

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНДООКЕАНСКОГО ДИПОЛЯ НА ЛЕТНИЕ СТОКИ Р. ДУНАЙ

А.Б. Полонский^{1,2}, А.В. Торбинский¹

¹ Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: uzundja@mail.ru

² Филиал МГУ в г. Севастополе, РФ, г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 7
E-mail: apolonsky5@mail.ru

Целью настоящей работы является проверка результатов проведенных ранее численных экспериментов, указывающих на значимое влияние Индоокеанского диполя (ИОД) на осадки над площадью водосбора р. Дунай в летний период. Поскольку расходы крупных рек с преимущественно дождевым питанием представляют собой интегральный показатель интенсивности осадков над их водосборами, нами произведена количественная оценка влияния ИОД на стоки р. Дунай. Для этого привлечены ряды среднемесячных значений расходов р. Дунай в летние месяцы за 1947 – 2001 гг. и индекса ИОД за тот же период. Подтверждено значимое влияние ИОД на летние стоки р. Дунай с максимальным (по абсолютной величине) коэффициентом корреляции в июне–июле (до –0,31 при анализе периода до зарегулирования стока).

Ключевые слова: Индоокеанский диполь, расходы р. Дунай, зарегулирование стока.

Поступила в редакцию: 22.08.2018. После доработки: 19.10.2018.

Введение. Индоокеанский диполь представляет собой одну из основных мод, характеризующих межгодовую изменчивость параметров крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в экваториальной зоне Мирового океана [1, 2]. Диполь проявляется в виде противофазных межгодовых колебаний характеристик взаимодействия океана и атмосферы в западной и восточной частях экваториальной зоны Индийского океана. Это явление в период одной из двух экстремальных фаз (а именно, положительной) характеризуется аномальным понижением температуры поверхности в юго-восточной части экваториальной зоны Индийского океана и ее повышением в западной части. При отрицательной фазе ИОД наблюдаются аномалии температуры поверхности океана противоположного знака. Кроме того, Индийский океан является одним из основных источников, снабжающих теплом южную часть Атлантического океана и, следовательно, процессы перераспре-

деления тепла внутри экваториально-тропической зоны Индийского океана представляют не только региональный интерес. Именно поэтому исследованию ИОД уделяется в последние годы значительное внимание.

ИОД – это не до конца изученная пространственно-временная структура в системе океан-атмосфера. Одни авторы считают, что Индоокеанский диполь представляет собой независимую моду экваториально-тропической системы [3]. В других работах это явление описывается как часть сложной интерактивной системы «Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) – Индоокеанский диполь», связанной через Индоокеанскую и Тихоокеанскую ячейки Уокера [4, 5]. Влияние ИОД на климат Европы мало изучено, но известно, что область с повышенной интенсивностью конвекции над Северной Африкой, сопровождаемая сильными восточными ветрами, которые возникают в тропической части Индийского океана, может захватывать также и южную часть Средиземноморско-Черноморского региона. Та-

ким образом, влияние ИОД на климатическую изменчивость Европы, скорее всего, сводится к возбуждению возмущений атмосферных полей над Индийским океаном в период зрелой фазы осцилляции и последующему распространению этих возмущений на Европейский регион. Как показано в нескольких работах, такой механизм эффективно реализуется при развитии термической аномалии в Тихом океане в период зрелой фазы ЭНЮК (см., например, [6]).

Ранее, в работе [7] нами была произведена оценка влияния ИОД на пространственно-временную изменчивость приземной температуры воздуха (ПТВ) и поля атмосферного давления (ПД) Средиземноморско-Черноморского региона и выяснено, что максимальные (по абсолютной величине) значения коэффициентов корреляции между индексом ИОД и временными коэффициентами соответствующих эмпирических ортогональных мод ($-0,30$ для ПТВ и $-0,49$ для ПД) приходятся на период максимального развития ИОД летом Северного полушария. Позднее на основании анализа серии специализированных численных экспериментов в работе [8] был получен следующий результат: при отрицательной фазе ИОД 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. В положительную фазу ИОД отмечались противоположные по знаку аномалии. В связи с этим можно предположить, что изменчивость величин расходов р. Дунай в летний период может зависеть от величины индекса ИОД. Поэтому в данной работе будет произведена количественная оценка влияния индекса ИОД на межгодовую изменчивость колебаний расходов Дуная в летние месяцы. Это позволит

подтвердить наличие значимого влияния ИОД не только на климатическую изменчивость экваториально-тропического региона, но и оценить его вклад в изменчивость климатических характеристик Центральной и Восточной Европы, а также Черноморского бассейна, поскольку доля стока р. Дунай в общем стоке рек, впадающих в Черное море, составляет около 60% [9].

Характеристика использованного материала. Методика обработки. В качестве исходных данных были использованы среднемесячные величины расходов р. Дунай и индексы ИОД за период 1947–2001 гг. В качестве индекса ИОД бралась нормированная разность аномалий температуры поверхности океана между западной ($50^\circ - 70^\circ$ в.д., 10° ю.ш. – 10° с.ш.) и юго-восточной ($90^\circ - 110^\circ$ в.д., $0^\circ - 10^\circ$ ю.ш.) частями экваториальной зоны Индийского океана. Положительные значения индекса характеризуют позитивную фазу ИОД, отрицательные значения – негативную фазу.

Для оценки влияния ИОД на величины расходов р. Дунай были рассчитаны коэффициенты корреляций между среднемесячными значениями расходов и индексов ИОД за периоды 1947–1964 гг., 1947–1971 гг. и 1947–2001 гг. для каждого из месяцев с мая по сентябрь. Этот период года соответствует времени максимального развития ИОД [7]. Следует отметить, что выбор исследуемых периодов обосновывался тем, что в 1964 году была заложена, а в мае 1972 г. открыта Джердапская ГЭС и началось искусственное зарегулирование стока реки [10]. По этой причине был выбран период до начала строительства ГЭС и период до ввода ее в эксплуатацию с целью исключить из исследуемых данных величины стока Дуная, подвергнутого антропогенному воздействию, включая зарегулирование. К сожалению, это существенно уменьшило длину ряда (особенно, для периода 1947–1964 гг.), но

зато позволило объективно оценить эффективность воздействия ИОД на расходы р. Дунай до начала зарегулирования стока.

Результаты и их обсуждение. Для оценки влияния ИОД на изменчивость гидрологического режима р. Дунай обратимся к табл. 1, в которой представлены коэффициенты корреляции между индексами ИОД и расходами реки за разные периоды для летних месяцев. Из таблицы видно, что ИОД влияет на величину расхода р. Дунай в июне–июле с максимальными (по абсолютной величине) значениями коэффициентов корреляции до -0.31 и -0.26 в июне (для периодов 1947–1964 и 1947–1971 гг., соответственно). Исходя из данных, приведенных в табл. 1, и того факта, что величина расходов р. Дунай связана с величиной осадков над площадью ее водосбора прямой зависимостью, можно заключить, что влияние ИОД значимо проявляется в структуре аномального поля осадков над площадью водосбора реки в период максимального развития ИОД.

Полученные отрицательные значения коэффициентов корреляции говорят о том, что отрицательная фаза ИОД способствует росту положительных аномалий осадков над площадью водосбора р. Дунай, а положительная фаза ИОД ведет к уменьшению количества осадков над этим водосбором. Это, в свою очередь, подтверждает выводы, полученные на основании анализа результатов численных экспериментов в работе [8].

Описанный результат хорошо иллюстрируется рис. 1, на котором изображены приведенные к одному порядку кривые индекса ИОД и величин расходов р. Дунай в июне за период 1947–2001 гг. Подчеркнем, что величины коэффициентов корреляции между индексом ИОД и расходами р. Дунай в

летние месяцы уменьшаются после начала строительства Джердапской ГЭС. Однако они остаются значимыми и в июне, и в июле.

Можно предположить, что описанный результат является следствием влияния на Центральную и Восточную Европу Азорского антициклона, который представляет собой устойчивую область высокого давления, располагающуюся в субтропических и северных тропических широтах Атлантического океана с центром вблизи Азорских островов. Воздействие Азорского антициклона на погоду в Европе в летние месяцы проявляется в форме отдельных тёплых антициклонов, которые при своём перемещении к востоку обуславливают периоды сухой и тёплой погоды не только в Южной, но и в Центральной и Восточной Европе. Причем, как следует из предыдущего анализа, эффективность этого воздействия в июне и июле существенным образом зависит от фазы ИОД. В связи с удаленностью Индоокеанского региона от исследуемой области, можно с уверенностью утверждать, что один из наиболее вероятных механизмов влияния ИОД на рассматриваемый регион является воздействие экваториального океана на внетропические процессы посредством распространения атмосферных возмущений в виде волн Россби из зоны повышенной конвекции, возникающей в период экстремальных фаз ИОД и сопутствующих аномалий в интенсивности летнего Азиатского муссона.

Следует заметить, что полученный в данной работе результат можно считать новым, так как влияние ИОД на аномальные осадки ранее подробно описывалось только для экваториально-тропической области в Индо-Тихоокеанском секторе Мирового океана и прилегающих материковых районах. Причем он подтверждает результаты численных экспериментов, описанных в работе [8].

Таблица 1. Синхронные коэффициенты корреляции r между среднемесячными величинами расходов р. Дунай и индексами ИОД с мая по август: r_{64} – коэффициенты корреляции за период 1947–1964 гг.; r_{71} – коэффициенты корреляции за период 1947–1971 гг.; r_{01} – коэффициенты корреляции за период 1947–2001 гг. Знаком (*) отмечены коэффициенты корреляции, значимые на доверительном уровне 90%, а (**) – значимые на доверительном уровне 75%

Коэффициент корреляции	Месяцы			
	Май	Июнь	Июль	Август
r_{64}	-0,25**	-0,31**	-0,24**	-0,22**
r_{71}	-0,04	-0,26*	-0,13**	-0,1
r_{01}	-0,03	-0,16*	-0,19*	-0,005

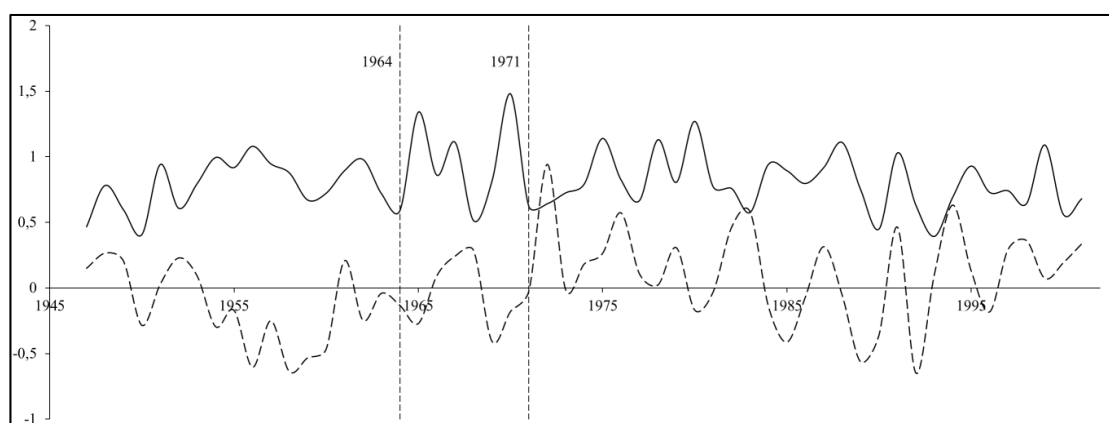


Рис. 1. Межгодовая изменчивость июньских расходов р. Дунай (в м³/сек, умноженные на 10⁻⁴, сплошная кривая) и индекса ИОД (штриховая кривая) в июне за период 1947–2001 гг. Вертикальными штриховыми линиями обозначены важные с точки зрения зарегулирования стока даты: год начала строительства Джердапской ГЭС (1964) и год, предшествующий году ввода её в эксплуатацию (1971)

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод о наличии статистически значимого сигнала, связанного с ИОД над площадью водосбора р. Дунай в летний период. Установлено, что максимальные (по абсолютной величине) коэффициенты корреляции между индексом ИОД и величинами среднемесячных расходов р. Дунай приходится на июнь–июль, когда они достигают (и даже превышают по абсолютной величине) $-0,3$ в период с 1947 г. и до начала строительства Джердапской ГЭС, которое привело к зарегулированию стока р. Дунай. Этот результат подтверждает выводы работы [8], полученные на основе анализа численных экспериментов с моделью общей циркуляции атмосферы с заданными аномалиями температуры поверхности океана в экваториальной зоне Индийского океана. Влияние ИОД на климатическую изменчивость исследуемого регио-

на, 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, этот механизм эффективно реализуется при развитии термической аномалии в Тихом океана в период зрелой фазы ЭНЮК [11–13]. Наши результаты подтверждают эффективность обсуждаемого механизма и в период экстремальных фаз ИОД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saji H.N., Goswami B.N., Vinayachandran P.N. A dipole mode in the tropical Indian Ocean // Nature. 1999. V. 401, P. 360–363.
2. Iizuka S., Matsuura T., Yamagata E. The Indian Ocean SST dipole simulated in

a general circulation model // *Geophysical Research Letters*. 2000. V. 27. P. 3369–3372.

3. Rao S.A., Behera S.K. Subsurface influence on SST in the tropical Indian Ocean: structure and interannual variability // *Dyn. Atmos. Ocean*. 2005. № 39. P. 103–135.

4. Ashok K., Guan Z., Yamagata T. A look at the relationship between the ENSO and the Indian Ocean Dipole // *J. Met. Soc. Japan*. 2003. V. 81, № 1. P. 41–56.

5. Behera S.K., Yamagata T. Influence of the Indian Ocean dipole on the Southern Oscillation // 2003. *Ibid.* P. 169–177.

6. Saji H.N., Jin D., Thilakan V. A model for super El Niños // *Nature Communications*. 2018. V. 9. P. 2528.

7. 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.

8. Полонский А.Б. Отклик в полях приземной температуры воздуха, давле-

ния и осадков Евразийского региона на аномалии температуры поверхности океана, связанные с Индоокеанским диполем // *Системы контроля окружающей среды*. Севастополь: ИПТС. 2018. № 11 (31). С. 83–89.

9. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР*. Т. 4: Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия // СПб: Гидрометеиздат, 1991. 469 с.

10. Новосельцев Б.С. Югославия, Румыния и строительство Джердапской ГЭС (середина 1950-х – начало 1960-х // *История, язык, культура Центральной и Юго-Восточной Европы в национальном и региональном контексте*. К 60-летию К.В. Никифорова. Сб. статей. М.: Институт славяноведения РАН. 2016. С. 266.

11. Bjerknes J. A Large-Scale Disturbance of the Atmospheric Circulation Presumably Originating from the Equatorial Pacific // In collected book: *Dynamics of Large-Scale Atmospheric Processes*, Moscow, Nauka. 1969. P. 257–260.

12. Полонский А.Б. Роль океана в изменениях климата // Киев: Наук. Думка. 2008. 184 с.

13. Bulic H.I., Kucharski F. Delayed ENSO Impact on Spring Precipitation over North/Atlantic European Region // *Climate Dynamics*. 2012. V. 38. P. 2593–2612.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE INDIAN OCEAN DIPOLE ON THE RUN OFF OF THE RIVER DANUB

Polonsky A.B.^{1,2}, Torbinskii A.V.¹

¹ Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

² Sevastopol Branch of MSU, Russian Federation, Sevastopol, Geroyev Sevastopolya St., 7

The purpose of this paper is to check the results of previous numerical experiments that point to the significant influence of the Indian Ocean dipole (IOD) on precipitation over the catchment area of the Danube River in summer. Since the discharge of large rivers with predominantly rainwater supply represents an integral indicator of the intensity of precipitation over their catchments, we carried out a quantitative assessment of the IOD effect on the Danube discharge. For this purpose, the time series of the average monthly values of the Danube discharge in summer (for the period 1947 – 2001's) and the IOD index for the same period have been used. A significant influence of IOD on summer runoff of the river was confirmed. The Danube discharges in June-July significantly correlate with the IOD index. The absolute value of correlation coefficient is at a maximum (up to –0.31) before the Danube runoff regulation.

Keywords: Indian Ocean dipole, monthly discharge of Danube, runoff regulation.