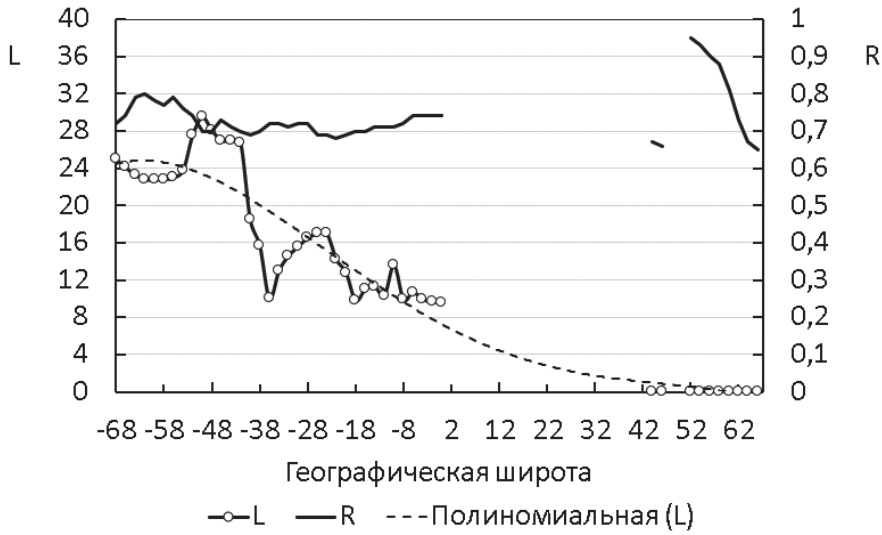

Рис. 4. Среднее запаздывание (сдвиг *L* — количество лет) колебаний температуры воздуха в Англии относительно колебаний ТПО и средний коэффициент асинхронной корреляции (*R*) между ними на разных географических широтах (*F*) Атлантики по данным ТПО за 1940—2020 гг.
(на оси абсцисс южные широты показаны со знаком минус).

Fig. 4. Average lag (shift *L* — number of years) of air temperature fluctuations in England relative to SST fluctuations and the average coefficient of asynchronous correlation (*R*) between them at different geographical latitudes (*F*) of the Atlantic according to *SST* data for 1940—2020 (on the abscissa axis, southern latitudes are shown with a minus sign).

Сравнение двух вариантов анализа покажем в обобщенном виде. По описанным ранее значениям сдвигов при максимальных асинхронных коэффициентах корреляции между Та и ТПО на каждой географической широте Атлантического океана с шагом 2° от самых южных до самых северных широт Атлантики в узлах сетки в долготном интервале от 80° з.д. до 20° в.д. были вычислены средние значения сдвигов и средние значения коэффициентов корреляции. Заданный долготный интервал охватывает всю Атлантику. Средние значения сдвигов *L* и коэффициентов корреляции *R* на каждой широте, показаны на рис. 4 по данным за 1940—2020 гг., а на рис. 5 — по данным за 1880—2020 гг.

Средние по широтам коэффициенты асинхронной корреляции оказались в интервале 0,6—0,9 на широтах Атлантики от 68° ю.ш. до 68° с.ш. Кривые *L* на рис. 4 и 5 показывают, что в Южной Атлантике на широте 68° ю.ш. изменения ТПО, подобные тем, которые наблюдаются в изменениях Та, происходят на 25—29 лет раньше (средний коэффициент $R = 0{,}71$), чем в центральной Англии. Отсчеты на разных широтах показывают, что при движении на север время сдвига колебаний уменьшается. На широтах 46—64° ю.ш. сдвиг составляет только 20—24 года ($R \sim 0{,}6$), на широтах 30—36° ю.ш. — сдвиг уменьшается

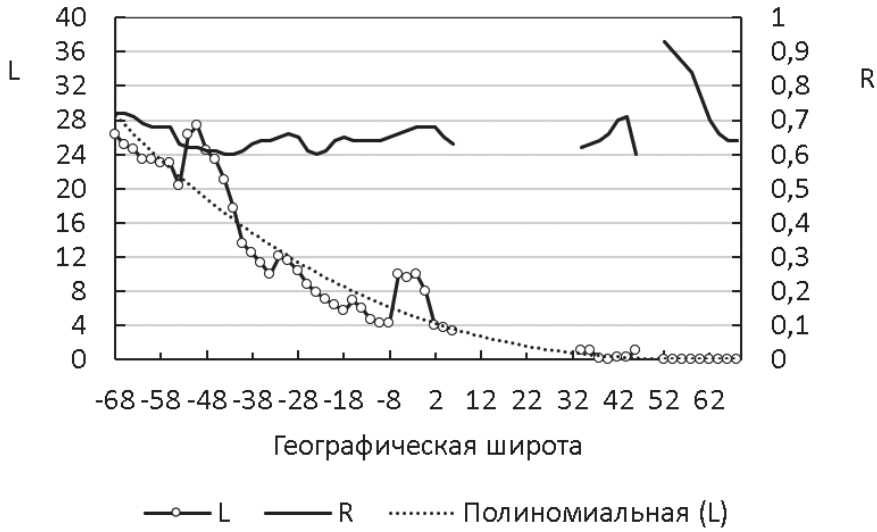

Рис. 5. Среднее запаздывание (сдвиг *L* — количество лет) колебаний температуры воздуха в Англии относительно колебаний ТПО и средний коэффициент асинхронной корреляции (*R*) между ними на разных географических широтах (*F*) Атлантики по данным ТПО за 1880—2020 гг. (на оси абсцисс южные широты показаны со знаком минус).

Fig. 5. Average lag (shift *L* — number of years) of air temperature fluctuations in England relative to *SST* fluctuations and the average coefficient of asynchronous correlation (*R*) between them at different geographic latitudes (*F*) of the Atlantic according to SST data for 1880—2020 (on the abscissa axis, southern latitudes are shown with a minus sign).

до 12 лет, а в экваториальных широтах аналогичные колебания происходят только на 4—10 лет раньше (R = 0,6…0,7), чем в Англии. На рис. 4 и 5 видно, что связи Та с ТПО обрываются в низких северных широтах, но севернее 32° с.ш. вновь появились значимые корреляции Та с ТПО. Севернее 32° с.ш. связи Та с ТПО почти синхронные, на разных широтах сдвиг там составляет 0—1 год (коэффициенты корреляции: от 0,6 до 0,9). Севернее 52° с.ш., вблизи Великобритании, можно проследить (по рис. 4 и 5) самые тесные синхронные связи изменений ТПО и Та (R = 0,8…0,9). Максимальное значение R = 0,93 соответствует синхронной связи на географической широте центральной Англии около 54° с.ш.

Обсуждение результатов

Вопрос о меридиональном переносе долгопериодных колебаний температуры очень важен для понимания природы появления 60—80-летней цикличности в Европе. Известно о существовании Атлантической меридиональной опрокидывающейся циркуляцией (AMOC), которая охватывает Атлантику от Южного океана до северной части Северной Атлантики [31].

Формально меридиональный перенос колебаний подтверждается тесными статистическими связями долгопериодных колебаний температуры воздуха в центральной Англии с изменениями ТПО на разных широтах Атлантики от берегов Антарктиды до экватора и на некоторых высоких северных широтах. Появление таких связей согласуется с АМОС, но проследить меридиональный перенос долгопериодных колебаний удалось от южных широт Атлантики только до экваториальных широт. Несмотря на появление аналогичных колебаний Та, а также колебаний Тв в средних и высоких широтах Северного полушария, нельзя сделать вывод о переносе колебаний из Южного полушария в Северное. Разрыв связей в низких широтах Северного полушария не позволяет это сделать. Вопрос о трансатлантическом меридиональном переносе долгопериодных колебаний температуры требует дополнительных исследований.

Ранее аналогичные асинхронные дальние связи были обнаружены между ТПО и изменениями температуры воздуха в Москве [32] и в Казани [33, 34]. В работе [33] было показано, что наилучшая асинхронная связь (R = 0,55) колебаний среднегодовой температуры в Москве обнаружилась с ТПО в далеком узле с координатами 18° з.д., 30° ю.ш. в Южной Атлантике при опережении колебаний ТПО на 30 лет, аналогично — тесные связи обнаружились с ТПО в районах Бразильского и Южного Пассатного течений, а также с ТПО в Тихом океане в области Антарктического течения на широтах 30—65° ю.ш. (R > 0,5) с опережением ТПО на 31—35 лет. Такая же тесная связь температуры в Москве обнаружилась с ТПО на Перуанском течении вдоль его движения на север и далее с поворотом течения на запад вдоль экватора по пути Южного Пассатного течения в Тихом океане [32].

Изменения температуры воздуха в Казани также проходили в тесной асинхронной зависимости от ТПО в районе Антарктического циркумполярного океанического течения при запаздывании температуры воздуха в Казани на 25—36 лет. Наибольший коэффициент корреляции R = 0,69 оказался в узле 106° з.д. 48° ю.ш. при запаздывании температуры воздуха на 35 лет [34].

Во всех случаях оказывалось, что долгопериодные колебания температуры сначала возникают в Южном океане на циркумполярном Антарктическом течении, а затем через 25—36 лет появляются в изменениях температуры воздуха в Европе. Но пока не ясно, что происходит на широтах 0—32º с.ш.

Не случайно Южный океан в области Антарктического течения играет ключевую роль в появлении долгопериодных колебаний климата во многих регионах Южного и, возможно, Северного полушария. Антарктическое течение — это основной элемент циркуляции вод Южного океана, это самое мощное течение на Земле, оно является частью глобального океанического конвейера Брокера [35], охватывающего все океаны. Существует глобальная система океанической циркуляции, которая перераспределяет тепло по всему миру. Обнаруженные дальние асинхронные связи согласуются с известными свойствами океанического конвейера. Большой конвейер океанических течений медленно переносит тепло из одних регионов и слоев океана в другие по сложным траекториям и не всегда на поверхности. 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 [36, 37].

На широтах от 0 до 32° с.ш. по данным о поверхностной температуре океана исследуемые связи не обнаружены. Возможны две причины разрыва связи. Меридиональный перенос долгопериодных волн тепла и холода из Южного полушария в Северное на интервале от 0 до 32° с.ш. не прерывается, но он происходит в слоях под поверхностью океана, не проявляясь на поверхности, а затем опять выходит на поверхность в более высоких северных широтах. Такое предположение согласуется с АМОС и подкрепляется теорией большого конвейера [35], в котором поверхностные и подповерхностные течения составляют единую систему глобальных океанических течений.

Если же разрыв связей на широтах 0—32° с.ш. означает независимость между собой колебаний ТПО Южной и Северной Атлантики, тогда существование таких же связей севернее 32° с.ш. возможно через общий внешний фактор, который независимо создает колебания ТПО как в Южном, так и в Северном полушариях.

Предположение о внешнем факторе первоначальных возмущений температуры в Южном океане имеет основание. Ранее в области Антарктического течения и других основных океанических течений были обнаружены [38] асинхронные связи долгопериодных колебаний среднегодовой ТПО с изменениями момента инерции барицентрического движения Солнца с запаздыванием изменений температуры на 32—37 лет. Неравномерное вращение Солнца вокруг барицентра Солнечной системы сопровождается изменениями вращательного момента океанических вод вдоль широтных кругов. В области циркумполярного Антарктического течения сложились самые благоприятные физико-географические условия для отклика на воздействия вдоль широтных кругов. Изменения момента инерции движения Солнца в изменения ТПО в области Антарктического течения составили тогда около 50 % ее общей изменчивости. На основе анализа климатических циклов еще раньше было высказано предположение [39] о том, что изменение в глобальном теплообмене Мирового океана через большой конвейер представляет собой первичное физическое явление, непосредственно реагирующее на вариации астрономических параметров.

Совершенно независимо, при исследовании связей колебаний ТПО в узлах географической сетки Земли с планетарной геомагнитной активностью наилучшие связи обнаружились также на Антарктическом течении [40] с запаздыванием изменений ТПО на 32—33 года после изменений геомагнитной активности. Магнитные бури создают индукционный ток в океане, направленный преимущественно вдоль широтных кругов. Для зонального кольцевого индукционного электрического тока область Антарктического течения является самым благоприятным районом Мирового океана.

Область Антарктического течения обладает особенностями, при которых Южный океан способен воспринимать внешние повторяющиеся воздействия и затем передавать возмущения в другие регионы Мирового океана. По результатам разных независимых исследований получилось, что три-четыре десятилетия — это время задержки отклика изменений ТПО на внешние воздействия.

Уникальность Антарктического течения заключается в том, что на его пути нет препятствий в виде континентов. Это создает благоприятные условия существования там циркумполярного течения вокруг Антарктиды, а также для появления возмущений при изменении вращательного момента Земли и для появления там индукционных электрических токов. Предстоит еще оценить предполагаемую способность индукционных токов корректировать траекторию течения и температуру воды. Все высказанные предположения являются предварительными и требуют многосторонней проверки.

Заключение

Три волны потепления климата в центральной Англии за последние два века являются проявлением особенностей колебательных процессов основных океанических течений в Мировом океане. Быстрое потепление климата Европы во второй половине XX в. является следствием наложения восходящей фазы природных колебаний климата с периодом 60—80 лет на многовековой тренд потепления. Указанные колебания и тренд наблюдаются за всю историю метеорологических наблюдений более 200 лет и не могут быть связаны с интенсификацией сжигания топлива человеком, начавшейся во второй половине XX века.

Потепление климата Европы и прилегающих районов находится в тесной асинхронной статистической связи с изменениями в поле температуры поверхности Южного океана в области Антарктического циркумполярного течения. В Антарктическом течении изменения ТПО происходят за 25—29 лет до появления аналогичных изменений температуры воздуха в центральной Англии.

Очевидно, меридиональный перенос волн тепла и холода в северном направлении из южных широт Атлантического океана в приэкваториальные широты осуществляется с запаздыванием до двух десятилетий. В низких широтах Северного полушария связи теряются, но еще через 4—10 лет колебания появляются в ТПО Атлантики севернее 32º и в температуре воздуха в Европе. Проследить непрерывный путь переноса волн тепла и холода от экватора до центральной Англии не удалось.

Статистический вклад колебаний ТПО Южной Атлантики в общую дисперсию долгопериодных колебаний температуры воздуха в центральной Англии составил около 50 %. Предполагается, что обнаруженные дальние асинхронные связи между Южным и Северным полушариями обеспечиваются глобальной системой океанических течений конвейера Брокера или глобальным фактором циклических внешних воздействий на климатическую систему.

Современное потепление климата в Англии может быть объяснено без привлечения гипотезы об антропогенном парниковом эффекте. Данные наблюдений и результаты их анализа не подтверждают выводы [1] о доминирующем антропогенном вкладе в изменения климата Европы во второй половине XX столетия.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 20-5500014.

Acknowledgment

This work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research, project 20-5500014.

Список литературы

1. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. 1535 p.
2. *Котляков В.М.* О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 110—114.
3. *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. 2005. 191 с.
4. *Логинов В.Ф.* Космические факторы климатических изменений. Минск: Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, 2020. 168 с.
5. *Логинов В.Ф., Бровка Ю.А., Микуцкий В.С.* Природа квазишестидесятилетнего колебания в климатической системе // Природопользование. 2020. № 1. С. 5—19.
6. *Полонский А.Б.* Развитие теории циркуляции Мирового океана для решения климатических задач // Современные проблемы динамики океана и атмосферы. Сборник статей, посвященный 100-летию со дня рождения проф. П.С. Линейкина. Под редакцией А.В. Фролова и Ю.Д. Реснянского. М.: Гидрометцентр России, 2010. С. 227—249.
7. *Кононова Н.К.* Изменение циркуляции атмосферы северного полушария в XX—XXI столетиях и их последствия для климата // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 133—162.
8. *Панин Г.Н., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В.* Климатические изменения в Арктике, Северной Атлантике, районе Каспия и их взаимосвязь // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 183—210.
9. *Lebedev S.A., Kostianoy A.G.* Integrated using of satellite altimetry in investigation of meteorological, hydrological and hydrodynamic regime of the Caspian Sea // Journal of terrestrial atmospheric and oceanic sciences. 2008. No. 19(1–2). P. 71—82.
10. *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 осциляции теплосодержания верхнего деятельного слоя океана в контексте короткопериодной изменчивости современного климата // Труды ГОИН. 2016. Выпуск 217. 356 с.
11. *Manley G.* The mean temperature of Central England, 1698 to 1952 // Q.J.R. Meteorol. Soc., 1953. Vol. 79. P. 242—261.
12. *Manley G.* Central England Temperatures: monthly means 1659 to 1973 // Q.J.R. Meteorol. Soc., 1974. Vol. 100. P. 389—405.
13. *Parker D.E., Horton E.B.* Uncertainties in the Central England Temperature series since 1878 and some changes to the maximum and minimum series // International J. Climatology. 2005. Vol. 25. P. 1173—1188.
14. *Parker D.E., Legg T.P., Folland C.K.* A new daily Central England Temperature Series, 1772—1991 // Int. J. Clim. 1992. Vol. 12. P. 317—342.
15. *Boden T.A., Marland G., Andres R.J.* Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO_2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 2017. doi: 10.3334/CDIAC/00001_V2017.
16. *Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J.* Improvements NOAAs Historical Merged Land — Ocean Temp Analysis (1880—2006) // J. of Climate. 2008. Vol. 21. P. 2283—2296. doi: 10.1175/2007JCLI2100.1.

17. *Zhang H-M., Lawrimore J.H., Huang B., Menne M.J., Yin X., Sanchez-Lugo A., Gleason B.E., Vose R., Arndt D., Rennie J.J., Williams C.N.* Updated temperature data give a sharper view of climate trends, Eos, 2019. 100. doi: doi.org/10.1029/2019EO128229. Published on 19 July 2019.
18. *Huang B., Thorne P., Banzon V., Boyer T., Chepurin G., Lawrimore J., Menne M., Smith T., Vose R., Zhang H-M,* Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons // Journal of Climate. 2017. Vol. 30. P. 8179—8205 doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1.
19. *Huang B., Angel W., Boyer T., Cheng L., Chepurin G., Freeman E., Liu C., Zhang H.-M.,* Evaluating SST analyses with independent ocean profile observations // J. Climate. 2018 Vol. 31. 5015—5030. doi:10.1175/JCLI-D-17-0824.1.
20. *Smith T., Reynolds R., Peterson T., Lawrimore J.* ERRST v3. Improvements to NOAA's historical merged land—ocean temperature analysis (1880—2006) // Journal of Climate. 2008. Vol. 21. P. 2283—2296. doi: 10.1175/2007JCLI2100.1.
21. National Centers for Environmental Information/NESDIS/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2019, updated monthly. NOAA NCEI Extended Reconstructed Sea Surface Temperature. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. doi: 10.5065/JZ08-3W17.
22. *Rayner N., Parker D., Horton E., Folland C., Alexander L., Rowell D., Kent E., Kaplan A.* Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // J. Geophys. Res. Vol. 2003. 108. D14, 4407. doi: 10.1029/2002JD002670.
23. *Полонский А.Б.* Глобальное потепление, крупномасштабные процессы в системе океан—атмосфера, термохалинная катастрофа и их влияние на климат Атлантико-Европейского региона. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 45 с.
24. *Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С.* Цикличность изменения температуры воздуха в Европе по данным многолетних наблюдений в центральной Англии // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 187. С. 61—68.
25. *Гудкович З.М., Карклин В.П., Фролов И.Е.* Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины // Метеорология и гидрология. 2005. № 6. С. 5—14.
26. *Кондратьев К.Я.* Изменения глобального климата: реальность, предположения и вымыслы. Исследование Земли из космоса. 2002. № 1. С. 3—28.
27. *Покровский О.М.* Анализ факторов изменения климата по данным дистанционных и контактных измерений // Исследования Земли из космоса. 2010. № 5. С. 11—24.
28. *Федоров В.М.* Солнечная радиация и климат Земли. М.: Физматлит, 2018. 232 с.
29. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Наумов Л.М.* Влагосодержание атмосферы как климатообразующий фактор //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 243—251. doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-243-251.
30. *Gulev S.K., Latif M., Keenlyside N., Park W., Koltermann K.P.* North Atlantic Ocean control on surface heat flux on multidecadal timescales // Nature. 2013. V. 499. P. 464—468. doi: 10.1038/ nature 12268.
31. *Frajka-Williams E., Ansorge I., Baehr J., Bryden H., Chidichimo M. Cunningham S.A., Danabasoglu G., Dong S., Donohue K.A., Elipot S., Heimbach* P., *Holliday N.P., Hummels R., Jackson L.C., Karstensen J., Lankhors M., Le Bras I.A., Lozier M.S., McDonagh E.L., Meinen C.S., Mercier H., Moat B.I., Perez R.C., Piecuch C.G., Rhein M., Srokosz M.A., Trenberth K.E., Bacon S., Forget G., Goni G., Kieke D., Koelling J., Lamont T., McCarthy G.D., Mertens C., Send U., Smeed D.A., Speich S., Berg M. van den, Volkov D., Wilson C.* Atlantic Meridional Overturning Circulation: Observed Transport and Variability. Frontiers in Marine Science. 2019. Vol. 6. 260 p. doi: 10.3389/fmars.2019.00260.
32. *Шерстюков Б.Г.* Асинхронные дальние связи температуры воздуха в Центральном регионе России с температурой поверхности Мирового океана // Труды ВНИИГМИ–МЦД. 2019. Вып. 184. С. 67—79.
33. *Шерстюков Б.Г.* Внешние факторы и дальние асинхронные связи в климатической системе как основа для прогноза природных колебаний температуры воздуха на три десятилетия // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: Материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 3–5 октября 2019 г.). Том 1 / Под общ. редакцией С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой. Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2019. С. 115—119.

34. *Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П.* Дальние асинхронные связи в долгопериодных колебаниях климата Мирового океана и региональной атмосферы применительно к республике Татарстан // Вестник ВГУ. Серия: География, Геоэкология. 2019. № 1. С. 5—11.
35. *Broecker W.S.* The great ocean conveyor // Oceanography. 1991. Vol. 4(2). P. 79—89.
36. *Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J.* Century/millennium internal climate oscillations in an ocean — atmosphere — continental ice sheet model // J. of Geophysical Res. 1994. Vol. 99. Issue C6. P. 12459—12470. doi: 10.1029/94JC00523.
37. *Лаппо 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, 2006. С. 15—32.
38. *Шерстюков Б.Г.* Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 80—93.
39. *Бялко А.В.* Релаксационная теория климата // Успехи физических наук. 2012. Том 182, № 1. С. 111—116.
40. *Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П.* Многолетние колебания температуры поверхности Мирового океана в связи с изменениями геомагнитной активности // Труды ВГО. Серия: География, Геология. 2020. № 1. С. 14—21.

References

1. *Climate Change 2013*. The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. 1535.
2. *Kotlyakov V. M.* On the causes and consequences of modern climate changesю. *Solnechno-zemnaya fizika.* Solar-terrestrial physics. 2012, 21: 110—114. [In Russian].
3. *Monin A.S., Sonechkin D.M.* Observational climate fluctuations: triple solar and other cycles. Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov RAS. Moscow: Nauka, 2005: 191 p. [In Russian].
4. *Loginov V.F.* Cosmic factors of climate change. Minsk: Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, 2020: 168 p. [In Russian].
5. *Loginov V.F, Brovka Yu.A., Mikutskiy V.S.* The nature of the quasi-sixty-year fluctuation in the climatic system. *Prirodopol'zovaniye.* Nature management. 2020, 1: 5—19. [In Russian].
6. *Polonsky A.B. Razvitie teorii tsirkuliatsii Mirovogo okeana dlia resheniia klimaticheskikh zadach.* Development of the theory of circulation of the World Ocean for solving climatic problems. Modern problems of the dynamics of the ocean and atmosphere. Collection of articles dedicated to the 100th anniversary of the birth of prof. P.S. Lineykin. Edited by A.V. Frolov and Yu.D. Resnyansky. Moscow: Hydrometeorological Center of Russia, 2010: 227—249. [In Russian]
7. *Kononova N.K.* Changes in the circulation of the atmosphere of the Northern Hemisphere in the XX-XXI centuries and their consequences for the climate. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya.* Fundamental and Applied Climatology. 2015, 1: 133—162. [In Russian]
8. *Panin G.N., Vyruchalkina T.Yu., Solomonova I.V.* Climatic changes in the Arctic, North Atlantic, the Caspian region and their relationship. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*. Fundamental and Applied Climatology. 2015, 1: 183—210. [In Russian].
9. *Lebedev S.A., Kostianoy A.G.* Integrated using of satellite altimetry in investigation of meteorological, hydrological and hydrodynamic regime of the Caspian Sea. Journal of terrestrial atmospheric and oceanic sciences. 2008, 19(1– 2): 71–82.
10. *Byshev V.I. Neiman V.G. Anisimov M.V. Gusev A.V. Romanov Yu.A. I.V. Serykh Sidorova A.N. Figurkin A.L. Anisimov I.M.* Interdecadal oscillations of the heat content of the upper active layer of the ocean in the context of short-period variability of the modern climate. *Trudy GOIN*. Proceedings of GOIN. 2016, 217: 356 p. [In Russian].

11. *Manley G.* The mean temperature of Central England, 1698 to 1952. Q.J.R. Meteorol. Soc. 1953, 79: 242—261.
12. *Manley G.* Central England Temperatures: monthly means 1659 to 1973. Q.J.R. Meteorol. Soc. 1974, 100: 389—405.
13. *Parker D.E., Horton, E.B.* 2005. Uncertainties in the Central England Temperature series since 1878 and some changes to the maximum and minimum series. International J. Climatology. 2005, 25: 1173—1188.
14. *Parker D.E., Legg T.P., Folland C.K.* A new daily Central England Temperature Series, 1772–1991. Int. J. Clim. 1992, 12: 317—342.
15. *Boden T.A., Marland G., Andres R.J.* Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 2017. doi: 10.3334/CDIAC/00001_V2017.
16. *Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J.* Improvements NOAAs Historical Merged Land — Ocean Temp Analysis (1880—2006). J. of Climate. 2008, 21: 2283—2296. doi: 10.1175/2007JCLI2100.1.
17. *Zhang H.-M., Lawrimore J.H., Huang B., Menne M.J., Yin X., Sanchez-Lugo A., Gleason B.E, Vose R., Arndt D., Jared Rennie J.J., Williams C.N.* Updated temperature data give a sharper view of climate trends, Eos. 2019, 100. doi: 10.1029/2019EO128229. Published on 19 July 2019.
18. *Huang B., Thorne P., Banzon V., Boyer T., Chepurin G., Lawrimore J., Menne M., Smith T., Vose R., Zhang H-M.* Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons. Journal of Climate. 2017, 30(20): 8179—8205. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1.
19. *Huang, B., Angel W., Boyer T., Cheng L., Chepurin G., Freeman E., Liu C., Zhang H.-M.* Evaluating SST analyses with independent ocean profile observations. J. Climate. 2018, 31: 5015—5030. doi: 10.1175/JCLI-D-17-0824.1.
20. *Smith T., Reynolds R, Peterson T., Lawrimore J.* ERRST v3. Improvements to NOAA's historical merged land—ocean temperature analysis (1880—2006). Journal of Climate. 2008, 21: 2283—2296. doi: 10.1175/2007JCLI2100.1.
21. National Centers for Environmental Information/NESDIS/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2019, updated monthly. NOAA NCEI Extended Reconstructed Sea Surface Temperature. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. doi: 10.5065/JZ08-3W17.
22. *Rayner N., Parker D., Horton E., Folland C., Alexander L., Rowell D., Kent E., Kaplan A.* Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. J. Geophys. Res. 2003, 108. D14, 4407. doi: 10.1029/2002JD002670.
23. *Polonsky A.B.* Global'noe poteplenie, krupnomasshtabnye protsessy v sisteme okean—atmos-fera, termokhalinnaia katastrofa i ikh vliianie na klimat Atlantiko-Evropeiskogo regiona. Global warming, large-scale processes in the ocean-atmosphere system, thermohaline catastrophe and their impact on the climate of the Atlantic-European region. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2008: 45 p. [In Russian]
24. *Sherstyukov B.G., Salugashvili R.S.* Cyclical changes in air temperature in Europe according to long-term observations in central England. *Trudy VNIIGMI-MTSD*. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021, 187: 61—68. [In Russian].
25. *Gudkovich Z.M, Karklin V.P., Frolov I.E.* Intrasecular climate changes, ice cover areas of the Arctic seas and their possible causes. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and Hydrology. 2005, 6: 5—14. [In Russian].
26. *Kondratyev K.Ya.* Global climate change: reality, assumptions and fictions. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*. Exploration of the Earth from space. 2002, 1: 3—28. [In Russian].
27. *Pokrovsky O.M.* Analysis of climate change factors based on remote and contact measurements. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*. Exploration of the Earth from space. 2010, 5: 11—24 [In Russian].
28. *Fedorov V.M. Solnechnaya radiatsiya i klimat Zemli*. Solar radiation and the Earth's climate. Moscow: Fizmatlit, 2018: 232 p. [In Russian].
29. *Malinin V.N., Gordeeva S.M., Naumov L.M.* Total precipitable water of the atmosphere as a climate forcing factor. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* Current

problems in remote sensing of the earth from space. 2018, 15(3): 243—251. doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-243-251. [In Russian].
30. *Gulev S.K., Latif M., Keenlyside N., Park W., Koltermann K.P.* North Atlantic Ocean control on surface heat flux on multidecadal timescales. Nature. 2013, 499: 464—468. doi: 10.1038/nature 12268.
31. *Frajka-Williams E., Ansorge I., Baehr J., Bryden H., Chidichimo M. Cunningham S.A., Danabasoglu G., Dong S., Donohue K.A., Elipot S., Heimbach* P*., Holliday N.P., Hummels R., Jackson L.C., Karstensen J., Lankhors M., Le Bras I.A., Lozier M.S., McDonagh E.L., Meinen C.S., Mercier H., Moat B.I., Perez R.C., Piecuch C.G., Rhein M., Srokosz M.A., Trenberth K.E., Bacon S., Forget G., Goni G., Kieke D., Koelling J., Lamont T., McCarthy G.D., Mertens C., Send U., Smeed D.A., Speich S., Berg M. van den, Volkov D., Wilson C.* Atlantic Meridional Overturning Circulation: Observed Transport and Variability. Frontiers in Marine Science. 2019, 6: 260. doi: 10.3389/fmars.2019.00260.
32. *Sherstyukov B.G.* Asynchronous long-distance connections of air temperature in the Central region of Russia with the surface temperature of the World Ocean. *Trudy RIHMI-WDC*. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019, 184: 67—79. [In Russian].
33. *Sherstyukov B.G.* External factors and long-distance asynchronous connections in the climate system as a basis for predicting natural air temperature fluctuations for three decades. *Global'nye klimaticheskie izmeneniia: regional'nye effekty, modeli, prognozy: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (g. Voronezh, 3—5 oktiabria 2019 g.).* Global climatic changes: regional effects, models, forecasts: Materials of the international scientific and practical conference (Voronezh, October 3—5, 2019). Edited by S.A. Kurolap, L.M. Akimov, V.A. Dmitrieva. Voronezh: Digital Printing House, 2019, 1: 115—119. [In Russian].
34. *Sherstyukov B.G., Perevedentsev Yu.P.* Long-range asynchronous connections in long-term fluctuations in the climate of the World Ocean and the regional atmosphere in relation to the Republic of Tatarstan. *Vestnik VSU. Seriia: Geografiia, Geoekologiia*. Messenger VSU. Series: Geography, Geoecology. 2019, 1: 5—11. [In Russian].
35. *Broecker W.S.* The great ocean conveyor. Oceanography. 1991, 4(2): 79—89.
36. *Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J.* Century/millennium internal climate oscillations in an ocean — atmosphere — continental ice sheet model. J. of Geophysical Res. 1994, 99, C6: 12459—12470. doi: 10.1029/94JC00523.
37. *Lappo S.S., Dobrolyubov S.A., Lozovatsky I.D., Morozov E.G., Sokov A.V., Shapovalov S.M.* Transformation of waters of Antarctic origin and meridional transport in the Atlantic to the north from the equator according to the 2000 quasi-zonal section. *Fundamental'nyye issledovaniya okeanov i morey*. Fundamental research of the oceans and seas. 1. Moscow: Nauka, 2006: 15—32. [In Russian].
38. *Sherstyukov B.G.* The moment of inertia of the motion of the Sun relative to the center of mass of the Solar system and long-term fluctuations in the temperature of the ocean surface *Trudy RIHMI-WDC*. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019, 184: 80— 93. [In Russian].
39. *Byalko A.V.* Relaxation theory of climate. *Uspekhi fizicheskikh nauk.* Advances in physical sciences. 2012, 182(1): 111—116 [In Russian].
40. *Sherstyukov B.G., Perevedentsev Yu.P.* Long-term fluctuations in the surface temperature of the World Ocean in connection with changes in geomagnetic activity. *Trudy VGU. Seriia: Geografiia, Geoekologiia.* Proceedings of the VSU. Series: Geography, Geology. 2020, 1: 14—21. [In Russian].

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 11.04.2021
Принята к публикации после доработки 10.05.2021

Сведения об авторах

Шерстюков Борис Георгиевич, д-р геогр. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией, Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных, boris_sher@mail.ru.

Шерстюков Артем Борисович, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, Лаборатория исследования последствий изменения климата, ФГБУ «Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных», artra@mail.ru.

Information about authors

Sherstyukov Boris Georgievich, Grand PhD (Geogr. Sci.), Senior Researcher, Head of laboratory, Laboratory for the Research of Climate Change Consequences, All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information — World Data Center.

Sherstiukov Artem Borisovich, PhD (Geogr. Sci.), Senior Researcher, Laboratory for the Research of Climate Change Consequences, All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information — World Data Center.