

УДК : 551.547.3

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛЕЙ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВЫСОТ ПОВЕРХНОСТИ АТ-850 В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ

**Е. П. Школьный**, д-р техн. наук, проф.,

**А. И. Сущенко**, канд. геогр. наук, асс.

*Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, 249\_Andre@mail.ru*

Изучение явления Эль-Ниньо является важной задачей для научного сообщества. Данный феномен оказывает влияние на погодные условия и климат в различных районах Земли. В работе представлены результаты исследования статистической структуры полей геопотенциальных высот поверхности АТ-850 в западном секторе Южного полушария. Исследование проводилось с помощью компонентного анализа. Показано разложение полей главных компонент по масштабам. Отфильтрованные поля аномалий свидетельствуют о тенденции формирования зональной ячейки Уокера, свойственной для теплого периода Эль-Ниньо.

**Ключевые слова:** поля геопотенциала, главные компоненты, поле аномалий, отфильтрованное поле.

### 1. ВСТУПЛЕНИЕ

Явление Эль-Ниньо-Южное колебание (ЭНЮК) представляет собой одну из самых мощных энергетических деформаций в системе атмосфера-океан. Вопрос о связи между этим феноменом и энергетическими характеристиками различных регионов Южного полушария, а также глобальной климатической системы в целом, вызывает интерес ученых с 70-х годов прошлого века.

В ЭНЮК принято различать связанные между собой океанский феномен – теплую и холодную фазы явления Эль-Ниньо-Ла-Нинья и атмосферный процесс – Южное колебание (ЮК) [1, 2]. Природа этого явления до конца не изучена и остается в определенном смысле загадочной.

Существует несколько подходов объяснения явления Эль-Ниньо. В одном из них считается, что оно обусловлено изменением в приэкваториальном поясе скорости и направления поверхностных течений вод под влиянием пассатов. В свою очередь их изменчивость обусловлена деформацией ячеек Хедли и Уокера. Это приводит к изменению характеристик теплосодержания в деятельном слое океана [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Исследования последних лет показывают, что Эль-Ниньо – это океанский феномен и является следствием процессов апвеллинга и даунвеллинга в приэкваториальной зоне Тихого океана, обусловленных океанскими волнами Россби [1, 9]. Существует еще одна гипотеза, основанная на предположении, что нерегулярность ЭНЮК может быть следствием неустойчивости взаимодействия океана и атмосферы в тропиках на временных масштабах существенно меньших, чем Эль-Ниньо, то есть представляет собой стохастиче-

скую внутрисезонную и годовую изменчивость, обусловленную хаотическим влиянием процессов синоптического масштаба на крупномасштабные процессы в климатической системе тропического Тихого океана [10, 11, 12, 13, 14].

Целью данной работы является исследование особенностей деформаций полей геопотенциальной поверхности 850 гПа в тихоокеанской акватории Южного полушария во время холодных и теплых событий Эль-Ниньо-Южного колебания, а также характеристики структуры полей геопотенциальных высот.

На этом уровне над поверхностью океана воздействие силы трения на движения воздуха значительно ослабевает. В то же время особенности взаимодействия теплом и влагой в системе океан-атмосфера проявляются в полной мере.

### 2. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были выбраны среднемесячные поля геопотенциальных высот изобарической поверхности 850 гПа. Исходную выборку составили среднемесячные значения геопотенциальных высот с 1979 по 2014 гг. (массив ERA Interim), определенных в узлах регулярной сетки точек  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ , в секторе, ограниченном по широте от  $10^\circ$  ю.ш. до  $40^\circ$  ю.ш. и меридианами  $150^\circ$  в.д. до  $90^\circ$  з.д. для каждого месяца года (рис. 1).

Для получения характеристик статистической структуры полей высот этой изобарической поверхности в указанном регионе были применены

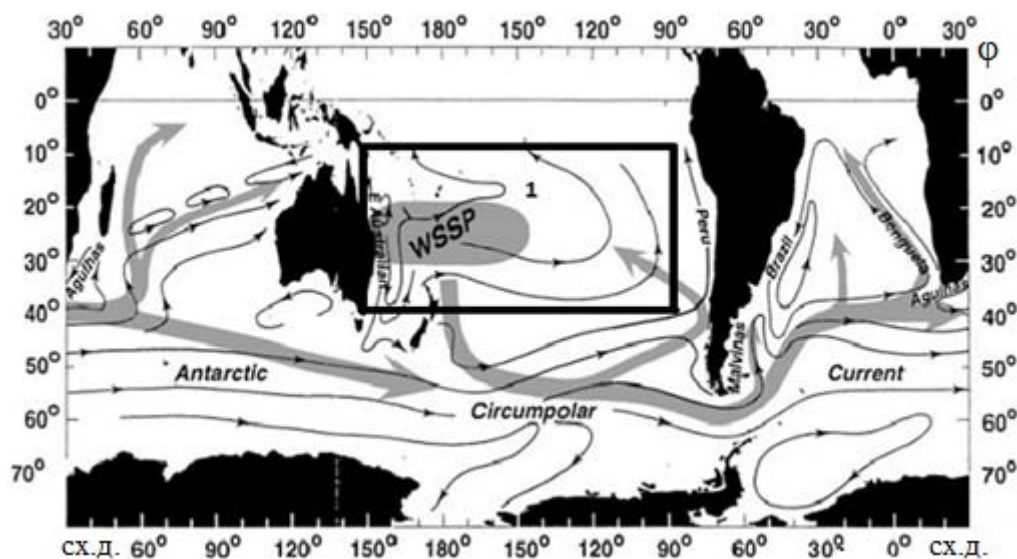


Рис. 1 – Схема региона исследования

корреляционный и компонентный анализы [14].

Еще французский философ Р. Декарт в трактате “Правила для руководства разумом” указал: “Освободите вопрос от всех лишних представлений и сведите его до наипростейших элементов”. В процессе расчленения выделяются существенные и несущественные характеристики объекта, основные элементы и связи между ними. Осуществить такую операцию позволяет компонентный анализ. Он дает возможность с помощью линейного преобразования физических полей в базисе собственных векторов матриц ковариаций выделить из исходных полей их «простые» части, при этом главным компонентам каждой из них соответствует определенная доля суммарной дисперсии исходных полей.

### 3. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Численные эксперименты проводились для периодов ярко выраженных фаз ЭНЮК, а именно – Эль-Ниньо 1997 года и Ла-Нинья в 1995 году. Расчеты проводились для месяцев весеннего сезона. Переходные сезоны в Индо-Пацифике благоприятные в том смысле, что в этот период наблюдается межфазовое состояние муссонной циркуляции, когда основное муссонное возмущение в геофизических полях атмосферы и океана значительно ослабевает, а динамическое состояние этих полей соответствует квазистационарному типу.

Дисперсии главных компонент характеризуют масштабы атмосферных процессов, отвечающих за формирование структуры полей. Первая главная компонента представляет наиболее крупно-

масштабные процессы, исчерпывает в сентябре 52 %, а в декабре 40 % суммарной дисперсии. Дисперсии вторых главных компонент соответственно равны 18,5 % и 16,5 %, а третьих 5,5 % и 14 %. Так что сумма первых трех главных компонент составляет соответственно 76 % и 71 % от суммарной дисперсии исходных полей. Остальная часть относится к мелкомасштабным возмущениям. Из рис. 2 следует, что наибольшие значения суммарной дисперсии первых трех главных компонент наблюдаются в весенние месяцы. Если применить обратное линейное преобразование к вектору, состоящему из первых трех главных компонент, то получим физическое поле, с отфильтрованными малозначимыми составляющими.

В выражении (1) представлен  $n$ -мерный вектор  $\tilde{\varphi}$  главных компонент полей геопотенциальной высоты изобарической поверхности АТ-850, относящихся к низким и средним широтам акватории Южного Тихого океана, в указанные промежутки времени проявления Эль-Ниньо и Ла-Нинья

$$\tilde{\varphi} = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $\varphi_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) означают первую, вторую и третью главные компоненты средних полей аномалий геопотенциальных высот.

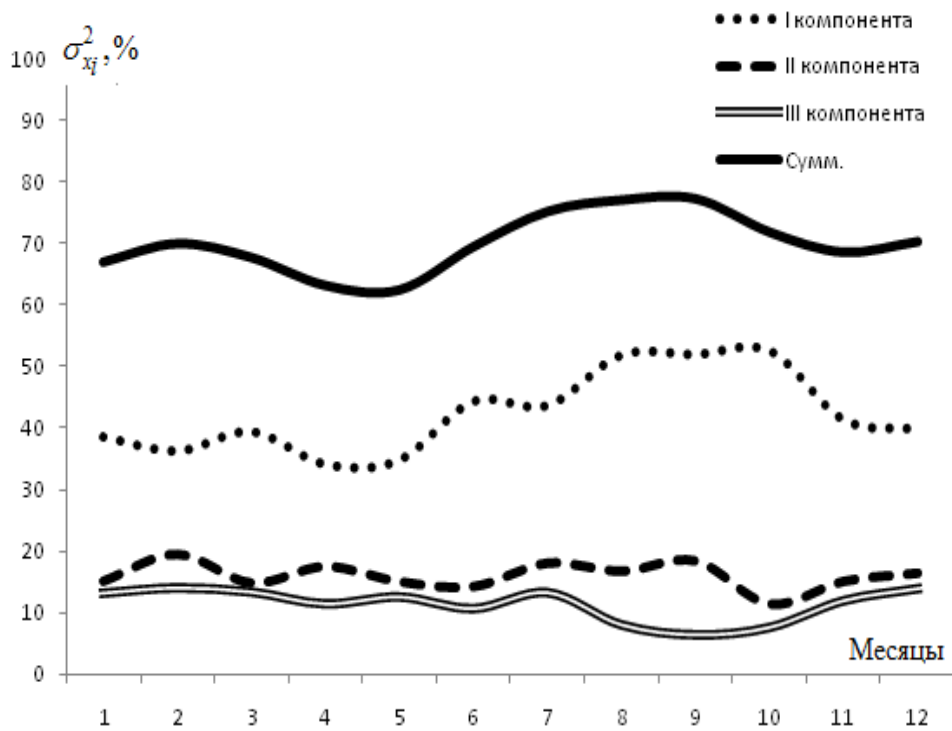


Рис. 2 – Процент охвата дисперсий первых трех главных компонент полей геопотенциальных высот АТ-850

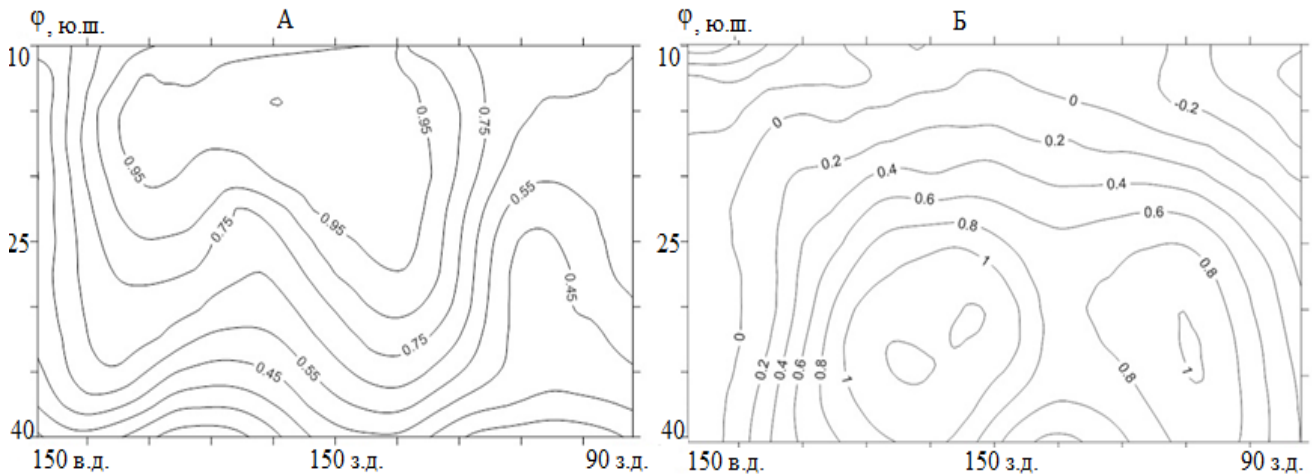


Рис. 3 – Поля аномалий высот геопотенциальной поверхности АТ-850 за счет первой, второй и третьей главных компонент при Эль-Ниньо, 1997 г. (А), при Ла-Нинья, 1995 г. (Б).

Эти векторы, как было отмечено выше, содержат в себе основную информацию о структуре указанных полей, которая концентрируется после отфильтровывания малозначимых элементов их структуры. Такие поля аномалий  $\Delta\tilde{X}$  геопотенциальных высот поверхности АТ-850 образуются в результате матричной операции

$$\Delta\tilde{X} = W\tilde{\varphi}, \quad (2)$$

где  $W$  –  $n$ -мерная матрица собственных векторов матрицы ковариаций.

Отфильтрованные поля сохраняют основную информацию об атмосферных процессах. В качестве примера на рис. 3 (А, Б) представлены отфильтрованные поля нормированных аномалий высот поверхности АТ-850 при Эль-Ниньо (сентябрь 1997 г.) и Ла-Нинья (декабрь 1995 г.), полученные с помощью указанной выше операции на основе первых трех главных компонент.

Как следует из рис. 3 (А), при Эль-Ниньо происходит деформация структуры Южного Тихоокеанского максимума так, что поле аномалий геопотенциала (возможно под влиянием

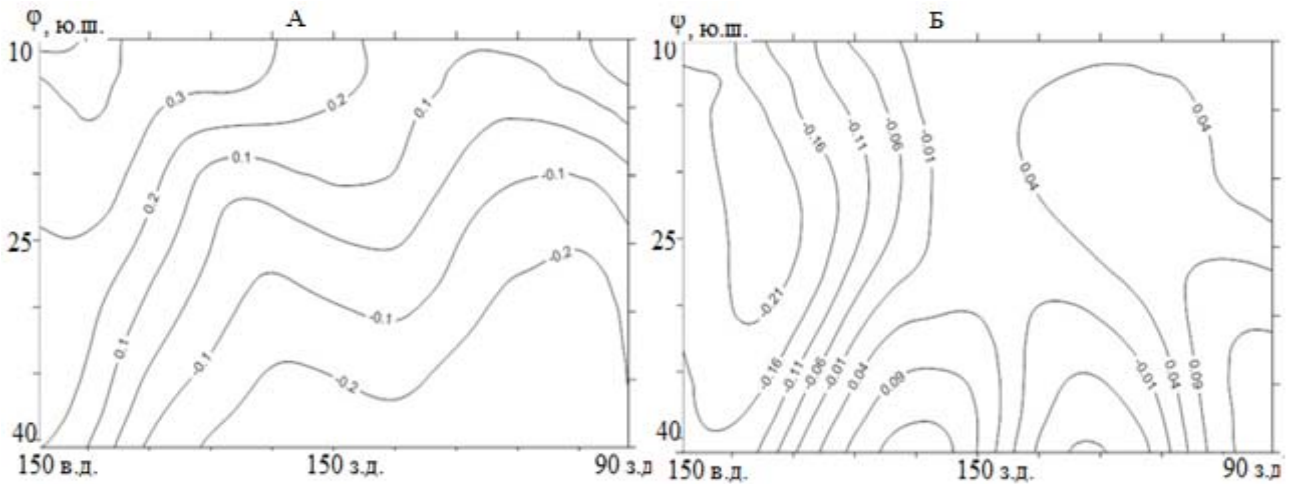


Рис. 4 – Поле аномалий высот геопотенциальной поверхности AT-850 за счет второй главной компоненты при Эль-Ниньо, 1997 г. (А), при Ла-Нинья, 1995 г. (Б).

северной периферии Антарктической Циркумполярной Волны) в низких широтах растягивается в широтном направлении, отражая тенденцию повышения давления воздуха в западной части акватории в то время, как в восточной ее части происходит уменьшение атмосферного давления.

Таким образом, четко проявляется тенденция формирования зональной ячейки Уокера, свойственная для теплого периода ЭНЮК. При Ла-Нинья (рис. 3 (Б)) в приэкваториальной зоне не выявляется структура ячейки Уокера в такой отчетливой форме. Однако, важной чертой деформации являются тенденции перемещения на восток Тихоокеанского максимума южного полушария с раздвоением его на две части.

В результате возникают «простые» (по Декарту) части, описывающие ту долю исходных полей геопотенциальной высот, которая образуется под воздействием наиболее крупномасштабного центра действия Южного полушария – южно-тихоокеанского максимума.

Зональная циркуляционная ячейка Уокера в теплой и холодной фазах ЭНЮК четко проявляется в полях геопотенциальных высот, если из них выделить ту их часть, которая обусловлена вторыми главными компонентами. Эти части структуры полей образуются, если осуществить с помощью матричной операции (3) преобразование векторов главных компонент:

$$\tilde{\varphi} = \begin{pmatrix} 0 \\ \varphi_2 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Результаты преобразования представлены для Эль-Ниньо на рис. 4 (А), а для Ла-Нинья на рис. 4 (Б).

Как следует из рисунка 4 (А), при Эль-Ниньо в приэкваториальной зоне образуется область высокого давления в западном австралийско-индонезийском регионе, в то время как в восточной части этой зоны формируется область отрицательных аномалий геопотенциальной высоты, которая соответствует низкому атмосферному давлению. Такая структура поля аномалий давления представляет из себя циркуляционную ячейку Уокера теплой фазы ЭНЮК: сила барического градиента в приэкваториальном поясе направлена с запада на восток, формируя западно-восточные течения масс воздуха и, следовательно, теплых поверхностных океанических вод. Накопление масс этих вод вызывает даунвеллинг, и у западных берегов Южноамериканского континента формируется в океане характерный для Эль-Ниньо термоклин.

Из рисунка 4 (Б) следует, что в холодную фазу ЭНЮК ячейка Уокера приобретает противоположную структуру. Область положительных аномалий геопотенциала, обусловленная второй главной компонентой  $\varphi_2$ , располагается в восточной части приэкваториальной зоны, а об-

ласть отрицательных значений – в западной части. В таком случае сила барического градиента приобретает направление с востока на запад, обуславливая такое же направление потока масс воздуха в приэкваториальной зоне западного сектора Южного полушария. Под его влиянием образуются течения поверхностных вод с востока на запад, их отток с восточной части и накопление в западной части акватории. В результате у берегов Южной Америки формируется апвеллинг глубинных вод.

#### 4. ВЫВОДЫ

Компонентный анализ, положенный в статье в основу методов исследования, по сравнению с методами разложения случайных процессов по ортогональным полиномам (полиномы Лежандра, Чебышева, Эрмита, Лагера, канонические разложения Пугачева, функции Бесселя) имеет очень важное преимущество, заключающееся в том, что главные компоненты случайных процессов и полей (естественные ортогональные составляющие) несут важную смысловую нагрузку: в компонентном анализе каждый член разложения отражает определенные свойства исследуемых случайных объектов. Разложения по другим перечисленным полиномам являются формальными. Этот факт стал известен ученым, применяющими методы многомерного статистического анализа в своих исследованиях (Хотелинг, Андерсен, Багров, Юдин, Казакевич, Борисенков, Школьный и др.). Компонентный анализ полей показал, что первые три собственных значения исчерпывают большую часть суммарной дисперсии этих полей. Наибольшую нагрузку имеет первая главная компонента, из этого следует, что в широтной зоне западного сектора Южного полушария исследуемые поля геопотенциальных высот будут формироваться под влиянием наиболее крупномасштабных атмосферных процессов.

Отфильтрованные поля аномалий за счет первой, второй и третьей главных компонент при Эль-Ниньо показывают тенденцию формирования зональной ячейки Уокера, свойственной для теплого периода ЭНЮК.

Выявлены тенденции смещения на восток Тихоокеанского максимума в Южном полушарии с раздвоением его на две части, что хорошо

видно из полей аномалий геопотенциальных высот. Зональная циркуляционная ячейка Уокера в теплой и холодной фазах ЭНЮК четко проявляется в полях геопотенциальных высот, если из них выделить ту их часть, которая обусловлена вторыми главными компонентами. Явление Эль-Ниньо во многом до сих пор, несмотря на большое число посвященных ему исследований, остается загадочным. Поэтому любой, даже незначительный результат исследований, характеризующий в определенной мере его свойства, является результатом важным.

Полученные в статье результаты могут быть применены в исследовании телеконекций между полями геопотенциальной высоты 850 гПа и другими характеристиками исследуемого региона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко А. Л., Жмур В. В. Закономерности формирования явления Эль-Ниньо - Ла-Нинья // Физические проблемы экологии (экологическая физика). Москва: МАКС ПРЕСС, МГУ им. М. В. Ломоносова. Физический факультет, 2005. № 13. С. 35–44.
2. Penland C. A stochastic model of Indo-Pacific sea surface temperature anomalies. *Physica D*, 1996, vol. 98, pp. 534–558.
3. Бышев В. И., Нейман В. И., Бышев В. Г., Романов Ю. А., Серых И. В. О глобальном характере явления Эль-Ниньо в климатической системе Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. № 4. С. 200–208.
4. Гущина Д. Ю., Девитт Б., Петросянц М. А. Объединенная модель тропического Тихого океана и атмосферы. Прогноз явления ЭНЮК 1997–98 гг. // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2000. № 5. С. 581–604.
5. Гущина Д. Ю., Петросянц М. А. О связи температуры поверхности экваториального Тихого океана с циркуляцией скорости ветра в центрах действия атмосферы // Метеорология и гидрология. 1998. № 12. С. 5–15.
6. Гущина Д. Ю., Петросянц М. А., Семенов Е. К. Эмпирическая модель циркуляции тропической тропосферы в период явления Эль-Ниньо-Южное колебание. Анализ эволюции циркуляционных характеристик // Метеорология и гидрология. 1997. № 2. С. 14–27.
7. Huang B., Schopf S., Shukla J. Coupled ocean-atmosphere variability in the tropical Atlantic Ocean. *CLIVAR Exchanges*, 2002, vol. 7 (no. 3/4), pp. 24–27.
8. Karoly D. J. Southern Hemisphere circulation features associated with El Nino-southern oscillation events. *Journal of Climate*, 1989, no. 2, pp. 1239–1252.

9. Бондаренко А. Л., Жмур В. В. О природе и возможности прогнозирования явления Эль-Ниньо–Ла-Нинья // *Метеорология и гидрология*. 2004. № 11. С. 39–52.
10. Lau N.-C. Modeling the seasonal dependence of the atmospheric response to observed El Ninos in 1962-76. *Mon. Wea. Rev.*, 1985, vol. 113, pp. 1970-1996.
11. McWilliams J., Gent P. A coupled air-sea model for the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 1978, vol. 35, pp. 962–989.
12. Penland C., Sardeshmukh P. D. The optimal growth of tropical sea surface temperature anomalies. *J. Climate*, 1995, vol. 8, pp. 1999–2024.
13. Trenberth K. E. Spatial and temporal variations of the southern oscillation. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 1976, no. 102, pp. 639–653.
14. Школьный Е. П., Майборода Л. А. Атмосфера и управление движением летательных аппаратов. Ленинград, 1973. С. 571.
5. Gushchina D. Yu., Petrosyants M. A. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and climatology*, 1998, no. 12, pp. 5–15. (In Russian)
6. Gushchina D. Yu., Petrosyants M. A., Semenov E. K. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and climatology*, 1997, no. 2, pp. 14–27. (In Russian)
7. Huang B., Schopf S., Shukla J. Coupled ocean-atmosphere variability in the tropical Atlantic Ocean. *CLIVAR Exchanges*, 2002, vol. 7 (no. 3/4), pp. 24–27.
8. Karoly D. J. Southern Hemisphere circulation features associated with El Nino-southern oscillation events. *Journal of Climate*, 1989, no. 2, pp. 1239–1252.
9. Bondarenko A. L., Zhmur V. V. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and climatology*, 2004, no. 11, pp. 39–52. (In Russian)
10. Lau N.-C. Modeling the seasonal dependence of the atmospheric response to observed El Ninos in 1962-76. *Mon. Wea. Rev.*, 1985, vol. 113, pp. 1970-1996.
11. McWilliams J., Gent P. A coupled air-sea model for the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 1978, vol. 35, pp. 962–989.
12. Penland C., Sardeshmukh P. D. The optimal growth of tropical sea surface temperature anomalies. *J. Climate*, 1995, vol. 8, pp. 1999–2024.
13. Trenberth K. E. Spatial and temporal variations of the southern oscillation. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 1976, no. 102, pp. 639–653.
14. Shkol'nyy E. P., Mayboroda L. A. *Atmosfera i upravlenie dvizheniem letatel'nykh apparatov* [Atmosphere and traffic control of flying machines]. Leningrad, 1973. P. 571.

## REFERENCES

## STATISTICAL STRUCTURE OF THE FIELDS OF GEOPOTENTIAL HEIGHTS OF 850 HPA PRESSURE LEVEL IN THE WESTERN SECTOR OF THE SOUTHERN HEMISPHERE

**E. P. Shkolnyy**, Prof., Dr. Sc. (Tech.),  
**A. I. Sushchenko**, TF, Cand. Sc. (Geogr.)

*Odessa State Environmental University,  
 15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, 249\_Andre@mail.ru*

Study of the El Niño-La Niña is a major challenge for the scientific community. In addition to the impact on weather and climate in different regions of the Earth, this phenomenon is associated with the socio-economic impact for many countries. The task of such a large-scale phenomenon prognosis is associated with considerable difficulties, one of the main problems is the infrequency of its occurrence and changes in the characteristics between the events. Therefore, a comprehensive study of its urgent task for the international scientific community.

This paper presents the results of a study of the statistical structure of the fields of geopotential heights of 850 hPa pressure level in the western sector of the Southern hemisphere. The study was conducted using a component analysis. Decomposition fields of principal components in different scales are shown. Filtered field anomalies suggest tendencies of formation of the zonal Walker' cells, characteristic for the warm period of El Niño, La Niña, when the structure of the Walker' cell is less pronounced. Tendencies offset to the east of the Pacific high in the Southern Hemisphere to split it into two parts, as can be seen from the fields of geopotential height anomalies. The zonal circulation Walker' cell in the warm and cold phases of ENSO is clearly appeared in the fields of geopotential heights, when is highlight the part caused by the second principal components.

**Keywords:** geopotential field, the main components, the field anomalies, filtered field.

## СТАТИСТИЧНА СТРУКТУРА ПОЛІВ ГЕОПОТЕНЦІАЛЬНИХ ВИСОТ ПОВЕРХНІ АТ-850 В ЗАХІДНОМУ СЕКТОРІ ПІВДЕННОЇ ПІВКУЛІ

**Є. П. Школьний**, д-р техн. наук, проф.,  
**А. І. Сущенко**, асист., канд. геогр. наук

*Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, 249\_Andre@mail.ru*

Вивчення явища Ель-Ніньо є важливим завданням для наукової спільноти. Даний феномен впливає на погодні умови і клімат в різних районах Землі. У роботі представлені результати дослідження статистичної структури полів геопотенціальних висот поверхні АТ-850 в західному секторі Південної півкулі. Дослідження проводилося за допомогою компонентного аналізу. Показано розкладання полів головних компонент за масштабами. Відфільтровані поля аномалій свідчать про тенденції формування зонального осередку Уокера, властиві для теплого періоду Ель-Ніньо.

**Ключові слова:** поля геопотенціала, головні компоненти, поле аномалій, відфільтроване поле.

*Дата першого подання: 12. 02. 2017*

*Дата надходження остаточної версії: 16. 05. 2017*

*Дата публікації статті: 29. 06. 2017*