Системы контроля окружающей среды № 4 (58) 2024

https://elibrary.ru/bmdudb

УДК 551.513.7 DOI: 10.33075/2220-5861-2024-4-07-15

О ВЛИЯНИИ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В АФРИКАНСКО-ЕВРАЗИЙСКОМ РЕГИОНЕ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ЧАСТИ АТЛАНТИКИ

А.В. Торбинский, А.Б. Полонский, А.В. Губарев

Институт природно-технических систем
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: uzundja@mail.ru

Цель настоящей работы заключается в исследовании распространения атмосферного сигнала, возбуждаемого Индоокеанским диполем, в зональном и меридиональном направлениях. Анализируется отклик в полях приземной температуры воздуха Африканско-Евразийского региона на аномалии температуры поверхности океана в экваториальной зоне Индийского океана. Используются данные атмосферного ре-анализа ERA5 о среднемесячных значениях приземной температуры воздуха в узлах регулярной сетки, а также индекса Индоокеанского диполя за период 1960–2023 гг. Показано, что аномалии температуры поверхности океана в основном влияют на приземную температуру воздуха в Африканско-Евразийском регионе и прилегающей части Атлантики за счет изменчивости поля аномалий в западной части Индийского океана. Отмечается наличие асинхронной связи между процессами в экваториальной зоне Атлантики и Индийского океана. Коэффициенты корреляции между аномалиями температуры воздуха в прилегающей к Африканскому континенту области экваториальной Атлантики и аномалиями температуры поверхности западной части экваториальной зоны Индийского океана в зимние и весенние месяцы достигают очень значительных величин (до 0,95). Подтверждена существенная нестационарность анализируемых временных рядов, отражающая нестационарность процессов перераспределения тепла в климатической системе.

Ключевые слова: Индоокеанский диполь, аномалии приземной температуры воздуха, аномалии температуры поверхности океана, Африканско-Евразийский регион, тропическая Атлантика

Поступила в редакцию: 25.10.2024. После доработки: 13.11.2024. Принята к печати: 20.12.2024.

Введение. В Индийском океане процессы перераспределения тепла между различными компонентами климатической системы характеризуются уникальными особенностями, которые отличают его от Тихого и Атлантического океанов. Азиатский континент изолирует Индийский океан с севера, не позволяя тёплым течениям, сформировавшимся в тропиках, достичь высоких широт Северного полушария, так как это происходит в Атлантике и Тихом океане. Кроме этого, Индийский океан также получает дополнительное тепло из Тихоокеанского региона через Индонезийский пролив [1]. Это делает Индийский океан одним из основных источников тепла для южной части Атлантики [2].

Ключевой особенностью изменчивости термических характеристик экваториально-тропической зоны Индийского океана является наличие противофазных изменений температуры поверхности океана (ТПО) в его западной и восточной части. Это явление межгодового масштаба получило название Индоокеанский диполь (ИД) [3]. Положительная фаза ИД (ИД+) характеризуется аномальным понижением ТПО в юго-восточной части экваториальной зоны Индийского океана и ее повышением в западной части этой зоны. В отрицательную фазу (ИД-) этого явления ТПО, наоборот, повышена на востоке региона. Разность между величинами аномалий ТПО в западной и юго-восточной частях экваториальной зоны Индийского океана называют индексом DMI (Dipole mode index), который обычно используется для количественной оценки ИД [4].

События ИД проявляются в Индоокеанском регионе не только в виде аномалий ТПО, но и характеризуются аномальным переносом влаги, который сопровождается обильными осадками или, наоборот, аномальными засухами.

Все это наносит серьезный ущерб странам, расположенным как на восточном, так и на западном побережье Индийского океана [5–8].

Вместе с тем, описанная изменчивость оказывает существенное влияние на общую циркуляцию атмосферы, тем самым вызывая климатические аномалии, не только в области Индоокеанского бассейна, но и в других частях света, в том числе и в достаточно далеко удалённых от этого региона [9–12]. При этом, механизм такого влияния ИД все еще мало изучен, в отличие от других глобальных мод климатической изменчивости, таких как Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК) [13] и Североатлантическое колебание (САК) [14, 15].

Ранее в работах авторов настоящей статьи, посвященных воздействию событий ИД на Европейский регион, удалось обнаружить статистически значимый сигнал, связанный с независимыми от ЭНЮК событиями ИД как в летние, так и в осенние месяцы (например, [10, 16]). Этот сигнал выделялся в полях приземной температуры воздуха (ПТВ) и осадков. В частности, было установлено, что в месяцы развития интенсивных событий ИД+ (с DMI ≥ 0,4 по абсолютному значению) положительные аномалии температуры в Европейском регионе достигают +(3–4)°C. Во время событий ИД-, наоборот, наблюдается рост абсолютных величин отрицательных аномалий температуры (до –(4–5)°C) над всей территорией Европы, за исключением ее северной части, где преобладают положительные аномалии.

В следующей работе [17], в которой в область рассмотрения была включена северная часть Африки, обнаружено значимое влияние ИД в летне-осенний период и на Африканский регион. В среднем вклад ИД в общую дисперсию ПТВ для Африканско-Европейского региона в летне-осенний период составил около ~13%. Эти результаты подтвердили ранее выдвинутую гипотезу о возможном влиянии ИД на достаточно далеко удаленные от экваториальной зоны Индийского океана регионы.

В данной работе, будет выполнена оценка влияния ИД (в том числе, отдельно и аномалий ТПО в западной части Индийского океана) на межгодовую изменчивость ПТВ в Африканско-Евразийском регионе. Для оценки влияния ИД на более удаленные регионы география исследований вновь была расширена (по сравнению с работами [16, 17]). Первоначальная гипотеза заключалась в том, что события ИД могут в большей степени оказывать влияние на изменчивость ПТВ в Африканско-Евразийском регионе за счет изменчивости поля аномалий ТПО западной части экваториальной зоны Индийского океана. Именно в этой области Индийского океана в позитивную фазу ИД формируется область интенсивной конвекции в тропосфере, сопровождаемая сильными восточными ветрами. Тут же может происходить возбуждение крупномасштабных атмосферных возмущений в период зрелой фазы ИД+, которые затем распространятся на достаточно далеко удаленные от Индийского океана регионы. Вместе с тем, западная часть Индийского океана географически расположена ближе к Африканско-Европейскому региону, чем восточная, что также может повлиять на величину корреляционных связей термических аномалий между указанными регионами.

В дополнение к описанным выше результатам необходимо отметить, что, согласно опубликованным данным спектрального [18] и вейвлет [19] анализов рядов DMI, величина основного периода ИД может изменяться со временем. Иными словами, процессы, связанные с ИД, являются нестационарными. В связи с этим, авторы предположили, что изменение длины анализируемых временных рядов может значительно влиять на величину корреляции между региональными термическими аномалиями, обусловленными ИД. Поэтому в данной работе будет проведена дополнительная проверка выделенных статистических связей на стационарность.

Характеристика использованного материала. Методика обработки. В работе использованы результаты глобального атмосферного ре-анализа ERA5 (European Centre for Medium Range Weather Forecasts Re-Analysis), за период 1960–2023 гг. по ПТВ с месячным разрешением в узлах регулярной сетки

0,25° x 0,25°. Исследовалась область, ограниченная координатами 10° ю.ш. – 90° с.ш. и 30° з.д. – 70° в.д., которую в дальнейшем мы будем называть Африканско-Евразийским регионом. DMI рассчитывался как разность аномалий ТПО между западной (50°–70° в.д., 10° ю.ш.–10° с.ш.) и юго-восточной (90°–110° в.д., 0°–10° ю.ш.) частями экваториальной зоны Индийского океана [20]. Временные ряды индексов ИД и аномалий ТПО в западной части Индийского океана и ряды ПТВ подвергались детрендированию, а, затем, взаимному статистическому анализу, в ходе которого рассчитывались коэффициенты корреляции между ними для разных периодов. Полученные величины коэффициентов корреляции сравнивались между собой. Выбор периодов был обусловлен прежде всего годами начала позитивной фазы ИД (ИД+).

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлено пространственное распределение коэффициентов корреляции между ПТВ и индексами DMI, ПТВ и аномалиями ТПО в западной части Индийского океана (далее DMI-W) за июль для следующих периодов: 1960–2023 гг.; 1968–2023 гг.; 1972–2023 гг. Хорошо видно, что для периода 1972–2023 гг. величины июльских корреляций ПТВ с индексом ИД в среднем выше, чем для периодов 1968–2023 гг. и (в значительно большей степени) 1960–2023 гг. Особенно велики различия в коэффициентах корреляции между ПТВ и DMI-W. Вероятнее всего, это связано с тем, что в период 1960–1972 гг. среднегодовой DMI ни разу не принимал положительные значения. Иными словами, для этого промежутка времени отсутствовали ИД+. Этот результат подтверждает результаты работ [18, 19] о нестационарности рядов ИД. Кроме этого, необходимо отметить, что величины значимых положительных корреляций между DMI-W и ПТВ в среднем существенно больше, чем между DMI и ПТВ. Это хорошо проявляется и в структуре поля корреляций для Африканского региона, где в области 5° з.д. – 25° в.д., наблюдаются величины коэффициентов корреляции, близкие к 0,7-0,8. Аналогичная закономерность отмечается и в статистической связи аномалий ПТВ в Европейском регионе с ИД.

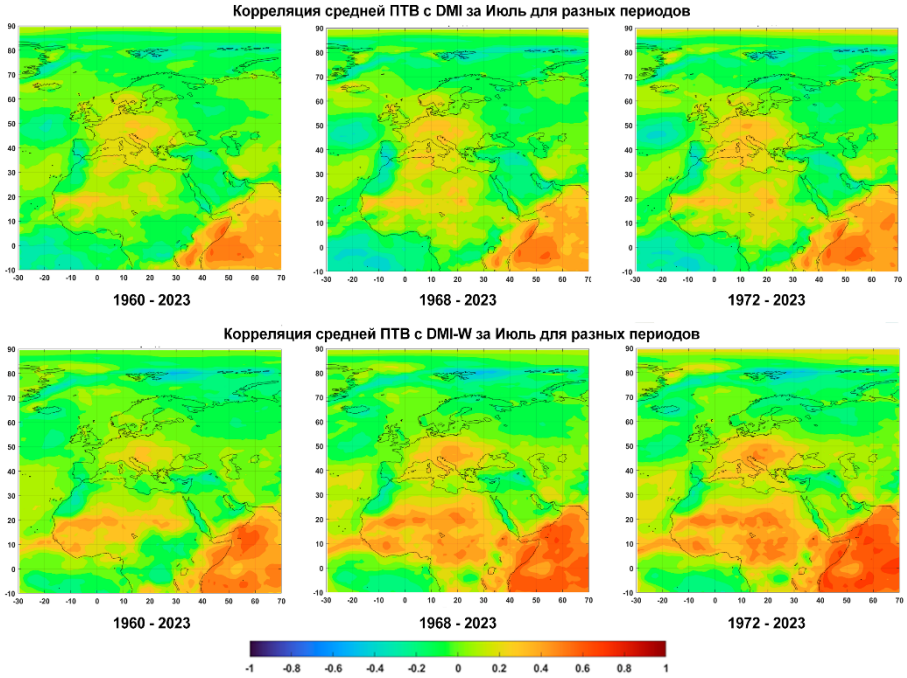

Рис. 1. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между рядами ПТВ и индексами: DMI (сверху) и DMI-W (снизу) за июль для различных периодов

Fig. 1. Spatial distribution of correlation coefficients between SAT series and indices: DMI (upper panel) and DMI-W (low panel) for July for different periods

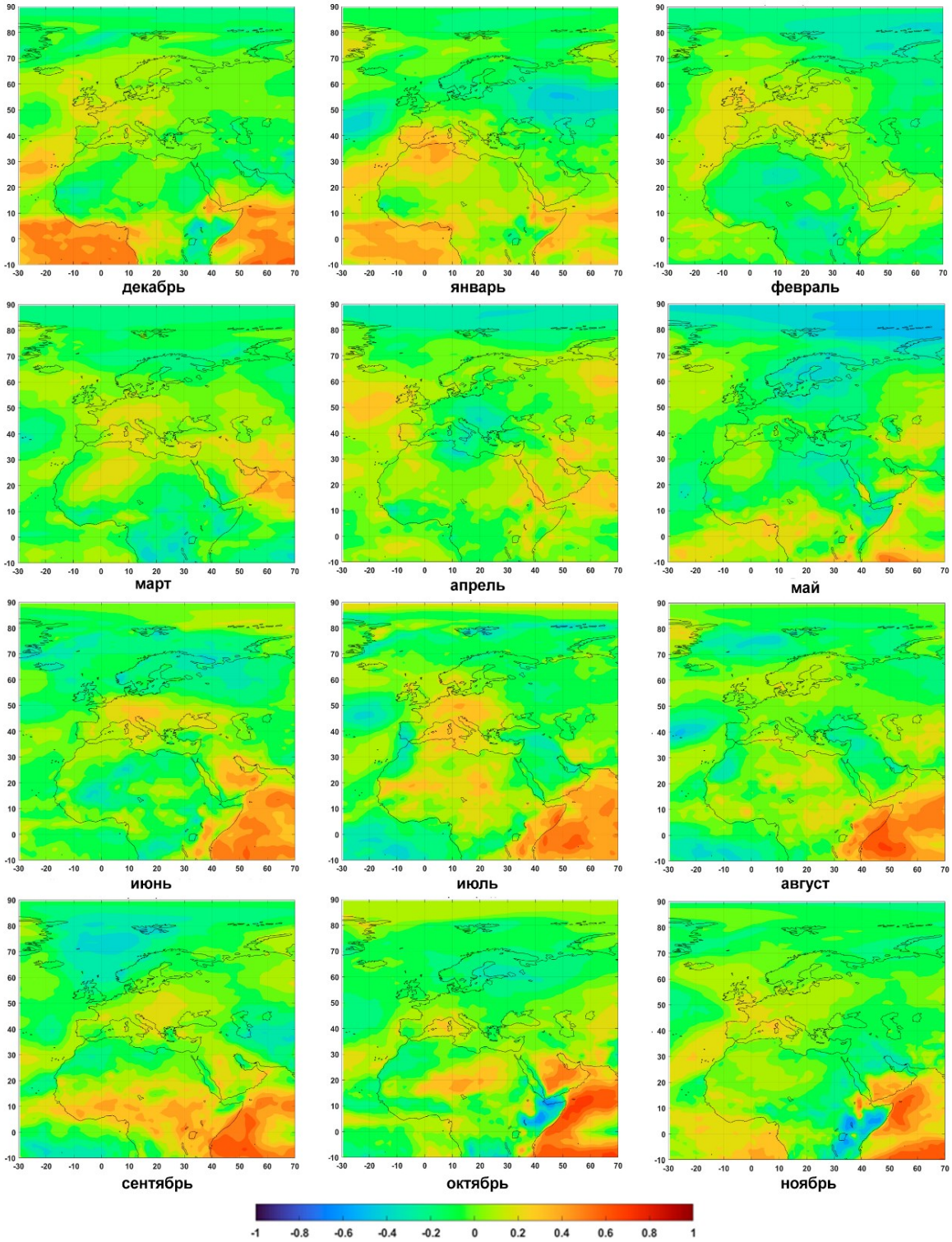

Рис. 2. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между рядами ПТВ и DMI для различных месяцев за период 1972–2023 гг.
Fig. 2. Spatial distribution of correlation coefficients between SAT series and DMI for various months for the period 1972–2023

Описанные выше результаты подтверждают предположение о том, что ИД в основном оказывает влияние на Африканско-Евразийский регион (причем, в большей степени на Африканский) через аномалии ТПО в западной части экваториальной зоны Индийского океана.

Для сравнения величин корреляции между рядами ПТВ – DMI и ПТВ – DMI-W обратимся к результатам, представленных на рис. 2 и 3.

Из рис. 2 хорошо видно, что ИД может статистически значимо влиять на отдельные области Африканско-Европейского региона в летне-осенние месяцы. Для Европейского региона это главным образом относится к середине летнего периода (к июлю), что частично подтверждает результаты, выполненные в работе [16]. Для Африканского региона (в особенности, для восточной его части) значимая корреляция отмечается с июля по октябрь, что совпадает с выводами, сделанными в работе [17].

Важное отличие между рис. 2 и рис. 3 заключается в наличии значимой связи между DMI-W и ПТВ над прилегающей к Африканскому континенту области экваториальной Атлантики. Там (между 30° з.д. – 10° в.д. и 10° ю.ш. – 10° с.ш.) коэффициенты корреляции между аномалиями ПТВ и DMI-W в зимние и весенние месяцы достигают очень значительных величин (до 0,95). Такие коэффициенты корреляции между ПТВ и DMI не наблюдаются ни в один из месяцев года (кроме декабря, рис. 2). Более того, начиная с мая значимость коэффициентов корреляции между ПТВ и DMI здесь начинает уменьшаться и до второй половины осенних месяцев (т.е., в период максимальной активности ИД!) корреляция незначима почти для всей акватории восточной части экваториальной Атлантики. Этот важный результат говорит о значимой связи между аномалиями ТПО в западной части экваториальной зоны Индийского океана и ПТВ над экваториальной частью Атлантики. Так как нагрев экваториальной зоны обычно наблюдается в западной части Индийского океана в летне-осенние месяцы (в позитивную фазу ИД), а высокие величины корреляций между DMI-W и ПТВ в восточной части экваториальной Атлантики отмечены в зимне-осенние месяцы, это означает наличие асинхронных связей между процессами в экваториальной зоне Атлантики и Индийского океана. При этом не только аномалии ТПО в западной части экваториальной зоны Индийского океана значимо влияют на экваториальную Атлантику, но и атлантическая изменчивость играет активную роль во взаимодействии между Индийским и Атлантическим океанами. Это следует из опубликованных данных (см., например, работы [21, 22]). Дополнительная проверка эффективности такого взаимодействия будет выполнена в отдельной работе.

Заключение. Таким образом, в настоящей работе продемонстрировано, что события ИД в основном влияют на ПТВ в Африканско-Евразийском регионе и прилегающей части экваториальной Атлантики за счет изменчивости поля аномалий ТПО в западной части экваториальной зоны Индийского океана. При этом подтверждена существенная нестационарность анализируемых временных рядов, что отражает нестационарность процессов перераспределения тепла в климатической системе. Это проявляется в различных статистических характеристиках анализируемых временных рядов, включая и изменение основного периода ИД со временем. Влияние ИД на пространственно-временную изменчивость ПТВ, скорее всего, сводится к возбуждению возмущений над экваториальной зоной Индийского океана, а затем распространению их в атмосфере в период зрелой фазы ИД. Кратко описана асинхронная связь между процессами в экваториальной зоне Атлантики и Индийского океана, которая нуждается в дополнительном исследовании.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПТС по теме «Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость морской среды и прилегающих территорий в широком диапазоне масштабов» (№ госрегистрации 124020100120-9).

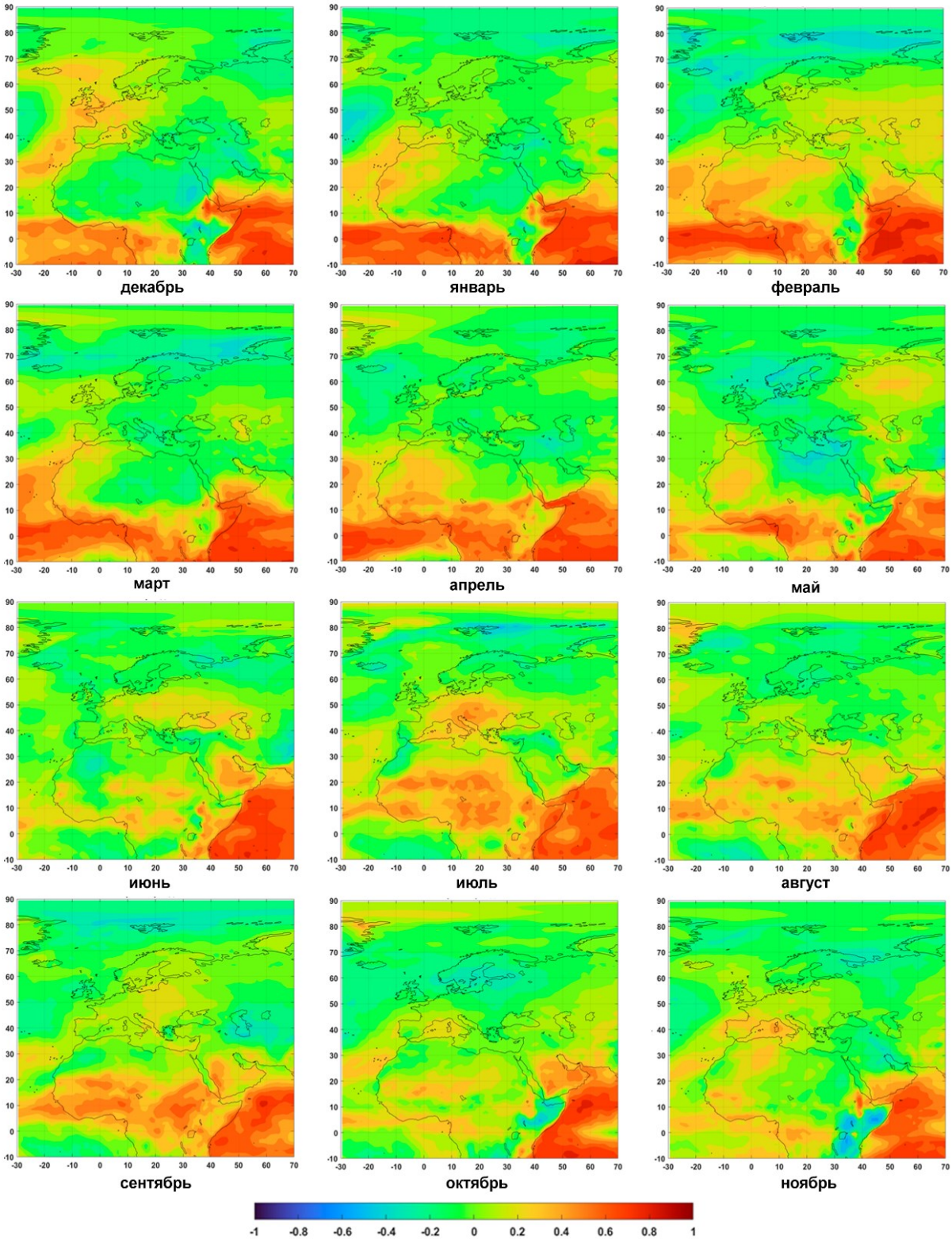

Рис. 3. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между рядами ПТВ и DMI-W для различных месяцев за период 1972–2023 гг.
Fig. 3. Spatial distribution of correlation coefficients between SAT series and DMI-W for various months for the period 1972–2023

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Schiller A., Meyers G.* Seasonal Near-Surface Dynamics and Thermodynamics of the Indian Ocean and Indonesian Throughflow in a Global Ocean General Circulation Mode 1 // J. Phys. Oceanogr. 1998. Vol. 28. P. 2288–2312.
2. *Vinayachandran P.N., Lizuka S., Yamagata T.* Indian Ocean dipole mode events in an ocean general circulation model // Deep Sea Res. 2002. Part II. Vol. 49 (7). P. 1573–1596.
3. *Saji N.H., Goswami B.N., Vinayachandran P.N., Yamagata T.* A dipole mode in the tropical Indian Ocean // Nature. 1999. Vol. 401 (6751). P. 360–363.
4. *Saji N.H.* The Indian Ocean Dipole // Oxford Research Encyclopedia of Climate Science. 2018.
5. *Conway D., Allison E.H., Felstead R., Goulden M.* Rainfall variability in East Africa: implications for natural resources management and livelihoods // Philosophical Transactions of the Royal Society. A Mathematical Physical and Engineering Sciences. 2005. Vol. 363 (1826). P. 49–54.
6. *Page S.E., Siegert F., Rieley J., Boehm H.V., Jaya A., Limin S.* The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997 // Nature. 2002. Vol. 420 (6911). P. 61–65.
7. *Ummenhofer C.C., England M.H., McIntosh P.C., Meyers G.M., Pook M.J., Risbey J.S., Gupta A.S., Taschetto A.S.* What causes southeast Australia's worst droughts? // Geophysical Research Letters. 2009. Vol. 36 (4). P. 1–5.
8. *Wang G., Cai W.* Two-year consecutive concurrences of positive Indian Ocean Dipole and Central Pacific El Niño preconditioned the 2019/2020 Australian "black summer" bushfires // Geoscience Letters. 2020. Vol. 7 (1). P. 1–9.
9. *Saji N.H., Yamagata T.* Possible impacts of Indian Ocean Dipole mode events on global climate // Clim. Res. 2003. Vol. 25. P. 151–169.
10. *Полонский А.Б.* Отклик в полях приземной температуры воздуха, давления и осадков Евразийского региона на аномалии температуры поверхности океана, связанные с Индоокеанским диполем // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 1 (31). С. 83–89.
11. *Xu K., Miao H.Y., Liu B. et al.* Aggravation of record-breaking drought over the mid-to-lower reaches of the Yangtze River in the Post-monsoon Season of 2019 by anomalous Indo-Pacific Oceanic conditions? // Geophysical Research Letters. 2020. Vol. 47 (24). P. 1–3.
12. *Basharin D., Stankūnavičius G.* European precipitation response to Indian ocean dipole events // Atmospheric Research. 2022. Vol. 273. P. 106–142.
13. *Воскресенская Е.Н., Михайлова Н.В.* Эль-Ниньо различных типов и и особенность их проявления в Атлантико-Европейском регионе // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: МГИ НАНУ. 2006. С. 307–310.
14. *Polonsky A., Basharin D., Voskresenskaya E., Worley S., Yurovsky A.* Relationship between North Atlantic Oscillation, Euro-Asian climate anomalies and Pacific variability // Pacific Oceanogr. 2004. Vol. 2 (1-2). P. 52–66.
15. *Osman M., Zaitchik B., Badr H.* North Atlantic centers of action and seasonal to subseasonal temperature variability in Europe and eastern North America // Int. Journal of Climatology. 2021. Vol. 41 (1). P. 1775–1790.
16. *Полонский А.Б., Торбинский А.В., Губарев А.В.* Отклик в полях приземной температуры воздуха Европейского региона на Индоокеанский диполь // Системы контроля окружающей среды. 2022. № 4 (50). С. 6–14.
17. *Полонский А.Б., Торбинский А.В., Губарев А.В.* Влияние Индоокеанского диполя на пространственно-временную изменчивость приземной температуры воздуха Африканско-Европейского региона // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 3 (53). С. 8–16.
18. *Feng M., Meyers G.M.* Interannual variability in the tropical Indian Ocean: a two-year time-scale of Indian Ocean Dipole // Deep Sea Res. 2003. Part II. Vol. 50 (2). P. 2263–2284.
19. *Ummenhofer CC., Biastoch A., Böning C.W.* Multidecadal Indian Ocean variability linked to the Pacific and implications for preconditioning Indian Ocean dipole events

// Journal of Climate. 2017. Vol. 30 (5). P. 739–1751.

20. Электронный ресурс: https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/dmi.had.long.data (дата обращения: 01.05.2024).

21. *Wang C., Kucharski F., Barimalala R., Bracco A.* Teleconnections of the tropical Atlantic to the tropical Indian and Pacific Oceans: A review of recent findings // Metz. 2009. Vol. 18 (4). P. 445–454.

22. *Liao H., Wang C.* Sea Surface Temperature Anomalies in the Western Indian Ocean as a Trigger for Atlantic Niño Events // Geophysical Research Letters. 2021. Vol. 48 (8). P. 1–10.

INFLUENCE OF THE INDIAN OCEAN SURFACE TEMPERATURE ANOMALIES ON SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF LAND SURFACE AIR TEMPERATURE IN THE AFRICAN-EURASIAN REGION AND THE ADJACENT PART OF THE ATLANTIC

A.V. Torbinsky, A.B. Polonsky, A.V. Gubarev

Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

The aim of this work is to study the atmospheric signal propagation excited by the Indian Ocean Dipole in the zonal and meridional directions. The response in the land surface air temperature (SAT) fields of the African-Eurasian region to sea surface temperature anomalies (SST) in the equatorial zone of the Indian Ocean is analyzed. ERA5 atmospheric reanalysis data on monthly mean SAT values, as well as the Dipole mode index for the period 1960–2023are used. It is shown that SST anomalies mainly affect SAT in the African-Eurasian region and the adjacent part of the Atlantic due to the variability of the anomaly field in the western Indian Ocean. Also notes the presence of the asynchronous connection between processes in the equatorial zone of the Atlantic and Indian Ocean. The correlation coefficients between SAT in the equatorial Atlantic region adjacent to the African continent and SST anomalies in the western part of the equatorial Indian Ocean reach very significant values (up to 0.95) in the winter and spring months. A significant non-stationarity of the analyzed time series, reflecting the non-stationarity of heat redistribution processes in the climate system is confirmed.

Keywords: Indian Ocean Dipole, surface air temperature anomalies, sea surface temperature anomalies, African-Eurasian region, tropical Atlantic.

REFERENCES

1. *Schiller A., Meyers G. Seasonal Near-Surface* Dynamics and Thermodynamics of the Indian Ocean and Indonesian Throughflow in a Global Ocean General Circulation Mode l. *J. Phys. Oceanogr.*, 1998, Vol. 28, pp. 2288–2312.

2. *Vinayachandran P.N., Lizuka S., and Yamagata T.* Indian Ocean dipole mode events in an ocean general circulation model. *Deep Sea Res,* 2002, Part II, Vol. 49 (7), pp. 1573–1596.

3. *Saji N.H., Goswami B.N., Vinayachandran P.N., and Yamagata T.* A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature,* 1999, Vol. 401 (6751), pp. 360–363.

4. *Saji N.H.* The Indian Ocean Dipole. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science,* 2018.

5. *Conway D., Allison E.H., Felstead R., and Goulden M.* Rainfall variability in East Africa: implications for natural resources management and livelihoods. *Philosophical Transactions of the Royal Society. A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 2005, Vol. 363 (1826), pp. 49–54.

6. *Page S.E., Siegert F., Rieley J., Boehm H.V., Jaya A., and Limin S.* The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature,* 2002, Vol. 420 (6911), pp. 61–65.

7. *Ummenhofer C.C., England M.H., McIntosh P.C., Meyers G.M., Pook M.J., Risbey J.S., Gupta A.S., and Taschetto A.S.* What causes southeast Australia's worst droughts? *Geophysical Research Letters*, 2009, Vol. 36 (4), pp. 1–5.

8. *Wang G. and Cai W.* Two-year consecutive concurrences of positive Indian Ocean Dipole and Central Pacific El Niño preconditioned the 2019/2020 Australian "black summer" bushfires. *Geoscience Letters,* 2020, Vol. 7 (1), pp. 1–9.

9. *Saji N.H. and Yamagata T.* Possible impacts of Indian Ocean Dipole mode events on global climate. *Clim. Res*, 2003, Vol. 25, pp. 151–169.

10. *Polonskiy A.B.* Otklik v polyax prizemnoj temperatury` vozduxa, davleniya i osadkov Evrazijskogo regiona na anomalii temperatury` poverxnosti okeana, svyazanny`e s Indookeanskim dipolem (Response of the Eurasian surface temperature, pressure and precipitation on the anomalies of seasurface temperature associated with the Indo-ocean dipole). *Sistemy kontrolja okruzhayshej sredy,* 2018, No. 1 (31), pp. 83–89.

11. *Xu K., Miao H.Y., Liu B., Tam C.-Y., and Wang W.* Aggravation of record-breaking drought over the mid-to-lower reaches of the Yangtze River in the Post-monsoon Season of 2019 by anomalous Indo-Pacific Oceanic conditions? *Geophysical Research Letters*, 2020, Vol. 47 (24), pp. 1–3.

12. *Basharin D. and Stankūnavičius G.* European precipitation response to Indian ocean dipole events. *Atmospheric Research,* 2022, Vol. 273, pp. 106–142.

13. *Voskresenskaya E.N. and Mixajlova N.V.* El-Nino razlichny`x tipov i i osobennost` ix proyavleniya v Atlantiko-Evropejskom regione (El Niño of various types and features of their distribution in the Atlantic-European region). *Sistemy kontrolja okruzhayshej sredy. Sevastopol: MGI NANU.* 2006. C. 307–310.

14. *Polonsky A., Basharin D., Voskresenskaya E., Worley S., and Yurovsky A.* Relationship between North Atlantic Oscillation, Euro-Asian climate anomalies and Pacific variability. *Pacific Oceanogr.,* 2004, Vol. 2 (1-2), pp. 52–66.

15. *Osman M., Zaitchik B., and Badr H.* North Atlantic centers of action and seasonal to subseasonal temperature variability in Europe and eastern North America. *Int. Journal of Climatology*, 2021, Vol. 41 (1), pp. 1775–1790.

16. *Polonskiy A.B., Torbinskiy A.V., and Gubarev A.V.* Otklik v polyah prizemnoj temperatury vozduha Evropejskogo regiona na Indookeanskij dipol (Response in surface air temperature fields of Europe to the Indian ocean dipole). *Sistemy kontrolja okruzhayshej sredy*, 2022, No. 4 (50), pp. 6–14.

17. *Polonskiy A.B., Torbinskiy A.V., and Gubarev A.V.* Vliyanie Indookeanskogo dipolya na prostranstvenno-vremennuyu izmenchivost` prizemnoj temperatury` vozduxa Afrikansko-Evropejskogo regiona (Influence of the Indian ocean dipole on spatio-time variability of surface air temperature in African-European region). *Sistemy kontrolja okruzhayshej sredy,* 2023, No. 3 (53), pp. 8–16.

18. *Feng M. and Meyers G.M.* Interannual variability in the tropical Indian Ocean: a two-year timescale of Indian Ocean Dipole. *Deep Sea Res.*, 2003, Part II, Vol. 50 (2), pp. 2263–2284.

19. *Ummenhofer CC., Biastoch A., and Böning C.W.* Multidecadal Indian Ocean variability linked to the Pacific and implications for preconditioning Indian Ocean dipole events. *Journal of Climate*, 2017, Vol. 30 (5), pp. 739–1751.

20. https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/dmi.had.long.data (May 01, 2024).

21. *Wang C., Kucharski F., Barimalala R., and Bracco A.* Teleconnections of the tropical Atlantic to the tropical Indian and Pacific Oceans: A review of recent findings. *Metz.*, 2009, Vol. 18 (4), pp. 445–454.

22. *Liao H. and Wang C.* Sea Surface Temperature Anomalies in the Western Indian Ocean as a Trigger for Atlantic Niño Events. *Geophysical Research Letters*, 2021, Vol. 48 (8), pp. 1–10.