



**ВЛИЯНИЕ ИНДООКЕАНСКОГО ДИПОЛЯ
НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ЕВРОПЫ И СЕВЕРНОЙ АФРИКИ**

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

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

Целью настоящей работы является исследование влияния Индоокеанского диполя (ИД) на пространственно-временную изменчивость приземной температуры воздуха (ПТВ) Африканско-Европейского региона. Привлекались данные атмосферного ре-анализа ERA5 о среднемесячных значениях ПТВ в узлах регулярной сетки, а также индекс ИД за период 1968–2022 гг. Показано, что ИД максимально проявляет себя в структуре первой моды ЭОФ (эмпирической ортогональной функции) поля ПТВ с июня по октябрь и ответственен за 13% суммарной дисперсии ПТВ. Изменчивость метеорологических параметров Европы в летне-осенний период, связанная с ИД, вероятней всего, обусловлена вариациями меридионального переноса воздушных масс в разные фазы ИД.

Ключевые слова: Индоокеанский диполь, аномалии приземной температуры воздуха, аномалии приземного давления, Африканско-Европейский регион.

Поступила в редакцию: 18.07.2023. После доработки: 06.08.2023.

Введение. Индоокеанский диполь (ИД) представляет собой одну из основных мод, характеризующих межгодовую изменчивость крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в экваториально-тропической зоне Мирового океана [1]. Положительная фаза ИД характеризуется аномальным понижением температуры поверхности океана (ТПО) в юго-восточной части экваториальной зоны Индийского океана (ИО) и ее повышением в западной части. В отрицательную фазу этого явления ТПО, наоборот, больше на востоке ИО, чем на западе [2]. Распространение аномалий ТПО с востока на запад и обратно, связанное с событиями ИД, оказывает существенное влияние на климат стран Индоокеанского бассейна [3]. Эта изменчивость в первую очередь проявляется в виде аномального переноса влаги, сопровождающегося обильными осадками или, наоборот, аномальных засух и наносит серьезный ущерб странам, расположенным как на восточном, так и на западном побережье ИО [4–7].

Известно, что ИД формирует существенную долю межгодовых флюктуаций климатических характеристик не только в прилегающих к ИО районах, но и в Европейском регионе [8]. При этом, влияние ИД на климат Европы все еще мало изучено, в отличие от других глобальных мод климатической изменчивости, таких как Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК) и Североатлантическое колебание (САК). В связи с тем, что аномальность гидрометеорологических условий над Европой зимой и весной в значительной степени обусловлена влиянием САК [9] и ЭНЮК [10], то можно предположить, что в летние и осенние месяцы изменчивость полей температуры объясняется событиями других осцилляций, в том числе и ИД. Интерес к данному вопросу «подогревается» появлением ярко выраженных климатических аномалий в Европе в 2000-х гг. [11–14]. Эти события получили название «тепловые волны» («heat wave»), поскольку они сопровождаются рекордно высокими температурами, а в некоторых случаях (особенно в южной части Евро-

пы) жарким ветром «сирокко», который несет с собой большое количество мелкого песка и пыли из пустыни Сахара [15]. Эти явления приводят к катастрофическим социально-экономическим последствиям [16–18].

Ранее в ряде работ [19–22], посвященных влиянию ИД на Европейский регион, авторам удалось выделить в полях приземной температуры, давления и осадков статистически значимый сигнал, связанный с независимыми от ЭНЮК событиями ИД как в летний, так и в осенний периоды. Было показано, что во время положительной фазы сильных событий ИД, аномалии приземной температуры могут достигать значений $+(3-4)^{\circ}\text{C}$, в том числе и в годы «тепловых волн». В отрицательную фазу ИД над всей территорией Европейского региона, за исключением его северной части, наблюдается рост абсолютной величины отрицательных аномалий температуры (до $-(4-5)^{\circ}\text{C}$). Эти результаты подтверждают гипотезу о возможном влиянии событий ИД на климат Европы.

В данной работе будет оценено влияние ИД на межгодовую изменчивость ПТВ в Африканско-Европейском регионе. Расширение (по сравнению с [19–22]) исследуемой области за счет добав-

ления к ней Северной Африки связано с тем обстоятельством, что наличие значимого сигнала ИД в Европейском регионе в летне-осенние месяцы может быть обусловлено изменением интенсивности конвективных процессов над Северной Африкой. А это изменение сопровождается вариациями меридиональных переносов африканских воздушных масс на территорию Европы в разные фазы ИД. Этот механизм уже был частично подтвержден исследованиями, выполненными в работе [22], и данными оптических наблюдений по переносу пылевых аэрозолей из пустыни Сахара в Европейский регион [23]. В настоящей работе он будет изучен более подробно.

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 1968–2022 гг. по ПТВ с месячным разрешением в узлах регулярной сетки $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$. Исследовалась область, ограниченная координатами 0° – 55° с.ш. и 10° з.д. – 50° в.д., которую в дальнейшем мы будем называть Африканско-Европейским регионом (рис. 1).

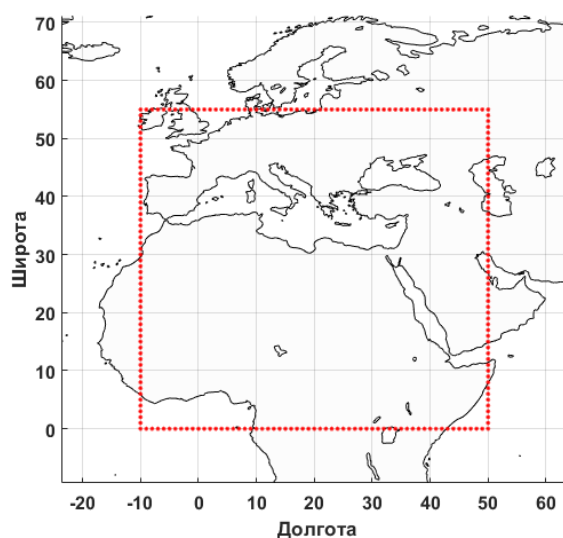


Рис. 1. Область с координатами 0° – 55° с.ш. и 10° з.д. – 50° в.д., для которой проводился анализ данных ре-анализа ERA5 по приземной температуре воздуха

Fig. 1. Area with coordinates of 0° – 55°N , 10°W – 50°E for which ERA5 re-analysis data about surface air temperature was used

Полученные временные ряды ПТВ для летне-осенних месяцев сравнивались с климатическим индексом DMI (Dipole mode index), который обычно используется в качестве количественной характеристики ИД. Этот индекс представляет собой нормированную разность аномалий температуры поверхности океана 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 [24]. Для анализа пространственно-временной изменчивости полей ПТВ использовался традиционный и хорошо апробированный метод ЭОФ. С помощью разложения ежемесячных полей ПТВ на ЭОФ были получены первые четыре пространственные эмпирические моды ПТВ, вносящие максимальный вклад в дисперсию, и соответствующий каждой моде временной коэффициент. Средний индекс ИД и коэффициенты разложения на ЭОФ под-

вергались взаимному статистическому анализу, в ходе которого рассчитывались коэффициенты корреляции между ними.

Результаты и их обсуждение. В табл. 1 представлено распределение процентного вклада первых четырех эмпирических мод поля ПТВ в общую дисперсию за период 1968–2022 гг. с июня по ноябрь. Если просуммировать величины вклада этих мод для каждого месяца, становится ясно, что в указанный период года первые четыре моды ответственны в среднем за 58% дисперсии суммарной пространственно-временной изменчивости ПТВ. Максимум дисперсии, приходящейся на первые 4 моды (~61%), наблюдается в октябре-ноябре. Минимум (53,4%) – в июле. Значения процентных вкладов из табл. 1 впоследствии использовались для количественного анализа влияния ИД на климатическую изменчивость в Африканско-Европейском регионе.

Таблица 1. Распределение процентного вклада первых четырех эмпирических мод поля ПТВ в общую дисперсию

Месяцы	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
1 мода	25,8	19,4	21,6	27,8	26,1	31,5
2 мода	12,3	15,8	16,0	15,4	18,2	12,7
3 мода	11,0	10,1	9,5	8,4	10,2	9,7
4 мода	8,2	8,1	8,4	6,4	6,6	7,0
Сумма	57,3	53,4	55,5	58,0	61,1	60,9

Для описания влияния ИД на климатическую изменчивость, исследуемой в работе области, обратимся к результатам, представленным в табл. 2 и на рис. 2. Из табл. 2 видно, что ИД статистически значимо влияет на первую моду ПТВ в июне – октябре и на третью моду в ноябре. Начиная с июня корреляция временного коэффициента первой моды с индексом ИД растет (по абсолютному значению) и достигает максимума (–0,46) в сентябре. В октябре она близка к значению за предыдущий месяц, но при этом меняет знак с «минуса» на «плюс». Можно сделать вывод, что в Африканско-Европейском регионе

наиболее значимое влияние ИД на приземную температуру воздуха обнаруживается в конце лета и начале осени, что совпадает с результатами работы [21]. Рис. 2 и табл. 2 демонстрируют, что в июне в положительную фазу ИД в северо-западной части Африки (к западу от примерно 10° в.д.) формируются отрицательные аномалии ПТВ, а с 10° в.д. по 25° в.д. (т.е., на северо-востоке Африки) возникают положительные аномалии температуры. При этом Европейский регион в этот месяц характеризуется в основном отрицательными аномалиями температуры (за исключением северной части региона).

Таблица 2. Распределение коэффициентов корреляций между временными коэффициентами первых четырех эмпирических мод поля ПТВ и индексом ИД для летних и осенних месяцев за 1968–2022 гг. Знаком (*) отмечены коэффициенты корреляции, значимые на доверительном уровне 95%

Месяцы	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
1 мода	-0,27*	-0,30*	-0,32*	-0,46*	0,42*	0,16
2 мода	-0,09	-0,25	-0,08	-0,17	-0,07	-0,09
3 мода	0,06	-0,25	0,15	0,06	-0,07	-0,35*
4 мода	0,22	0,03	-0,06	-0,11	-0,10	-0,25

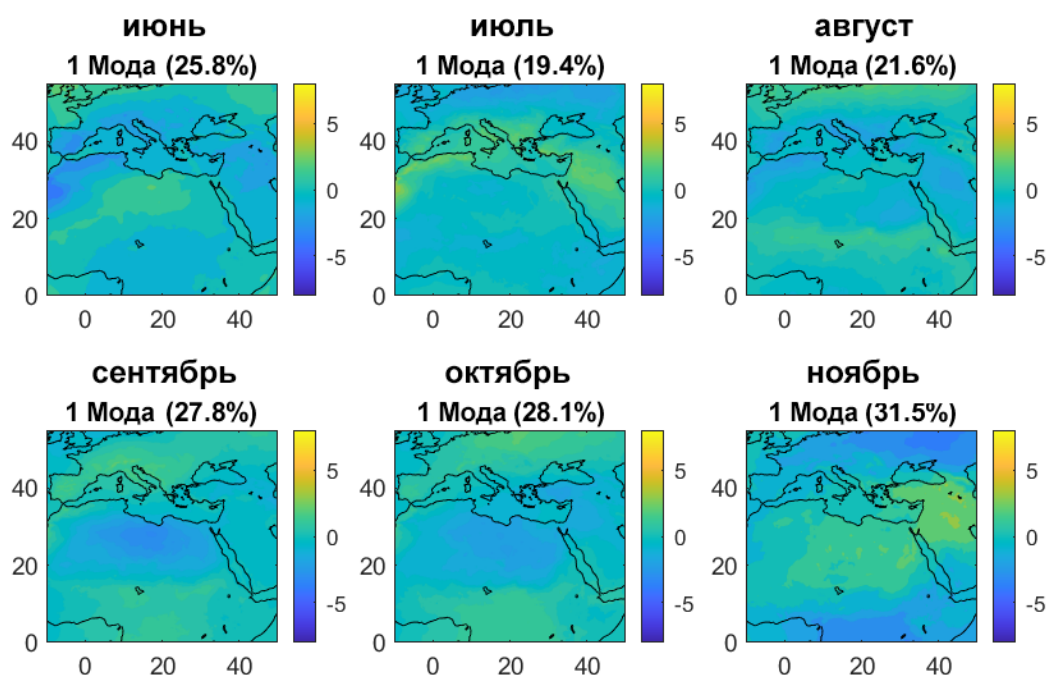


Рис. 2. Пространственная структура первой моды ЭОФ поля ПТВ за июнь – ноябрь 1968–2022 гг.

Fig. 2. Spatial structure of the first EOF mode of the surface air temperature for June – November 1968–2022

Из рис. 2 также видно, что в июле в южной части Европы (примерно, между 40° с.ш. и 50° с.ш.) формируется область положительных аномалий ПТВ, которая к августу смещается на север Европы, а с сентября по октябрь устанавливается над всем Европейским регионом. В связи с удаленностью ИО от исследуемого региона, влияние ИД скорее всего сводится к следующему механизму: в положительную фазу ИД на западе ИО возникает область повышенной конвекции, из которой распространяются волны Россби, которые, в свою очередь, вызывают из-

менение гидрометеорологических параметров значительно западнее района генерации.

Иными словами, с началом событий ИД во время развития циклонической активности на северо-западе Африки, восточнее от этого района возможно образование области повышенного давления (т.е., антициклона), что может вызвать меридиональный перенос теплых африканских воздушных масс (включая и пылевые аэрозоли из пустыни Сахара) в сторону Европы.

Пользуясь результатами, представленными в табл. 1, 2, можно рассчитать вклад ИД в пространственно-временную изменчивость исходных полей температуры исследуемого региона. Соответствующие доли дисперсии, обусловленные ИД, приведены в табл. 3. Видно, что максимальный вклад ИД в изменчивость поля ПТВ приходится на осенние месяцы, а именно на сентябрь–октябрь и составляет около 13%.

Несмотря на то, что величина суммарного вклада ИД в общую дисперсию поля ПТВ на протяжении значительной части года относительно невелика, полученные результаты дают возможность углубить понимание того, как Индий-

ский океан влияет на климатическую изменчивость Африканско-Европейского региона.

Кроме того, следует отметить, что расширение исследуемой области за счет включения в нее Северной Африки показало наличие значимого влияния ИД в осенние месяцы, а также продемонстрировало увеличение коэффициента корреляции по сравнению с работой [19], в которой исследуемая область была ограничена Средиземноморско-Черноморским регионом, а максимальный (по абсолютному значению) коэффициент корреляции индекса ИД с первой модой ПТВ составлял $-0,30$.

Таблица 3. Вклад (%) ИД в общую дисперсию исходных полей ПТВ для летних и осенних месяцев за 1968–2022 гг.

Месяцы	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
1 мода	7,04	5,89	6,90	12,89	11,05	5,20
2 мода	1,12	3,92	1,31	2,66	1,36	0,59
3 мода	0,63	2,55	1,43	0,49	0,66	3,36
4 мода	1,81	0,28	0,50	0,68	0,66	1,77

Заключение. Таким образом, выделен статистически значимый сигнал в поле приземной температуры над Африканско-Европейским регионом в летне-осенний период, связанный с ИД. Это явление значимо влияет на первую эмпирическую моду поля ЭОФ в поле ПТВ с июня по октябрь с максимальным (по модулю) значением коэффициента корреляции ($-0,46$ в октябре) и вносит соответственно $\sim 13\%$ в общую дисперсию ПТВ.

Влияние ИД на климатическую изменчивость исследуемого региона, скорее всего, сводится к возбуждению возмущений над Индийским океаном, а затем распространению их в атмосфере в период зрелой фазы осцилляции. Как показано в многочисленных работах (например, [25, 26]), этот механизм эф-

фективно реализуется при развитии термической аномалии в Тихом океане в период зрелой фазы ЭНЮК. Кроме того, продемонстрировано, что изменчивость метеорологических параметров в Северо-Африканском регионе, в летне-осенний период, может оказывать влияние на климат Европы, вероятней всего, через меридиональный перенос воздушных масс во время явления ИД.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПТС по теме «Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость природной среды глобального и регионального масштабов (№ госрегистрации 121122300074-7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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
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. The Indian Ocean Dipole // *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, 2018.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Basharin D., Stankūnavičius G. European precipitation response to Indian ocean dipole events // *Atmospheric Research*. 2022. Vol. 273. P. 106142.
9. 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.
10. Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Современная классификация Эль-Ниньо и сопоставление соответствующих климатических откликов в Атлантико-Евразийском регионе // *Системы контроля окружающей среды*. 2017. № 1 (27). С. 94–100.
11. Schär C., Jendritzky G. Hot news from summer 2003 // *Nature*. 2004. Vol. 432. P. 559–560.
12. Stott P.A., Stone D.A., Allen M.R. Human contribution to the European heat-wave of 2003 // *Nature*. 2004. Vol. 432. P. 610–614.
13. Black E., Blackburn M., Harrison G. Factors contributing to the summer 2003 European heatwave // *Weather*. 2004. Vol. 59 (8). P. 217–223.
14. Benítez A.S., Goessling H., Pithan F. The July 2019 European Heat Wave in a Warmer Climate: Storyline Scenarios with a Coupled Model Using Spectral Nudging // *Journal of Climate*. 2022. Vol. 35 (8). P. 1–51.
15. Sousa P.M., Barriopedro D., Ramos A.M., Garcia-Herrera R., Espirito-Santo F., Trigo R.M. Saharan air intrusions as a relevant mechanism for Iberian heat-waves: The record breaking events of August 2018 and June 2019 // *Weather and Climate Extremes*. 2019. Vol. 26. P. 100224.
16. Ferranti L., Viterbo P. The European summer of 2003: Sensitivity to soil water initial conditions // *Journal of Climate*. 2006. Vol. 19 (15). P. 3659–3680.
17. Luterbacher J., Dietrich D. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500 // *Science*. 2004. Vol. 303 (5663). P. 1499–1503.
18. Struzewska J., Kaminski J.V. Formation and transport of photooxidants over Europe during the July 2006 heat wave - Observations and GEM-AQ model simulations // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008. Vol. 8 (3). P. 721–736.
19. Полонский А.Б., Торбинский А.В., Башарин Д.В. Влияние Северо-Атлантического колебания, Эль-Ниньо – Южного колебания и Индоокеанского диполя на пространственно-временную изменчивость приземной температуры воздуха и атмосферного давления Средиземноморско-Черноморского региона // *Вестник Одесского государственного экологического университета*. 2008. № 6. С. 181–197.

20. 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.

21. Полонский А.Б., Торбинский А.В. Оценка влияния Индоокеанского диполя на летние стоки р. Дунай // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 4 (34). С. 89–93.

22. 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.

23. Merdji A.B., Lu C., Xu X., Mhawish A. Long-term three-dimensional distribution and transport of Saharan dust: Observation from CALIPSO, MODIS, and reanalysis data // Atmospheric Res. 2023. Vol. 286. No. 1. P.106658.

24. Электронный ресурс: https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/dmi.had.long.data (дата обращения: 01.02.2023).

25. Bjerknes J.A. Large-scale disturbance of the atmospheric circulation presumably originating from the equatorial Pacific. М.: Наука, 1969. С. 257–260.

26. Bulić I.H., Kucharski F. Delayed ENSO Impact on Spring Precipitation over North/Atlantic European Region // Climate Dynamics. 2012. Vol. 38 (11-12). P. 2593–2612.

INFLUENCE OF THE INDIAN OCEAN DIPOLE ON SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF SURFACE AIR TEMPERATURE OVER THE TERRITORY OF EUROPE AND NORTH AFRICA

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

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

E-mail: uzundja@mail.ru

The aim of this work is to study the influence of the Indian Ocean Dipole (IOD) on the spatial and temporal variability of surface air temperature (SAT) in the African-European region. ERA5 atmospheric reanalysis on monthly mean surface air temperature values, as well as the IOD index for the period 1968–2022, were used. The IOD manifests itself to the maximum in the structure of the first EOF (empirically orthogonal function) mode of the SAT field from June to October and is responsible for 13% of the total SAT dispersion.

Keywords: Indian Ocean Dipole, surface air temperature anomalies, surface pressure anomalies, African-European region.

REFERENCES

1. 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.
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. The Indian Ocean Dipole. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, 2018.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.

8. *Basharin D. and Stankūnavičius G.* European precipitation response to Indian ocean dipole events. *Atmospheric Research*, 2022, Vol. 273, P. 106142.
9. *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.
10. *Lubkov A.S., Voskresenskaya E.N., and Marchukova O.V.* Sovremennaya klassifikaciya El-Nino i sopostavlenie sootvetstvuyushchih klimaticheskikh otklikov v Atlantiko-Evrazijskom regione (Recent El-Nino classification and associated climate response comparisons for the Atlantic-Eurasian region). *Sistemy kontrolja okruzhayshej sredy*, 2017, No. 1 (27), pp. 94–100.
11. *Schär C. and Jendritzky G.* Hot news from summer 2003. *Nature*, 2004, Vol. 432, pp. 559–560.
12. *Stott P.A., Stone D.A., and Allen M.R.* Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 2004, Vol. 432, pp. 610–614.
13. *Black E., Blackburn M., and Harrison G.* Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. *Weather*, 2004, Vol. 59 (8), pp. 217–223.
14. *Benítez A.S., Goessling H., and Pithan F.* The July 2019 European Heat Wave in a Warmer Climate: Storyline Scenarios with a Coupled Model Using Spectral Nudging. *Journal of Climate*, 2022, Vol. 35 (8), pp. 1–51.
15. *Sousa P.M., Barriopedro D., Ramos A.M., Garcia-Herrera R., Espirito-Santo F., and Trigo R.M.* Saharan air intrusions as a relevant mechanism for Iberian heatwaves: The record breaking events of August 2018 and June 2019. *Weather and Climate Extremes*, 2019, Vol. 26, P. 100224.
16. *Ferranti L. and Viterbo P.* The European summer of 2003: Sensitivity to soil water initial conditions. *Journal of Climate*, 2006, Vol. 19 (15), pp. 3659–3680.
17. *Luterbacher J. and Dietrich D.* European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science*, 2004, Vol. 303 (5663), pp. 1499–1503.
18. *Struzewska J. and Kaminski J.V.* Formation and transport of photooxidants over Europe during the July 2006 heat wave - Observations and GEM-AQ model simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, Vol. 8 (3), pp. 721–736.
19. *Polonskiy A.B., Torbinskiy A.V., and Basharin D.V.* Vliyanie Severo-Atlanticheskogo kolebaniya, El-Nino — Yuzhnogo kolebaniya i Indookeanskogo dipolya na prostranstvenno-vremennuyu izmenchivost prizemnoy temperaturi vozduha i atmosfernogo davleniya Sredizemnomorsko-Chernomorskogo regiona (The influence of North Atlantic oscillation, El-Nino/Southern oscillation and Indian dipole on spatial-temporal variability of the surface air temperature and pressure over Mediterranean-Black Sea region). *Vestnik Odesskogo gosudarstvennogo ekologicheskogo universiteta*, 2008, No. 6, pp. 181–197.
20. *Polonskiy A.B.* Otklik v poljah prizemnoy temperaturi vozduha, davleniya i osadkov Yevsponse of the Eurasian surface temperature, pressure and precipitation on the Indo-ocean dipole). *Sistemy kontrolja okruzhayshej sredy*, 2raziyskogo regiona na anomalii temperaturi poverhnosti okeana, svyazanie s Indookeanskim dipole (Re018, No. 1 (31), pp. 83–89.
21. *Polonskiy A.B. and Torbinskiy A.V.* Otsenka vliyanija Indookeanskogo dipolja na letnie stoki r. Dunay (Evaluation of the influence of the Indian ocean dipole on the run off of the river Danub). *Sistemy kontrolja okruzhayshej sredy*, 2018, No. 4 (34), pp. 89–93.
22. *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.
23. *Merdji A.B., Lu C., Xu X., and Mhawish A.* Long-term three-dimensional distribution and transport of Saharan dust: Observation from CALIPSO, MODIS, and reanalysis data. *Atmospheric Res*, 2023, Vol. 286, No. 1, P.106658.
24. https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/dmi.had.long.data (February 01, 2023).
25. *Bjerknes J.* A Large-scale disturbance of the atmospheric circulation presumably originating from the equatorial Pacific. *Nauka*, 1969, pp. 257–260.
26. *Bulić I.H. and Kucharski F.* Delayed ENSO Impact on Spring Precipitation over North/Atlantic European Region. *Climate Dynamics*, 2012, No. 7 (11–12), pp. 2593–2612.