

## О глобальном характере явления Эль-Ниньо в климатической системе Земли

В.И. Бышев, В.Г. Нейман, Ю.А. Романов, И.В. Серых

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36  
E-mail: labbyshev@ocean.ru

На основе анализа вековых полей атмосферного давления на уровне моря и приповерхностной температуры выполнена идентификация эффекта Эль-Ниньо в Индийском океане. Данное явление обнаруживается в этом регионе в форме специфических аномалий в полях гидрофизических характеристик океана и гидрометеорологических параметров атмосферы, что наиболее заметно в периоды переходных состояний основного муссонного сигнала, когда он более всего соответствует фоновому (квазистационарному) типу. Одновременно с этим выявлены признаки того, что указанная перестройка гидрофизического режима северной части Индийского океана может происходить с фазовым опережением по сравнению с известными событиями в климатической подсистеме тихоокеанского региона (Серых, 2010).

Особое место в изучении Эль-Ниньо занимают наблюдения Земли из Космоса. Ряд характеристик системы океан-атмосфера, в изменчивости которых отражается весь цикл эволюции явления Эль-Ниньо, надежно определяется измерительной аппаратурой, размещенной на борту специализированных спутников. Весьма информативными в данном отношении оказались использованные в работе измерения уровня и температуры поверхности океана, влажности и облачности атмосферы, уходящей длинноволновой радиации и др. (<http://ecco.jpl.nasa.gov/external/>). Эти материалы послужили в качестве весьма важного дополнения к временным рядам традиционных гидрометеорологических наблюдений.

Результаты композиционного анализа возмущений глобальных полей гидрофизических и метеорологических характеристик во время событий Эль-Ниньо показали, что физический механизм этого природного явления имеет планетарный масштаб.

**Ключевые слова:** Эль-Ниньо, Южное Колебание, Ла-Нинья, атмосферное давление, температура, ветер, осадки, течения, циркуляция, аномалии, взаимодействие океана и атмосферы, базы данных, сезонный ход, временной и пространственный анализ гидрометеорологических полей.

### Введение

Крупномасштабные деформации поля атмосферного давления и сопровождающие их структурные изменения циркуляции атмосферы, эпизодически наблюдаемые в экваториально-тропическом поясе Земли (Петросянц и др., 2005; Бышев и др., 2009), отражаются на погодных условиях и климатических характеристиках не только этого региона, но и Планеты в целом (Bronnimann, 2007). К числу наиболее значительных возмущающих факторов такого рода относятся явления Эль-Ниньо, повышенный интерес к которым определяется глобальным масштабом отклика климатической системы на каждое из этих событий (Taylor et al., 1998; Бышев, 2003; Kumar et al., 2006). Природа данного феномена пока ещё до конца не изучена, и поэтому он остается в определенном смысле загадочным до настоящего времени.

Изучение Эль-Ниньо ведется по трем основным направлениям: экспериментальное (Anderson et al., 1998), теоретическое (Neelin et al., 1998; Halide, Ridd, 2008) и численное моделирование (Мохов и др., 2000; Power, Colman, 2006). Противоречивость некоторых результатов и выводов, полученных в ходе этих исследований (Fedorov, Philander, 2000; Kug,

Kang, 2006; Power, Smith, 2007), не внушая большого оптимизма, одновременно помогает очертить круг проблем, которые ждут своего решения в процессе дальнейших исследований явления Эль-Ниньо. Прежде всего, следует обратить внимание на два основных противоречия, возникших на этом направлении научных работ.

Первое из них связано с тем, что Эль-Ниньо, судя по известным к настоящему времени его проявлениям в климатической системе Земли, относится к разряду природных событий планетарного масштаба со всеми вытекающими отсюда сопутствующими последствиями. Тем не менее, до сих пор его все еще продолжают рассматривать в качестве явления, относящегося исключительно к бассейну Тихого океана, в пределах которого оно проявляется в наиболее контрастном виде (Семенов и др., 2007; Dijkstra, 2006). Даже в тех редких случаях, когда на фактор глобальности событий Эль-Ниньо все же обращается внимание (Груза и др., 1999) это делается лишь в контексте обсуждения опосредованного дальнего воздействия известного тихоокеанского феномена на отдельные звенья планетарной климатической системы.

Говоря о втором принципиальном противоречии, отметим, что в некоторых работах явления Эль-Ниньо квалифицируются как стохастические события (Neelin et al., 1998), хотя частотный спектр индекса Эль-Ниньо – Южного колебания свидетельствует о квазиклиническом характере событий Эль-Ниньо с периодом ~3,5 года (Сидоренков, 2002). Начальный импульс этих событий также неслучайным образом приурочен к глобальной сезонной перестройке планетарной атмосферной циркуляции в весенний и осенний переходные периоды. В это время климатическая система находится в квазиравновесном состоянии, которое, очевидно, неустойчиво и вследствие этого способствует возникновению данного явления. Таким образом, известные особенности явления Эль-Ниньо практически опровергают предположения о случайности этого процесса.

Основной целью настоящей работы в ее начале была попытка определить, в какой мере события Эль-Ниньо проявляются в индоокеанском регионе. Однако решение этой задачи в конечном итоге привело нас к выводу о том, что рассматриваемые события в физическом смысле являются общим явлением не только в рамках климатической системы Индопацифики, но, по-видимому, и для всей Планеты в целом.

## **Материалы наблюдений и их анализ**

Для диагностического анализа параметров изменчивости современного климата, связанной с явлением Эль-Ниньо, использовались глобальные среднемесячные поля атмосферного давления на уровне моря и приповерхностной температуры, подготовленные американским Центром прогноза климата и английским Центром Met Office Hadley (Allan, Ansell, 2006; Brohan et al., 2005). Для получения климатической картины ветра использованы данные NCEP/NCAR Reanalysis, представляющие собой результаты объективного анализа среднемесячных полей основных метеорологических элементов, проведенного совместно Национальным центром по прогнозу Окружающей среды (Вашингтон) и Национальным центром по атмосферным исследованиям (Боулдер, Колорадо) (Climate..., 2006). Кроме того, в композиционный анализ были включены данные по уровню океана, взятые с сайта консорциума по оценке циркуляции и климата океана ESSO (<http://ecco.jpl.nasa.gov/exter.nal/>) и подготавливаемые по спутниковым альтиметрическим данным программы TOPEX/POSEIDON.

## Обсуждение результатов анализа

Композиционный анализ глобальных полей основных гидрометеорологических характеристик за период их инструментальных наблюдений с 1950 по 2010 гг. выявил, что во время Эль-Ниньо происходит существенная деформация крупномасштабного поля атмосферного давления во всем экваториально-тропическом поясе Земли (рис. 1). Для Атлантического, Индийского и западной части Тихого океанов в этот период характерно увеличение давления (положительная аномалия) с экстремальными его значениями в области планетарной атмосферной конвекции (Neale, Slingo, 2003), расположенной в индонезийском регионе. Одновременно с этим над восточной частью Тихого океана атмосферное давление заметно понижается, что в первую очередь ассоциируется со спадом активности Южного субтропического антициклона – важного центра действия атмосферы в южном полушарии. Следствием данного фактора является ослабление юго-восточного пассата в период Эль-Ниньо, способствующее возникновению восточного переноса на экваторе. Разнонаправленные зональные градиенты аномалий давления в экваториальной зоне Тихого и Индийского океанов указывают на то, что существующие здесь две смежные ячейки зональной атмосферной циркуляции Уокера (Вебстер, 1988; Вязилова, 2008) с наступлением Эль-Ниньо могут менять свой знак на противоположный.

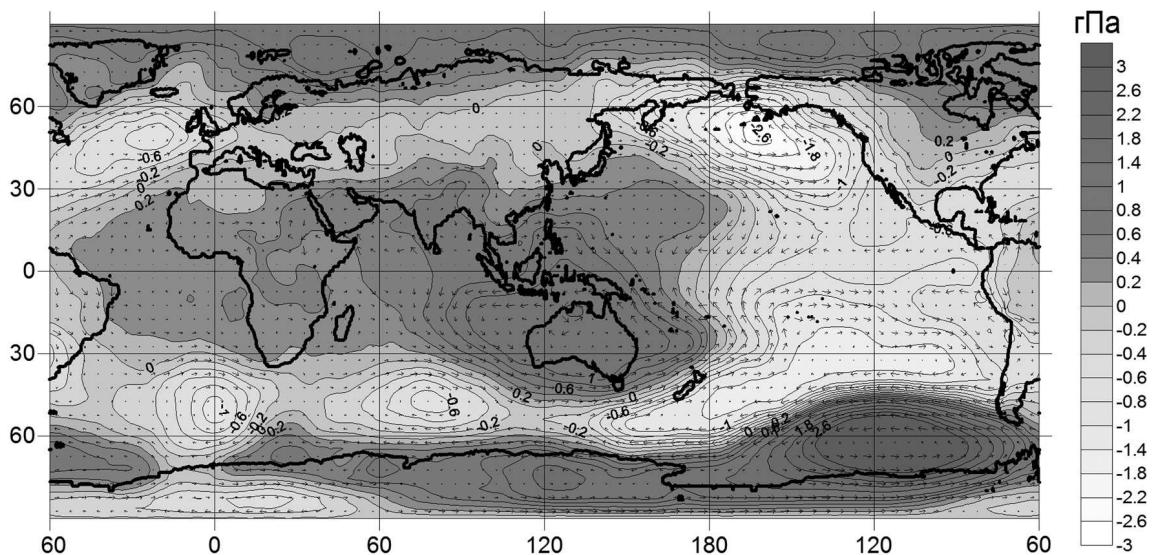


Рис. 1. Возмущение полей атмосферного давления на уровне моря и соответствующие поля геострофического ветра в нижней тропосфере при Эль-Ниньо. Использованы ансамбли событий за 1950-2010 гг.: 14 эпизодов Эль-Ниньо и 13 эпизодов Ла-Ниньи

Известно (Saji et al., 1999; Бышев и др., 2008), что существующая в экваториальной зоне Тихого океана ярко выраженная дипольная структура поля ТПО изменяет знак своей полярности в периоды Эль-Ниньо, когда аномалии этой характеристики на противоположных участках указанной зоны также изменяют свои знаки. Наш анализ показывает, что крупномасштабные положительные аномалии приповерхностной температуры при Эль-Ниньо (рис. 2) возникают в экваториально-тропическом поясе как на востоке и в центральной части Тихого океана ( $>1^{\circ}\text{C}$ ), так и на западе Индийского океана ( $>0.4^{\circ}\text{C}$ ). На общей границе двух океанов, в области планетарной конвекции, формируется крупномасштабная отрицательная температурная аномалия ( $\sim-0.3^{\circ}\text{C}$ ).

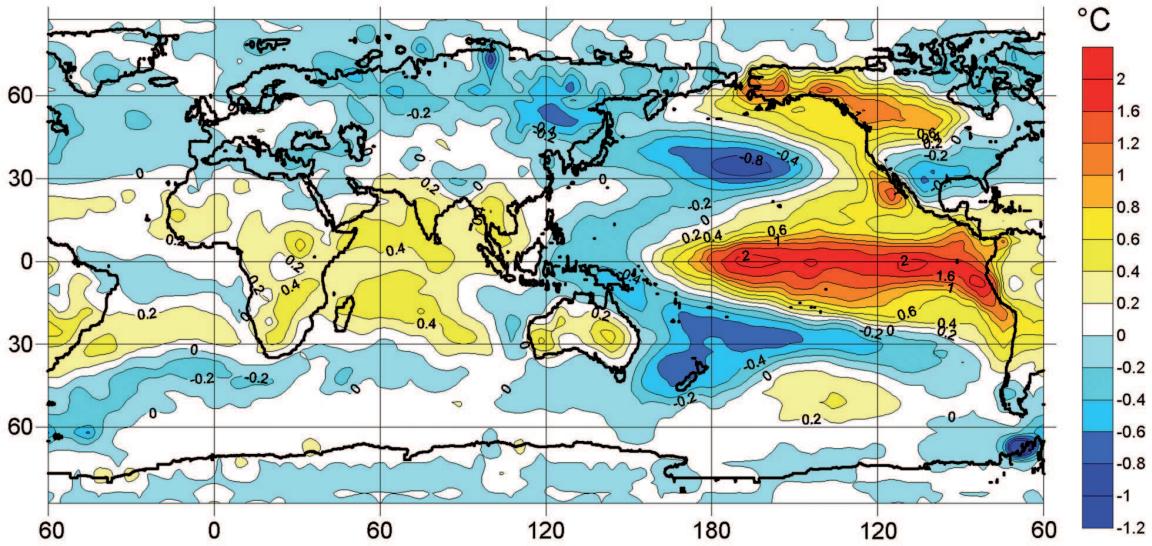


Рис. 2. Возмущение поля приповерхностной температуры при Эль-Ниньо. Использованы ансамбли событий за 1950-2010 гг.: 14 эпизодов Эль-Ниньо и 13 эпизодов Ла-Ниньи

В качестве одного из наиболее эффектных проявлений воздействия события Эль-Ниньо на ТПО северной части Индийского океана можно отметить, что во время сильного Эль-Ниньо 1997-1998 гг. сомалийская отрицательная аномалия ТПО исчезала, уступая место более теплым водам (Webster et al., 1999). В то же время, в районе западного побережья Суматры, где при нормальных условиях поверхностная вода имеет повышенную температуру, развивается крупномасштабный апвеллинг, в котором холодная глубинная вода поднимается к поверхности (Anderson, 1999). Подчеркнем, что эта ярко выраженная аномальная дипольная структура ТПО в Индийском океане наблюдается именно в осеннюю переходную фазу муссонного цикла, когда эффекты, обусловленные муссонами, как в атмосфере, так и в океане существенно ослаблены и не вуалируют эффект Эль-Ниньо.

В виде характерного примера влияния Эль-Ниньо на уровенную поверхность Индийского океана на рис. 3 приведены аномалии уровня в ноябре 1997 г. относительно средней за 1993-2010 гг. его величины для этого месяца. Как видим, во время Эль-Ниньо аномалии уровня на экваторе в Индийском и Тихом океанах имеют противоположные, по сравнению с нормой, или фоновой ситуацией, знаки. В восточной части Индийского океана, вблизи о. Суматра, в этот период наблюдается понижение уровня, сопровождающееся интенсивным апвеллингом, приводящим к существенному понижению температуры поверхностных вод.

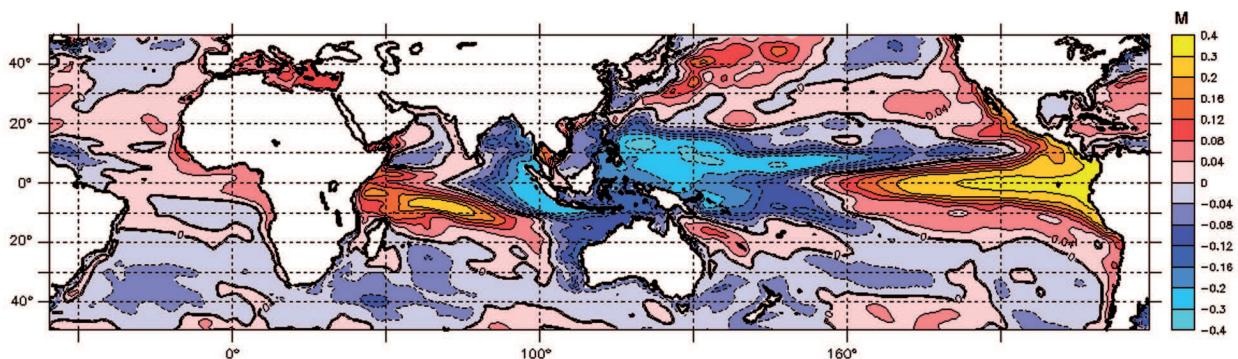
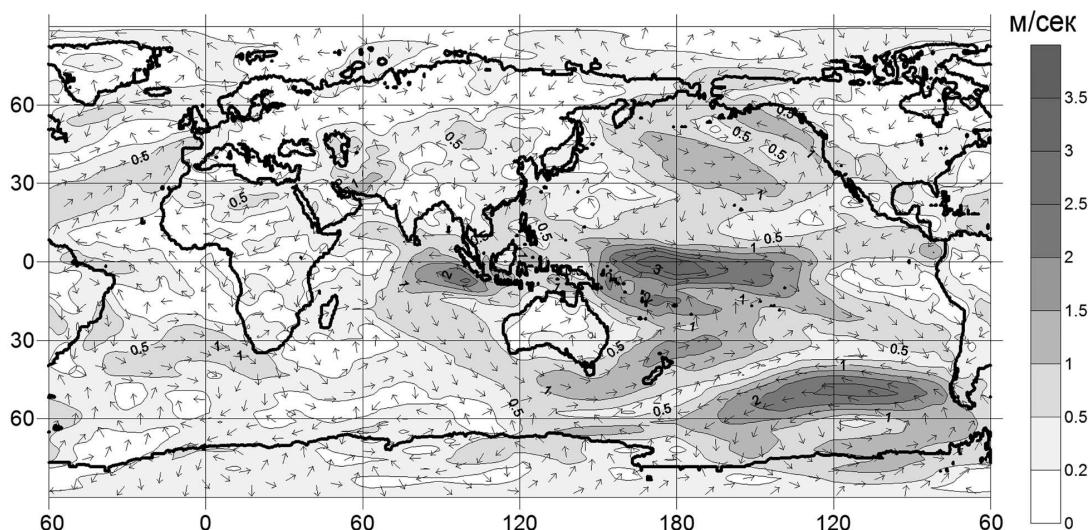


Рис. 3. Аномалии уровня поверхности океана (в м) в ноябре 1997 г. относительно среднего за 1993-2009 гг.

Совместный анализ возмущений полей приповерхностной температуры (рис. 2) и уровня (рис. 3) во время Эль-Ниньо показал, что между ними повсеместно наблюдается определенное качественное соответствие, а именно – спад уровня сопровождается понижением ТПО и наоборот, повышение температуры всегда сопутствует росту уровня.

В годы без Эль-Ниньо среднее поле ветра в октябре-ноябре (осенний переходный период муссонной циркуляции) на экваторе в нижней тропосфере характеризуется преобладающей восточной составляющей вектора скорости в Тихом и западной составляющей в Индийском океане. В верхней тропосфере соответствующие зональные компоненты скорости ветра имеют противоположные направления. Такую структуру движения воздушных масс в экваториальной области Тихого океана принято называть естественной циркуляцией Уокера (Гилл, 1986). Подобная циркуляционная ячейка существует и в Индийском океане (Вебстер, 1988) с тем лишь отличием, что движение в ее вертикальной плоскости совершается в противоположном направлении. Анализ рассчитанных в нашей работе ветровых полей на нижней границе тропосферы показал, что во время Эль-Ниньо обе эти региональные циркуляции Уокера проявляют тенденцию к изменению своего направления на обратное (рис. 4). Так, в октябре-ноябре 1997 г. над Индийским океаном, в отличие от нормы, господствовали ветры восточных румбов с аномалиями до  $-12$  м/сек, а над Тихим – западные ветры с аномалиями до  $+9$  м/сек. В верхней тропосфере также прослежено изменение направления ветра на обратное (Climate ..., 2006).



*Рис. 4. Возмущение поля скорости ветра у земной поверхности при Эль-Ниньо (разности между Эль-Ниньо и Ла-Нинья). Использованы ансамбли событий за 1950-2009 гг.: 14 эпизодов Эль-Ниньо и 12 эпизодов Ла-Ниньи*

Заметим, что показанные на рис. 5 крупномасштабные особенности пространственно-временной структуры возмущений зональной скорости ветра в приводном слое атмосферы за период с 1970 по 2000 гг. для экваториально-тропического пояса Земли позволяют убедиться в глобальном характере событий Эль-Ниньо и в продвижении процесса его развития из Индийского океана в Тихий. Причем наиболее рельефно эта картина проявилась во время наиболее интенсивных событий Эль-Ниньо 1982-1983 гг. и 1997-1998 гг. Так, в частности, накануне возникновения этих событий в Тихоокеанском регионе аномалии западного ветра в экваториальном поясе появляются вначале в Индийском океане, а затем распространяются на восток в область планетарной конвекции.

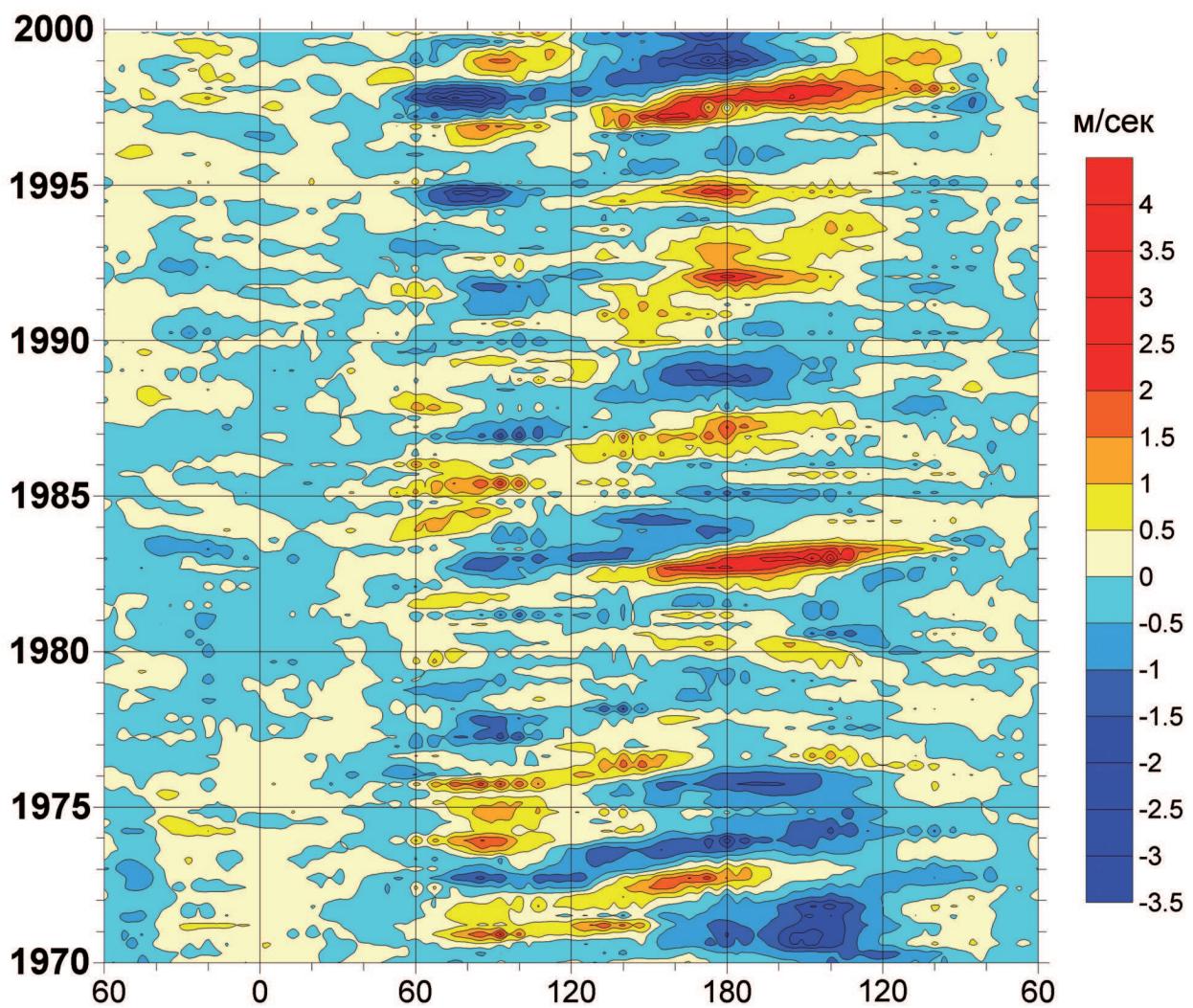


Рис. 5. Диаграмма аномалий зонального приповерхностного ветра, осредненных в приэкваториальном поясе  $10^{\circ}$  с.ш. –  $10^{\circ}$  ю.ш.

Для проверки гипотезы о существовании прямых и обратных связей между возмущениями гидрофизических полей при Эль-Ниньо в Индийском и Тихом океанах выполнен взаимный спектральный анализ соответствующих крупномасштабных дипольных структур. В частности, в полях атмосферного давления и приповерхностной температуры в экваториальной зоне океанов исследована взаимозависимость зональных разностей этих характеристик. Результаты расчетов показали, что на межгодовых временных масштабах (1-10 лет) между характеристиками возмущений в полях приповерхностной температуры и давления на уровне моря имеется тесная связь. Более того, многие другие гидрометеорологические характеристики также оказываются взаимосвязанными, что подтверждает наличие зеркальной симметрии аномалий, формирующихся в полях гидрофизических характеристик двух океанов. Объединяющим звеном этой симметрии является область планетарной атмосферной конвекции на их общей границе.

Исходя из результатов выполненного нами анализа, представляется, что физическая природа Эль-Ниньо связана с определенным видом планетарных атмосферных приливов, обусловленных, по всей вероятности, внутренними термодинамическими процессами в климатической системе. Особенно наглядно это прослеживается в струк-

туре аномалий поля атмосферного давления, приведенного на рис. 1. Признаком планетарного прилива может служить показанный на этом рисунке рост атмосферного давления в экваториально-тропической области, включающей Атлантический, Африканский и Индоокеанский сектора, а также западную часть Тихого океана. Аномалия высокого давления в указанном регионе опоясана зоной пониженного давления, что свидетельствует о процессе перестройки поля массы атмосферы во время Эль-Ниньо. При этом перестройка атмосферной циркуляции, связанная с перераспределением давления, сопровождается возмущением всех основных гидрофизических параметров системы, включая приповерхностную температуру, уровень и др. (см. рис 2, 3, 4). Расчеты показали, что во время эпизодов Эль-Ниньо важные гидрофизические и метеорологические события происходят повсеместно в планетарном масштабе, далеко выходя за пределы акватории Тихого океана.

## Заключение

В работе показано, что основной эффект Эль-Ниньо проявляется во всей экваториально-тропической зоне Тихого и Индийского океана согласованно в виде квазисинхронной смены полярности крупномасштабных зеркальных океанских диполей в полях ТПО и в перемене знака атмосферных циркуляций в соответствующих ячейках Уокера. Таким образом, климатическая система Индопацифики проявляет себя в отношении Эль-Ниньо в качестве единого природного объекта, представленного акваториями обоих океанов и атмосферой над ними.

Межокеанские и межконтинентальные масштабы аномалий в полях атмосферного давления, приповерхностной температуры и скорости ветра, возникающих во время событий Эль-Ниньо, свидетельствует о том, что это природное явление не ограничивается регионом Тихого океана и обладает всеохватывающим планетарным характером.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, государственный контракт П1224 от 07.06.2010, проект «Океанический фактор глобальной изменчивости современного климата».

## Литература

1. Бышев В.И. (2003) Синоптическая и крупномасштабная изменчивость океана и атмосферы. М. Наука. 2003. 344 с.
2. Бышев В.И., Иванов Ю.А., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Скляров В.Е., Щербинин А.Д. (2008) О проявлении эффекта Эль-Ниньо в Индийском океане // Доклады РАН. 2008. Т. 418. № 3. С. 391-396.
3. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А. (2009) Природные факторы глобальной изменчивости современного климата // Изв. РАН, серия географическая. 2009. № 1. С. 7-13.
4. Вебстер П. (1988) Крупномасштабная структура тропической атмосферы. В кн. Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере. М. Мир. 1988. С. 261-305.
5. Вязилова Н.А. (2008) Крупномасштабный влагообмен в тропиках Индийского и Тихого океанов в годы с явлением Эль-Ниньо – Южное Колебание // Метеорология и гидрология. 2008. № 2. С. 20-33.
6. Гилл А. (1986) Динамика атмосферы и океана. М. Мир. 1986. Т. 2. 416 с.

7. Груза В.Г., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Е.Н. (1999) О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание // Метеорология и гидрология. 1999. № 5. С. 32-51.
8. Мохов И.И., Елисеев А.В., Хворостынов Д.В. (2000) Эволюция характеристик межгодовой климатической изменчивости, связанной с явлениями Эль-Ниньо/Ла-Нинья // Известия АН. Сер. Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36. № 6. С. 741-751.
9. Петросянц М.А., Семенов Е.К., Гущина Д.Ю., Соколихина Е.В., Соколихина Н.Н. (2005) Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость. М.: «Макс Пресс». 2005. 640 с.
10. Семенов Е.К., Соколихина Е.В., Соколихина Н.Н. (2007) Вертикальная циркуляция в тропической атмосфере в периоды экстремальных событий явления Эль-Ниньо – Южное колебание // Метеорология и гидрология. 2007. № 7. С. 17-28.
11. Серых И.В. (2010) Пеакция Индийского океана на события Эль-Ниньо // Молодой Ученый. 2010. № 3 (14). С. 83-89.
12. Сидоренков Н.С. (2002) Физика нестабильности вращения Земли. М. Физматлит. 2002. 384 с.
13. Allan R.J., Ansell T.J. (2006) A new globally-complete monthly historical gridded mean sea level pressure data set (HadSLP2): 1850-2004 // J. Climate. 2006. 19. P. 5816-5842.
14. Anderson D.L.T., Sarachik E.S., Webster P.J., Rothstein L.M. (eds.). (1998) The TOGA Decade. Reviewing the Progress of El Niño Research and Prediction // J. Geophys. Res. 1998, V. 103. № 7.
15. Anderson D.L.T. (1999) Extremes in the Indian Ocean // Nature. 1999. 401.
16. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. (2005) Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 // J. Geophys. Res. 111. D12106. doi: 10.1029/2005 JD006548.
17. Brönnimann S. (2007) Impact of El Niño – Southern Oscillation on European Climate // Reviews of Geophysics. 2007. V. 45. RG3003(28p.) doi:10.1029/2006 RG000199.
18. Climate Diagnostic Bulletin. Wash. (D.C.) 1989-2006.
19. Dijkstra H.A. (2006) ENSO phenomenon: theory and mechanisms // Advances in Geosciences. 2006. V. 6. P. 3-15.
20. Fedorov A.V., Philander S.G. (2000) Is El Niño changing? // Science, 2000. V. 288. P. 1997-2002.
21. Halide H., Ridd P. (2008) Complicated ENSO models do not significantly outperform very simple ENSO models // Int. J. Climat. 2008. V. 28. P. 219-233.
22. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al., (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. V. 77. P. 437-470.
23. Kug J.-S., Kang I.-S. (2006) Interactive Feedback between ENSO and the Indian Ocean // J. Climate. 2006. V. 19. P. 1784-1801.
24. Kumar K.K., Rajagopalan B., Hoerling M., Bates G., Cane M. (2006) Unraveling the Mystery of Indian Monsoon Failure During El-Nino // Science. 2006. V. 314. P. 115-119.
25. Neale R., Slingo J. (2003) The marine continent and its role in the Global climate: a GCM study // J. Climate. 2003. V. 16. P. 834-848.
26. Neelin J.D., Battisti D.S., Hirst A.C., Jin F.-F., Wakata Y., Yamagata T., Zebiak S.E. (1998) ENSO theory // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. № C7. P. 14261-14290.
27. Power S., Colman R. (2006) Multi-year predictability in a coupled general circulation model // Climate Dynamics. 2006. V. 26. P. 247-272.
28. Power S.B., Smith I.N. (2007) Weakening of the Walker Circulation and apparent dominance of El Niño both reach record levels, but has ENSO really changed? // Geophes. Res. Lett. 2007. V. 34. L18702, doi: 10.1029/2007 GL030854.
29. Saji N.H., Goswami B.N., Vinayachandran P.N., Yamagata T. (1999) A dipole mode in the tropical Indian Ocean // Nature. 1999. V.401. P. 350-363.
30. Taylor A.H., Jordan M.B., Stephens J.A. (1998) Gulf Stream shifts following ENSO events // Nature. 1998. V. 393. P. 638.
31. Webster P.J., Moore A.M., Loschnigg J.P., Leben R.R. (1999) Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-1998 // Nature. 1999. V. 401. P. 356-360.

# **On Planetary Nature of El Niño Events in the Earth's Climatic System**

**V.I. Byshev, V.G. Neiman, Ju.A. Romanov, I.V. Serykh**

*P.P. Shirshov Institute of Oceanologig  
117997 Moscow, Nakhimovsky prosp., 36  
E-mail: labbyshev@ocean.ru*

El-Niño signal was considered in the Indian Ocean region on a background of secular data banks of the sea level atmospheric pressure and near – surface temperature. This signal shows itself in the area in a form of specific anomalies within hydro-physical fields of the ocean as well as meteorological parameters of atmosphere. The anomalies are the most visible during the inter-monsoonal seasons when a monsoon signal is weak and unstable. Also some hints were found concerning of that the field reconstruction by El Niño impact may be started over the northern part of Indian Ocean in a phase advance compared with Pacific Ocean climatic system.

Principal concern is paid to sputnik observations for the Earth in the El Niño studying. Very informative satellite data on sea level, SST, bulk humidity, general cloudiness, long wave outgoing radiation and so on were taken into consideration for analysis along with traditional hydro-meteorological data sets.

The obtained results of analysis dedicated to disturbances in the global fields of ocean and atmosphere characteristics during El Niño showed that a physical mechanism of those natural events is of the planetary scale.

**Keywords:** El Niño, Southern Oscillation, La Niña, atmospheric pressure, temperature, wind speed, precipitation, circulation, anomaly, monsoon, spectra, fields, climate, currents, upwelling.