УДК 551.513.7

ОТКЛИК В ПОЛЯХ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЕВРОПЕЙСКОГО РЕГИОНА НА ИНДООКЕАНСКИЙ ДИПОЛЬ

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

Институт природно-технических систем РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28 *E-mail: apolonsky5@mail.ru*

Целью настоящей работы является исследование влияния независимых от Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК) событий Индоокеанского диполя (ИД) на пространственно-временную изменчивость приземной температуры воздуха (ПТВ) Европейского региона. Привлекались данные атмосферного ре-анализа ERA5 о среднемесячных значениях ПТВ, а также индексы ИД и ЭНЮК за период 1959 – 2020 гг. Установлено, что при развитии положительной фазы интенсивных событий ИД обширные положительные аномалии температуры над Европой достигают +(3–4)°С. В отрицательную фазу ИД, наоборот, над большей частью Европейского региона наблюдается рост абсолютной величины отрицательных аномалий ПТВ (до –(4–5)°С).

Ключевые слова: Индоокеанский диполь, Эль-Ниньо – Южное колебание, аномалии приземной температуры воздуха, Европейский регион.

Поступила в редакцию: 21.11.2022. После доработки: 05.12.2022.

Введение. Индоокеанский диполь (ИД) – один из основных естественных источников климатической изменчивости в системе «океан-атмосфера» межгодового масштаба. Это явление представляет собой одну из основных мод, характеризующих межгодовую изменчивость крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в экваториально-тропической зоне Мирового океана [1]. События ИД проявляются в виде противофазных межгодовых колебаний характеристик взаимодействия океана и атмосферы в западной и восточной частях экваториально-тропической зоны Индийского океана [2]. Изменчивость в системе «океан-атмосфера», связанная с событиями ИД, оказывает существенное влияние на климат в прилегающих к Индийскому океану районах. Оно обычно проявляется в виде аномального переноса влаги и выражается в виде обильных осадков или, наоборот, аномальных заcyx [3–6].

Что касается влияния ИД на климат Европы, то оно мало изучено, но в последнее время обращает на себя все более пристальное внимание со стороны научного сообщества. Рост интереса к

исследованию этого вопроса, в первую очередь, вызван аномальным изменением метеорологических параметров над Европой в начале 2000-х гг. Пример аномальных событии такого типа был, в частности, представлен в работах [7-9], в которых описывается необычно жаркое и сухое лето 2003 г., когда средняя аномалия температуры в регионе достигла 3-5°С в сравнении с нормой за 1961-1990 гг. Это явление получило название «heat wave» (тепловая волна). Во время первой такой «тепловой волны» в мае 2003 г. в Центральной и Южной Европе среднемесячная температура поднялась до 30°С [10], что, согласно оценкам авторов работы [11], произошло первый раз за последние 500 лет. Летом 2006 г. во время второй «тепловой волны» новые температурные рекорды были зарегистрированы по всей территории Европы [12]. Например, во Франции, в Париже и Ницце впервые за весь период наблюдений для июля была зафиксирована температура 37°С, а в Нидерландах август охарактеризовался аномальным (до 200мм) количеством осадков. Следом, за «тепловыми волнами» 2003 г. и 2006 г. последовали аналогичные события в 2015, 2017 и 2019 гг., которые имели катастрофические социальноэкономические последствия [13].

Известно, что в зимний период аногидрометеорологических мальность условий над Европейским регионом в значительной степени обусловлена Североатлантическим колебанием (САК) [14] и Эль-Ниньо Южным колебанием (ЭНЮК) [15]. Но это влияние не объясняет аномалии температуры и других гидрометеорологических параметров в летние месяцы. Можно предположить, что летом изменчивость полей температуры над Европой объясняется событиями других осцилляций, включая ИД. В связи с удаленностью Индоокеанского региона, одним из наиболее вероятных механизмов влияния ИД может быть воздействие экваториального океана на внетропические атмосферные процессы посредством распространения возмущений (в виде волн Россби или аномальной вихревой активности) из зоны повышенной конвекции, возникающей во время положительной фазы ИД над Северной Африкой. Вследствие этого, можно ожидать, что ИД аналогично другим глобальным модам может не только влиять на климатическую изменчивость экваториально-тропической зоны, но и частично определять изменчивость климатических характеристик Европейского и Средиземноморско-Черноморского peгионов.

Ранее в работе [16] была произведена оценка влияния ИД на пространственновременную изменчивость приземной температуры воздуха (ПТВ) и поля атмосферного давления (ПД) Средиземноморско-Черноморского региона. Обнаружено, что наибольшие (по абсолютной величине) значения коэффициентов корреляции между индексом ИД, ПТВ и ПД достигают -0,30 (для ПТВ) и -0,49 (для ПД) и приходятся на период максимального развития ИД летом Северного полушария. Позднее на основании анализа серии специализированных численных экспериментов в работе [17] было обнаружено следующее: при отрицательной фазе ИД в летний период формируется обширная область повышенных осадков в Центральной и Восточной Европе - к западу и северо-западу от Черного моря, с максимальными значениями аномалий над площадью водосбора р. Дунай. Позже этот результат был подтвержден с помощью данных наблюдений над изменчивостью расходов этой реки [18].

В данной работе будет произведена оценка влияния независимых от ЭНЮК событий ИД на межгодовую изменчивость ПТВ в Европейском регионе, в том числе в годы, в которые регистрировались «тепловые волны». Это позволит подтвердить наличие значимого влияния ИД на аномалии ПТВ в Западной, Центральной и Восточной Европе.

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 1959–2020 гг. по ПТВ с месячным разрешением в узлах регулярной сетки 0,25° на 0,25°.

Исследовалась область, ограниченная координатами 30°-72° с.ш. и 10° з.д. – 42° в.д., которую в дальнейшем мы будем называть Европейским регионом (рис. 1). Полученные временные ряды ПТВ 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 восточной (90°-110° в.д., 0°-10° ю.ш.) частями экваториальной зоны Индийского океана [19]. В первую очередь, были выделены годы наиболее «сильных» событий ИД. Последние выделялись по следующему критерию: в году должно быть не менее трех месяцев с значением DMI не менее 0,4 по модулю.

Далее, по тому же принципу, с помощью индекса Niño 3.4 были выделены все «сильные» события ЭНЮК, с той разницей, что величина индекса для такого события не должна быть ниже 1 по абсолютному значению. Индекс Niño 3.4 определялся на основе аномалий темпе-

ратуры поверхности океана (ТПО) относительно среднемноголетней ТПО в регионе, расположенном на экваторе в центральной (5° с. ш. –5° ю. ш., 120– 170° з. д.) части Тихого океана [20].



Рис. 1. Область с координатами 30°-72° с.ш. и 10° з.д. – 42° в.д., для которой проводился анализ данных pe-анализа ERA5 по приземной температуре воздуха Fig. 1. Area with coordinates of 30° – 72°N, 10°W – 42°E where re-analysis ERA5 data concerning surface air temperature were used

Годы «сильных» событий ИД были разделены на те, во время которых: отсутствовали «сильные» события ЭНЮК; присутствовали «сильные» события Ла Ниньо; присутствовали «сильные» события Эль-Ниньо. Годы ИД, для которых отсутствовали «сильные» события ЭНЮК, далее в работе будут обозначаться как независимые события ИД. Для временного ряда DMI за период 1959 – 2020 гг., для каждого месяца вычислялось среднеквадратическое отклонение (σ) и дисперсия (σ^2).

Для лет, во время которых отсутствовали значимые тихоокеанские проявления, были отобраны годы, в которых значение модуля индекса ИД превышало $0,4\sigma$. Для полученных выборок, соответствующих положительной и отрицательной фазе ИД, строились средние по выборке поля аномалий ПТВ и разностный композит, как разность между ними.

Результаты и их обсуждение. В табл. 1 представлены все случаи возник-

новения наиболее «сильных» событий ИД за период 1959-2020 гг., как совпадающие, так и не совпадающие с «сильными» событиями ЭНЮК. Показано, что 18 из 29 событий ИД (т.е. более 60%) возникали в отсутствии значимых тихоокеанских проявлений, что совпадает с выводами работы [21]. Причиной генерации ИД, независимого от ЭНЮК может быть спорадически возникающая в экваториально-тропической зоне Индийского океана неустойчивость системы зональных течений [22]. Следует отметить, что «тепловые волны», зарегистрированные в 2006, 2017, 2017 и 2019 гг., приходятся именно на годы ИД, во время которых индекс Niño 3.4 < 1. При этом, летом во время «heat wave» 2003 г. также наблюдался ИД в отсутствии «сильных» событий ЭНЮК, но с индексом DMI < 0,4. На рис. 2 изображено пространственное распределение аномалий ПТВ в месяцы максимального развития положительной фазы независимых от ЭНЮК «сильных» событий ИД, в том числе во время «тепловых волн» 2006, 2017 и 2019 гг.

Можно заметить, что над западной и центральной частью Европы (а для мощного ИД 2019 года, когда DMI превысил 1,1, и в ее восточной части) положительные аномалии ПТВ достигают значений в 3–4°С. Ввиду отсутствия в эти месяцы значимых событий ЭНЮК, можно сделать вывод, что за рост величин аномалий ПТВ в летне-осенний период с некоторой вероятностью (которая будет оценена ниже) ответственны именно процессы в экваториально-тропической зоне Индийского океана, т.е. события ИД.

Таблица 1. Годы «сильных» (когда наблюдалось не менее 3 месяцев с индексом DMI ≥ 0,4 по абсолютной величине) событий ИД во время которых: черным – отсутствовали «сильные» события ЭНЮК; зеленым – присутствовали «сильные» события Ла Ниньо; красным – присутствовали «сильные» события Эль-Ниньо (т.е. когда повторялось не менее 3 месяцев, в течение которых индекс Niño 3.4 был ≥ 1).

Годы ИД	1959	1960	1964	1971	1973	1974	1978	1980
(негативная фаза)	1981	1983	1985	1989	1996	1998	2016	
Годы ИД	1961	1962	1963	1972	1982	1983	1994	1997
(позитивная фаза)	2006	2011	2012	2015	2017	2018	2019	

Аномалии ПТВ (С) за Август 1994 г.



Аномалии ПТВ (С) за Май 2017 г.



Аномалии ПТВ (С) за Октябрь 2006 г.



Аномалии ПТВ (С) за Октябрь 2019 г.



Рис. 2. Аномалии приземной температуры воздуха за период 1959–2020 гг. в месяцы максимального развития положительной фазы независимых от ЭНЮК событий ИД 1994, 2006, 2017, 2019 гг.

Fig. 2. Surface air temperature anomalies for the period 1959–2020 in the months of maximum development of positive IOD events 1994, 2006, 2017, 2019 independent of ENSO На рис. З изображено пространственное распределение аномалий ПТВ в месяцы максимального развития отрицательной фазы независимых от ЭНЮК, «сильных» событий ИД 1959, 1980, 1981 и 1996 годов. В отличие от положительной фазы ИД эти годы, наоборот, характеризуются ростом (по абсолютной величине) отрицательных аномалий ПТВ почти над всем исследуемым регионом. Наиболее интенсивные аномалии (до –(4–5)°С) отмечены на востоке региона, что совпадает с результатами работ [16, 17]. Исключение составляет север Европы, где наоборот наблюдается увеличение положительных аномалий до 2–3°С. Следует отметить, что с увеличением DMI по абсолютному значению область положительных аномалий увеличивается. Этот результат говорит о том, что аномалии ТПО в период негативной фазы ИД могут не менее значимо влиять на климатические аномалии над Европой, чем в период позитивной фазы.



Рис. 3. Аномалии приземной температуры воздуха за период 1959–2020 гг. в месяцы максимального развития отрицательной фазы независимых от ЭНЮК событий ИД 1959, 1980, 1981, 1996 гг.
Fig. 3. Surface air temperature anomalies for the period 1959–2020 in the months of maximum development of negative IOD events 1959, 1980, 1981, 1996 independent of ENSO

Для оценки вероятности реальности приведенных выше результатов обратимся к разностным композитам между выборками аномалий ПТВ, соответствующих положительной и отрицательной фазам ИД (для лет, когда отсутствовали сильные тихоокеанские проявления, и значение модуля DMI превышало 0,4 σ). Часть разностных композитов для отдельных месяцев приведена на рис. 4.

Наиболее значимые обширные аномалии ПТВ наблюдаются в период максимального развития ИД над западной, центральной и восточной частями Европы между июнем и сентябрем. Можно отметить, что в июне значимый сигнал обнаруживается и в южной части исследуемой области. Он еще более выражен в мае (рисунок для мая не приведен, т.к. выборка для этого месяца содержит всего три события ИД в положительной фазе, удовлетворяющих выбранным критериям). Это подтверждает положительную связь между конвективными процессами над Северной Африкой, возникающими во время положительной фазы ИД, и аномалиями ПТВ над Европейским регионом. Над Скандинавией преобладают небольшие по абсолютной величине и незначимые аномалии противоположного знака. К сентябрю область значимых аномалий ПТВ расширяется в восточном направлении, сокращаясь при этом на западе.

Необходимо отметить увеличение уровня значимости выделенного сигнала от поздней весны к началу осени, когда ПТВ над большей частью Центральной и Восточной Европы характеризуется значимым на 95% уровне откликом на ИД. В октябре в полях разностного композита ПТВ количество точек регулярной сетки, в которых результат статистически значим, резко уменьшается над Европейским континентом между 15° и 35° в.д.

При этом их количество увеличивается в окрестности 50°– 55° с. ш., и 35°– 40° в.д. (рисунок для октября не приведен). Другими словами, в октябре продолжается смещение области значимых аномалий ПТВ, индуцируемых событиями ИД, в восточном направлении.



Рис. 4. Разностный композит между аномалиями ПТВ, соответствующими положительной (+) и отрицательной (-) фазам ИД (для лет, когда отсутствовали значимые тихоокеанские проявления, в которых значение модуля DMI превышало $0,4\sigma$) и полем аномалий ПТВ. Черными точками обозначены области, где результат значим на уровне 90%, красными точками - на 95% уровне **Fig. 4.** Composite between the anomalies of surface air temperature corresponding to the positive (+) and negative (-) phases of the IOD (for years during which there were no significant Pacific events, where the DMI module value exceeded 0.4σ) and the field anomalies of surface air temperature. Black points of the area where the result is significant at the 90% level, red points - at the 95% level

Заключение. Таким образом, выделен статистически значимый сигнал в поле приземной температуры над Европейским регионом в летне-осенний период, связанный с ИД. Установлено, что в месяцы развития сильных положительных событий ИД (с индексом DMI $\ge 0,4$ по абсолютному значению) положительные аномалии температуры достигают +(3–4)°С в том числе и в годы «тепловых волн». В отрицательную фазу ИД, наоборот, наблюдается рост величин от-

рицательных аномалий температуры (до -(4-5)°С) над всей территорией Европейского региона, за исключением его северной части, где обнаружены положительные аномалии. Влияние ИД на климатическую изменчивость исследуемого региона, скорее всего, сводится к возбуждению атмосферных возмущений над Индийским океаном в период зрелой фазы осцилляции, и последующему их распространению на Атлантико-Европейский регион. Как показано в многочисленных работах (например, [22, 23]), этот механизм эффективно реализуется при развитии термической аномалии в Тихом океане в период зрелой фазы ЭНЮК.

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) и при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00183.

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. 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). P. 49–54.

4. 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). P. 61–65.

5. 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). P. 1–5.

6. 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.

7. *Schär C., Jendritzky G.* Hot news from summer 2003 // Nature. 2004. Vol. 432, P. 559–560.

8. *Stott P. A., Stone D. A., Allen M. R.* Human contribution to the European heatwave of 2003 // Nature. 2004. Vol. 432, P. 610–614.

9. Black E., Blackburn M., Harrison G. Factors contributing to the summer 2003 European heatwave // Weather. 2004. Vol. 59(8). P. 217–223.

10. *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.

11. Luterbacher J., Dietrich D. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500 // Science. 2004. Vol. 303 (5663). P. 1499–1503.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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. Вып. 1 (27). С. 94–100.

16. 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.

17. 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.

18. Полонский А.Б., Торбинский А.В. Оценка влияния Индоокеанского диполя на летние стоки р. Дунай // Системы контроля окружающей среды. 2018. Вып. 4 (34). С. 89– 93.

19. Электронныйресурс:https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/dmi.had.long.data(дата05.08.2022).

20. Электронныйресурс:https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.anom.data(дата обращения:05.08.2022).

21. *Rao S.A., Behera M., Masumoto Y., Yamagata T.* Subsurface interannual variability associated with the Indian Ocean Dipole // *Clivar Exchanges.* 2002. Vol. 7(1). P. 12–17.

22. *Polonsky A.B, Torbinsky A.V.* The IOD–ENSO Interaction: The Role of the Indian Ocean Current's System // Atmosphere. 2021. Vol. 12, No. 12. P.1662.

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

RESPONSE IN SURFACE AIR TEMPERATURE FIELDS OF EUROPE TO THE INDIAN OCEAN DIPOLE

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

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

The aim of this work is to study the influence of the Indian Ocean Dipole (IOD) events, which are independent of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on spatiotemporal variability of surface air temperature (SAT) in the European region. ERA5 atmospheric reanalysis data on monthly mean air surface temperature values, as well as IOD and ENSO indices for the period 1959–2020, were used. It has been found that during the development of the positive phase of intense IOD events, extensive positive temperature anomalies over Europe reach $+(3-4)^{\circ}$ C. On the contrary, in the negative phase of IOD, an increase in the absolute value of negative SAT anomalies (up to $-(4-5)^{\circ}$ C) is observed over the most part of the European region.

Keywords: Indian Ocean dipole, El Niño-Southern Oscillation, surface air temperature, 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. 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.

Monitoring systems of environment No 4 (50) 2022

4. *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.

5. 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).

6. 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), pp. 1–9.

7. Schär C., Jendritzky G. Hot news from summer 2003. Nature, 2004, Vol. 432, pp. 559–560.

8. Stott P. A., Stone D. A., Allen M. R. Human contribution to the European heatwave of 2003. Nature, 2004. Vol. 432, pp. 610–614.

9. Black E., Blackburn M., Harrison G. Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. Weather, 2004, Vol. 59 (8), pp. 217–223.

10. Ferranti L., Viterbo. P. The European summer of 2003: Sensitivity to soil water initial conditions. Journal of Climate, 2006, Vol. 19 (15), pp. 3659–3680.

11. Luterbacher J., Dietrich D. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. Science, 2004, Vol. 303 (5663), pp.1499–1503.

12. *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), pp. 721–736.

13. *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), pp. 1–51.

14. 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), pp.1775–1790.

15. Lubkov A.S., Voskresenskaya E.N., Marchukova O.V. Sovremennaya klassifikaciya El'-Nino i sopostavlenie sootvetstvuyushchih klimaticheskih 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.

16. Polonskiy A.B., Torbinskiy A.V., Basharin D.V. Vlijanie 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 spatialtemporal variability of the surface air temperature and pressure over Mediterranean-Black Sea region). *Vestnik Odesskogo gosudarstvennogo ekologicheskogo universiteta*, 2008, No. 6, pp.181–197.

17. *Polonskiy A.B.* Otklik v poljah prizemnoy temperaturi vozduha, davlenija i osadkov Yevraziyskogo regiona na anomalii temperaturi poverhnosti okeana, svyazannie s Indookeanskim dipole (Response of the Eurasian surface temperature, pressure and precipitation on the Indo-ocean dipole). *Sistemy kontrolja okruzhayshej sredy*, 2018, No. 1(31), pp. 83–89.

18. *Polonskiy A.B., 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.

19. https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/dmi.had.long.data (August 05, 2022).

20. https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.anom.data (August 05, 2022).

21. *Rao S.A., Behera M., Masumoto Y., Yamagata T.* Subsurface interannual variability associated with the Indian Ocean Dipole. *Clivar Exchanges*, 2002, No. 7(1), pp. 12–17.

22. Polonsky A.B, Torbinsky A.V. The IOD–ENSO Interaction: The Role of the Indian Ocean Current's System // Atmosphere. 2021. Vol. 12, No. 12. P.1662

23. Bulić I. H., Kucharski F. Delayed ENSO Impact on Spring Precipitation over North/Atlantic European Region. *Climate Dynamics*, 2012, No. 7(11–12), pp. 2593–2612.