

УДК 551.482.6

А.В. Холопцев, А.А. Шидловская
ОСОБЕННОСТИ СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА
ТЕПЛА, ПОСТУПАЮЩЕГО В СЕВЕРНУЮ АТЛАНТИКУ ИЗ ЕЕ
ЮЖНОЙ ЧАСТИ, А ТАКЖЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ
В ПЕРИОД С 1950-2010 ГГ.

Реакцией поля поверхностных температур Атлантики на усиление парникового эффекта является увеличение потока тепла, доставляемого в ее Северную часть струями Южно-Пассатного течения, а также синхронизация изменений этого потока и характеристик крупномасштабных процессов взаимодействия океана и атмосферы. Реакцией на этот процесс поля атмосферного давления является уменьшения разности атмосферных давлений в Азорском максимуме и Исландском минимуме.

Изменения потока тепла, доставляемого в Северную Атлантику Глобальным тепловым океаническим конвейером, способны значимо влиять на многие происходящие в нем физико-географические процессы [1-4]. Выявление особенностей подобного влияния позволило бы повысить эффективность моделирования подобных процессов и потому представляет собой актуальную проблему физической географии и метеорологии.

Впервые установил существование межокеанического взаимодействия, приводящего к возникновению упомянутого потока тепла С.С. Лаппо [1]. Многие важнейшие особенности этого процесса описаны в работах [2-6].

Показано, что наряду с усилением парникового эффекта [7], изменения потока тепла, приносимого в Северную Атлантику океаническими течениями, способны значимо влиять на происходящие в ней крупномасштабные процессы взаимодействия океана и атмосферы, сказывающиеся на переменах климата Северной Америки и Европы [8, 9].

К числу подобных процессов относятся Североатлантическое колебание [10], впервые описанное Г. Уолкером и Е. Блиссом в 1932 году, осциллирующие изменения средней температуры поверхности Северной Атлантики, происходящие с периодом 55 лет [11], а также распределения поверхностной температуры в ее тропической зоне [12, 13].

Океаническими течениями, доставляющими в Северную Атлантику рассматриваемый поток тепла, являются северная ветвь Южно-Пассатного (Южного экваториального) течения и Гвианское течение Атлантики. Северная ветвь Южно-Пассатного течения пересекает экватор в центральной части тропической зоны Атлантики и несет далее свои воды в Карибское море. Туда же несет свои воды Гвианское течение, отделяющееся от Южной ветви Южного Пассатного течения на траверзе мыса Сан-Роки (Бразилия) [14].

Воды Южно-Пассатного течения получают значительное количество тепла в тропической зоне Южной Атлантики при поглощении поступающих в нее потоков солнечной радиации и обратного теплового излучения атмосферы [15]. Наибольшее влияние на формирование рассматриваемого потока эти процессы оказывают наибольшее влияние в акватории тропической зоны Атлантики, ограниченной параллелями 0° S и 20° S, а также 10° E и 30° W. Поэтому количественной характеристикой приносимого ими за год потока тепла может служить аномалия среднегодовой температуры поверхности этой акватории, рассматриваемая как глобальный климатический индекс (ГКИ) TSA [16].

Поскольку поток обратного теплового излучения атмосферы при усилении парникового эффекта возрастает, повышается при этом также теплосодержание вод Южно-Пассатного течения, и поток тепла, доставляемый его ветвями в Северное полушарие.

Количественной характеристикой Североатлантического колебания является ГКИ NAO, определяемый значением разности атмосферных давлений в Азорском максимуме и Исландском минимуме [12]. Состояние процесса, вызывающего изменения аномалии средней температуры поверхности Северной Атлантики, характеризует ГКИ AMO [8], который рассчитывают путем усреднения ее значений по всей этой акватории.

Важной характеристикой распределения поверхностных температур в тропической зоне Атлантики является ГКИ TNA. Значение данного ГКИ вычисляется как математическое ожидание аномалии поверхностной температуры Атлантики, определяемое для района на стрежне ее Северо-Пассатного течения, ограниченного параллелями 5° N – 25° N; и меридианами 55° W – 15° W [17].

Систематические наблюдения за изменениями поверхностных температур в указанных акваториях Атлантики, по данным которых стала возможной оценка упомянутых ГКИ, начались лишь с 1950 года. Результаты подобных оценок, в виде соответствующих временных рядов среднемесячных значений ГКИ TSA, NAO, AMO, и TNA, представлены в [18]. Они позволяют изучить особенности изменений в указанный период важнейших характеристик потока тепла, приносимого течениями в Северную Атлантику, а также упомянутых крупномасштабных процессов – среднегодовых значений соответствующих ГКИ, наиболее полно характеризующих их тенденции.

Тем не менее, сравнительный анализ изменений указанных характеристик рассматриваемых процессов, а также изучение статистических связей между их временными рядами ранее не проводились. Это не позволяло учесть их возмо-

жные результаты при моделировании данных процессов, повысив тем самым его эффективность и адекватность.

Учитывая это, объектом данного исследования являлись происходившие в период после 1950 года изменения распределений среднегодовых температур поверхности Атлантики, а также атмосферного давления над этим регионом.

Предметом исследования являлись особенности связи изменений рассматриваемых характеристик потока тепла, поступающего в Северную Атлантику из ее Южной части, а также упомянутых крупномасштабных процессов, происходивших в период с 1950 по 2010 гг.

Целью данного исследования является выявление условий, при которых статистическая связь межгодовых изменений среднегодовых значений ГКИ TSA, а также NAO, AMO, TNA, является значимой.

Методика исследований и фактический материал. Для достижения указанной цели рассчитаны и сопоставлены зависимости среднегодовых значений каждого изучаемого ГКИ, усредненных в скользящем окне длиной 10 лет, от года начала этого окна.

Также осуществлен корреляционный анализ связей между фрагментами временных рядов изучаемых процессов, имеющих длину 30 лет и отличающиеся по времени своего начала на 0-20 лет.

При принятии решения о значимости связи между изучаемыми процессами применялся критерий Стьюдента [19]. Пороговый уровень корреляции рассчитывался исходя из значений достоверности подобного статистического вывода 99% и числа степеней свободы соответствующих временных рядов.

Как фактический материал использовались временные ряды среднемесячных значений ГКИ TSA, NAO, AMO и TNA, представленные в [18]. Воспользовавшись ими для каждого года, с 1950 по 2010, вычислены соответствующие среднегодовые значения.

Полученные результаты и их анализ. В соответствии с изложенной методикой рассчитаны и сопоставлены зависимости среднегодовых значений всех изучаемых ГКИ, усредненных в скользящем окне длиной 10 лет, от года начала этого окна.

На рисунке 1 представлены полученные при этом зависимости от года начала скользящего окна длиной 10 лет усредненных по нему среднегодовых значений ГКИ TSA и NAO.

Из рис. 1 следует, что в период с 1950 по 2010 г. среднегодовые температуры вод струй Южно-Пассатного течения, поступающих в Северную Атлантику, повышались. Ныне их значения возросли уже на 0,6 °C. Поскольку такого

либо уменьшения их расходов в рассматриваемый период не выявлено, данный результат позволяет утверждать, что поток тепла, поступающий из Южной Атлантики в Северную, возрастает.

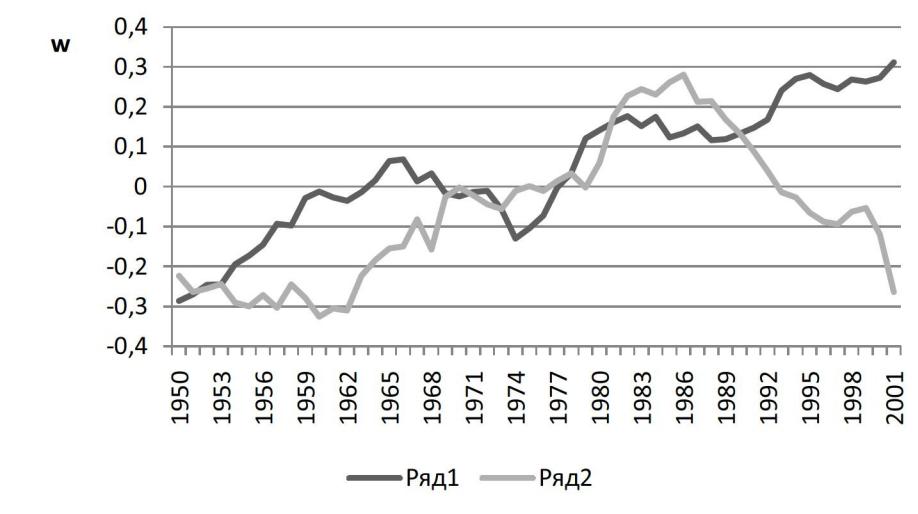


Рис.1. Изменения усредненных в скользящем окне длиной 10 лет среднегодовых значений ГКИ TSA (ряд 1) и NAO (ряд 2)

Реакцией на этот процесс в период с 1950 по 1986 гг. являлось увеличение среднегодовых значений индекса NAO, свидетельствующее об увеличении разности среднегодовых температур поверхности акваторий, соответствующих Азорскому максимуму и Исландскому минимуму.

За период с 1987 по 2010 г., когда, как показано в [7], происходило усиление парникового эффекта, среднегодовые значения индекса NAO устойчиво снижались. Данное явление соответствует представлениям о последствиях усиления этого эффекта, которое должно приводить к увеличению потоков обратного теплового излучения атмосферы, поступающих, в том числе, и на поверхность акваторий Атлантики, соответствующих Азорскому максимуму и Исландскому минимуму. Снижение среднегодовых значений индекса NAO свидетельствует о том, что в указанный период значения разности поверхностных температур данных акваторий уменьшились, поскольку уменьшились значения разности соответствующих им атмосферных давлений. Полученный результат, с учетом данных [20, 21], свидетельствующих о проявлении аналогичного эффекта в 20-30-е годы XX века, позволяет предполагать, что снижение среднегодовых значений индекса NAO является устойчивой реакцией поля атмосферного давления над Атлантикой на потепление глобального климата.

На рис. 2 показаны зависимости от времени усредненных в скользящем окне длиной 10 лет среднегодовых значений ГКИ TSA и TNA.

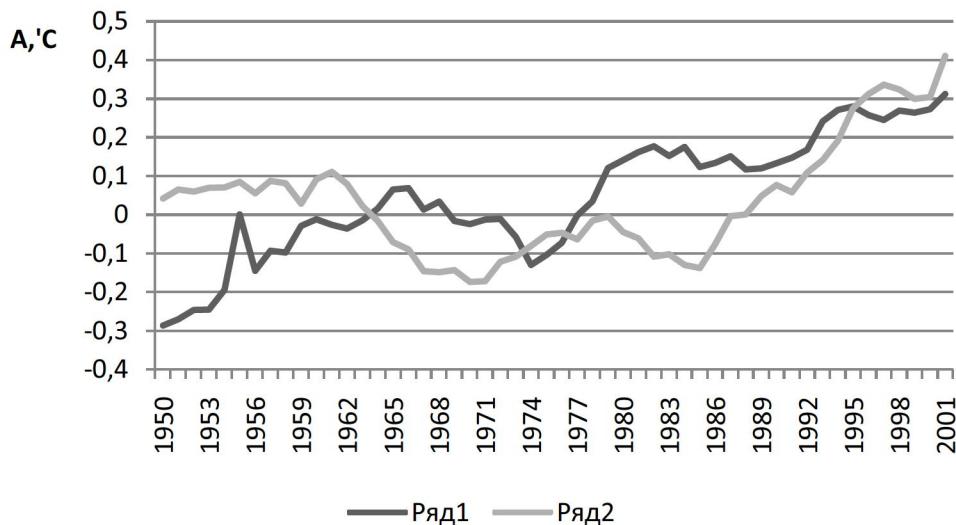


Рис. 2. Изменения усредненных в скользящем окне длиной 10 лет среднегодовых значений ГКИ TSA (ряд 1) и индекса TNA (ряд 2).

Полученный результат свидетельствует о том, что увеличение потока тепла, поступающего на поверхность Северной Атлантики, как из атмосферы, так и из Южной Атлантики привело к синхронизации изменений температурных аномалий в рассматриваемых течениях, которые ныне происходят практически согласованно. Он позволяет утверждать, что ныне соотношения между амплитудами изменений потоков тепла, поступающих из этих источников в тропические зоны Северной и Южной Атлантики, а также амплитудами прочих факторов, ощутимо возросли.

На рис. 3 отображены зависимости от года начала десятилетия усредненных по нему среднегодовых значений ГКИ TSA и АМО.

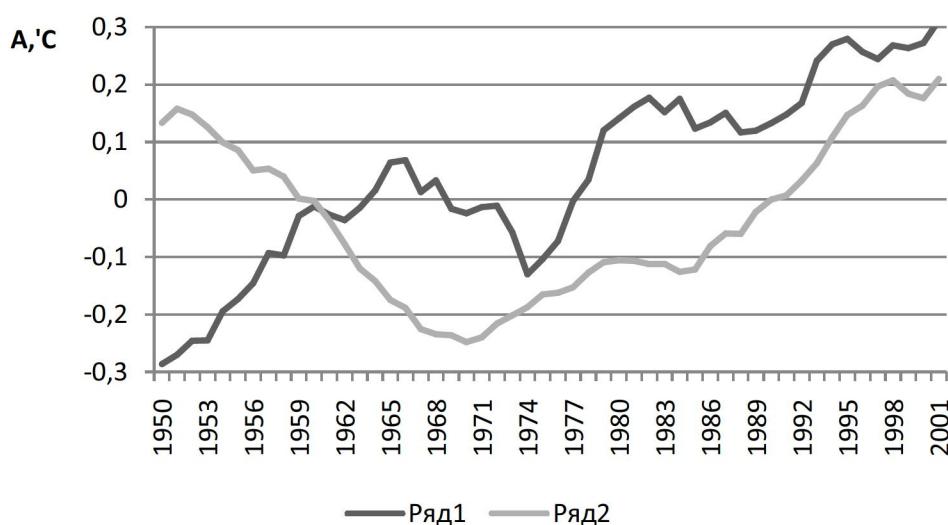


Рис. 3. Изменения усредненных в скользящем окне длиной 10 лет среднегодовых значений ГКИ TSA (ряд 1) и АМО (ряд 2).

Как видно из рисунка 3, в период с 1950 по 1974 гг. средние значения среднегодовых температур поверхности Северной Атлантики монотонно снижались, несмотря на то, что поток тепла, поступающий в нее из Южной Атлантики увеличивался. Это свидетельствует о малости, в данный период, этого потока, в сравнении с прочими факторами рассматриваемого процесса. В период после 1974 г. изменения среднегодовых значений TSA и АМО происходили все более согласованно, а в последние десятилетия являются практически подобными. Данный результат подтверждает вывод о том, что в период современного потепления климата влияние на изменение средних температур поверхности Северной Атлантики притока тепла из атмосферы (вследствие усиления парникового эффекта), а также из Южной Атлантики существенно пре-восходят по значимости все прочие факторы.

В современной фазе прецессии земной оси Южное полушарие нашей планеты за год получает на 7% больше солнечной радиации, чем ее Северное полушарие. Поэтому тропической зоной Южной Атлантики за год поглощается больше солнечной радиации, чем аналогичной зоной Северной Атлантики. В результате этого с поверхности тропической зоны Южной Атлантики в атмосферу поступает больший поток теплового излучения, чем с поверхности той же зоны Северной Атлантики. Как следствие, при одинаковом содержании в атмосфере парниковых газов, поток обратного теплового излучения атмосферы, поступающий в тропическую зону Южной Атлантики тоже больше.

Дальнейшее усиление парникового эффекта, при прочих равных условиях, приведет к тому, что поток обратного теплового излучения, приходящий на поверхность тропической зоны Южной Атлантики, по сравнению с его потоком, приходящим на поверхность тропической зоны Северной Атлантики, увеличится в большей степени. Поэтому в подобном случае соотношение между потоком тепла, поступающим в Северную Атлантику из Южной Атлантики, и потоком обратного теплового излучения, поступающим в нее непосредственно из атмосферы, будет изменяться в пользу первого. В итоге значимость рассматриваемого фактора при дальнейшем усилении парникового эффекта будет возрастать.

Корреляционный анализ связей между рассматриваемыми процессами с достоверностью 0.99 подтвердил вывод, согласно которому, влияние на распределение в Северной Атлантике поверхностных температур, а также атмосферных давлений над этим регионом изменений потока тепла, приносимого из Южного полушария струями Южно-Пассатного течения, стало значимым лишь в период после 1986 года. Он показал также, что наиболее сильной статистическая связь между рассматриваемыми процессами является в случае, когда вре-

менной ряд TSA их опережает. Подобное опережение для ряда АМО составляет 20 лет, для ряда NAO -12 лет, для ряда TNA – 3 года. Полученный результат близок к оценкам времени распространения температурных аномалий по системе течений Северного субтропического антициклонического круговорота [22].

Выводы

1. Откликом распределения поверхностных температур Атлантики на потепление глобального климата, явилось произошедшее в период с 1950 по 2010 гг. увеличение потока тепла, поступающего в Северную Атлантику из ее Южной части(что соответствует представлениям [7] о последствиях усиления парникового эффекта), а также синхронизация изменений температурных аномалий в ее водах, переносимых Южно-Пассатным и Северо-Пассатным течениями.

2. Реакцией поля атмосферного давления над Северной Атлантикой на увеличение потока тепла, поступающего из Южного полушария и потепление глобального климата является уменьшение разности его среднегодовых значений в Азорском максимуме и Исландском минимуме, что может привести к ослаблению западного переноса и уменьшению меридиональных смещений атлантических циклонов над Европой.

3. Влияние на динамику происходящих в Северной Атлантике крупномасштабных процессов взаимодействия океана и атмосферы изменений годового потока тепла, который доставляют в Северную Атлантику струи Южно-Пассатного течения, в период современного потепления климата становилось все более значимым и ныне является определяющим.

4. При дальнейшем усилении парникового эффекта значимость этого потока, как фактора перемен климата в Северном полушарии, будет еще более возрастать.

Список литературы

1. Лаппо С.С. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана / С. С. Лаппо, С. К. Гулев, А. Е. Рождественский // Л. – Гидрометеоиздат. – 1990. – 336 с. 2. Анисимов М. В. Глобальный океанический конвейер / М.В. Анисимов, Ю.А. Иванов, М.М. Субботина // Океанология. – 2002. – Т.45. – №5. – С.645-649. 3. Lozier M.S. Deconstructing the Conveyor Belt / M. Susan Lozier // Science. – 2010. –Vol. 328. – P. 1507–1511. 4. Visbeck M. Power of pull // Nature. – 2007. – Vol. 447. – P. 383. 5. Peterson R.G. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean // Prog. Oceanogr. – 1991. – № 26. – P. 1-73. 6. Полонский А.Б. Роль океана в современных изменениях климата / А.Б.Полонский // Морской гидрофизический журнал. – 2001. – № 6. – С.32-48. 7. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assesment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC). – Cambridge: Cambridge Unsversity Press, 2007. – 973 p. 8. Enfield D.B., Mestas-Nunez A.M., Trimble P.J. The Atlantic multidecadal oscillation and it's relation to rainfall and river flows in the continental U.S. // Geophysical Research Letters. – 2001. – Vol. 28. – P. 2077-2080. 9. Воскресенская Е.Н. Низкочастотная изменчивость гидрометеорологических полей и потоков тепла в Северной Атлантике / Е.Н.Воскресенская, А.Б.Полонский // Морской гидрофизический журнал. – 2004. – № 4. – С.19-38. 10. Walker G.T.

World weather / G.T. Walker, E.W. Bliss // Meteorology. Royal Meteorology Society. – 1932. – V. 4. – No 36. – P.53-84. 11. Волощук В.М. Глобальне потепління і клімат України: регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти / В.М.Волощук, С.Г.Бойченко, С.М.Степаненко та ін. – К.: ВПЦ Київ. ун-ту, 2002. – 115 с. 12. Penland C., Matrosova L. Prediction of tropical Atlantic sea surface temperatures using Linear Inverse Modeling // J. Climate. – 1998. – March. – P. 483-496. 13. Chiang J.C. Analogous meridional modes of atmosphere-ocean variability in the tropical Pacific and tropical Atlantic // J. Climate. – 2004. – 17(21). – P. 4143-4158. 14. Булатов Р.П., Бартеш М.С. Атлантический океан. – Л.: Наука, 1982. – 480 с. 15. Гусев А. М. Основы океанологии. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 246 с. 16. Martin P. H., Kumar A. Robustness of the nonlinear climate response to ENSO's extreme phases // Journal of Climate. – 2001. – V.14, № 6. – P. 1277-1293. 17. Wang C. and Enfield D.B. The tropical Western Hemisphere warm pool // Geophys. Res. Lett. – 2001. – № 28. – P. 1635-1638. 18. <http://www.noaa.gov> – сайт Национальной администрации по океану и атмосфере. 19. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с. 20. Клімат України / Під ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с. 21. Мартазінова В.Ф. Зміни великомасштабної атмосферної циркуляції повітря протягом ХХ століття та її вплив на погодні умови і регіональну циркуляцію повітря в Україні / В.Ф. Мартазінова, Т.О. Свердлик // Український геогр. журнал. – 2001. – № 2.– С. 28-34. 22. Суховей В. Ф. Изменчивость гидрологических условий Атлантического океана. – К.: Наукова Думка, 1977. – 215 с.

Summary

A.V. Holoptsev, A.A. Shidlovskaya. **Features of Changes in Characteristics of Heat Flow Entering the North Atlantic From its Southern Part and Large-Scale Processes in the Period 1950-2010.**

Reaction field of surface temperatures of the Atlantic to the enhanced greenhouse effect is to increase the flow of heat delivered to the northern part of its jets of the South Equatorial Current, as well as synchronization of changes in this flow and the characteristics of large-scale processes of interaction between ocean and atmosphere. In reaction to this process the field of atmospheric pressure is to reduce the difference of atmospheric pressure in the Azores maximum and minimum of Iceland.