

УДК 551.5(075)

**Е.А.Галич асп., Е.П.Школьный, д.т.н., проф.**

*Одесский государственный экологический университет*

### **ОСОБЕННОСТИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ**

*Выявлены основные особенности статистической структуры полей геопотенциала изобарических поверхностей 925, 850, 500 и 200 гПа в Западном секторе Южного полушария. Получены главные компоненты этих полей. Установлена двухфазная осцилляция, характеризующая взаимосвязь вихревой компоненты в западно-восточном переносе между южными акваториями Тихого и Атлантического океанов. Показаны особенности временной изменчивости крупномасштабных компонент циркуляционных процессов в атмосфере во второй половине XX столетия.*

**Ключевые слова:** структура, поля, геопотенциал, осцилляция, реанализ.

**Вступление.** Антарктический континент и южная полярная область являются весьма важной структурной частью глобальной климатической системы. Особенности крупномасштабных циркуляционных процессов в Северном полушарии посвящен широкий круг научных работ. Однако, несмотря на достаточно хорошую изученность, количество публикаций, относящихся к особенностям циркуляции атмосферы в Северном полушарии, достаточно велико. В определённой мере это связано с наблюдающимся потеплением глобального климата и увеличением количества различных климатических катаклизмов. Ряд научных работ посвящен изучению циркуляционных осцилляций – Северо-Атлантического, Северо-Тихоокеанского-Американского колебаний, Эль-Ниньо Южного колебания и связанных с ними изменений и колебаний региональных климатов [1,2,3]. Особенности циркуляционных процессов в Южном полушарии освещены в литературных источниках ещё недостаточно. В большинстве работ изучаются отдельные синоптические процессы в разных регионах Южной полярной области. Практически отсутствуют работы, в которых излагались бы результаты исследований статистической структуры полей геопотенциала, а, следовательно, и особенностей крупномасштабных атмосферных процессов. Именно этой проблеме и посвящается настоящая статья.

**Материалы и методы исследований.** Объектом исследования явились среднемесячные поля геопотенциальных высот изобарических поверхностей 925, 850, 500 и 200 гПа. В качестве исходной информации были использованы данные реанализа ERA – 40, заданные в узлах регулярной сетки точек 2,5° на 2,5°, в секторе ограниченном по широте от Южного полюса до 20° ю.ш. и меридианами 120° з.д. и 30° в.д., за период с 1958 г по 2002 г для каждого месяца года.

Указанный сектор выбран по трём причинам. Во-первых, он включает южные акватории Атлантического и Тихого океанов, которые разделены проливом Дрейка. Эта акватория Южного океана характеризуется особой структурой Кругового антарктического течения и меридиональными океаническими течениями. Во-вторых, на формирование атмосферных процессов большое влияние оказывает Южно-Американский материк, с одной стороны и Антарктический полуостров, с другой. В-третьих, именно в этом регионе, как показали данные измерений на Украинской

антарктической станции Академик Вернадский, во второй половине прошлого столетия среднегодовая температура воздуха возросла примерно на 2 °С, в отличие от других антарктических станций, где тренды роста температуры воздуха не зарегистрированы [4].

Процедура исследования статистической структуры рассматриваемых полей геопотенциала основывалась на применении методов многомерного статистического анализа. Множества полей геопотенциала в каждом месяце были представлены матрицами

$$X = (x_{ij})_{n \times m}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество узлов регулярной сетки точек, в которых заданы значения геопотенциальных высот изобарических поверхностей;

$m$  – количество полей в каждом месяце ( $m = 44$ ).

На основе таких матриц были найдены средние поля геопотенциала и произведено центрирование указанных выше матриц. Если центрированные матрицы обозначить через  $\Delta X$  [ $\Delta X = \{\Delta x_{ij}\} : \Delta x_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_i$  ( $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ )], то матрицы ковариаций определяются соотношением

$$K_x = \frac{1}{m} \Delta X \Delta X', \quad (2)$$

где (') – операция транспонирования матриц.

На основе матриц (2) найдены диагональные матрицы среднеквадратических отклонений  $\sigma = \{\sigma_{ij} \delta_{ij}\}$ , где  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера.

**Результаты исследований и их анализ.** Поля средних значений геопотенциала во все месяцы года в пределах тропосферы представляют собой системы линий, параллельных кругам широт с градиентом геопотенциала, направленным от Южного полюса к экватору. Лишь на картах абсолютной топографии поверхностей 925 и 850 гПа (АТ925 и АТ850) в тропической зоне проявляются Южно-Атлантический и Южно-Тихоокеанский антициклоны. Сезонные различия средних полей заключаются в том, что в холодное полугодие меридиональный градиент геопотенциала увеличивается. В тёплое полугодие пояс сгущенных изогипс сужается и простирается, в основном, между параллелями 40° и 55° ю.ш., а в холодное полугодие распространяется практически на всё рассматриваемое пространство. Структура средних полей геопотенциала на всех изобарических поверхностях отражает тот факт, что в тропосфере в рассматриваемом секторе Южного полушария во все месяцы года преобладает западно-восточный перенос, который становится более интенсивным в холодное полугодие.

На рис.1 в качестве примера представлено поле изменчивости геопотенциала изобарической поверхности АТ850 для центрального месяца зимнего сезона (июль). В дальнейшем будем рассматривать характеристики статистической структуры изобарической поверхности АТ850, поскольку основные наиболее важные черты циркуляционных процессов, которые развиваются в заданном секторе Южного полушария, отражаются в структуре этой изобарической поверхности. Наибольшая изменчивость геопотенциала наблюдается над акваторией моря Беллинсгаузена, где, как известно, развитой является циклоническая деятельность. Гребень высоких значений изменчивости вдоль 60° - 65° ю.ш., над проливом Дрейка, вытягивается в восточном направлении, отражая преобладающие траектории циклонических вихрей. Аналогичный вид имеют поля среднеквадратических отклонений и в остальные месяцы года.

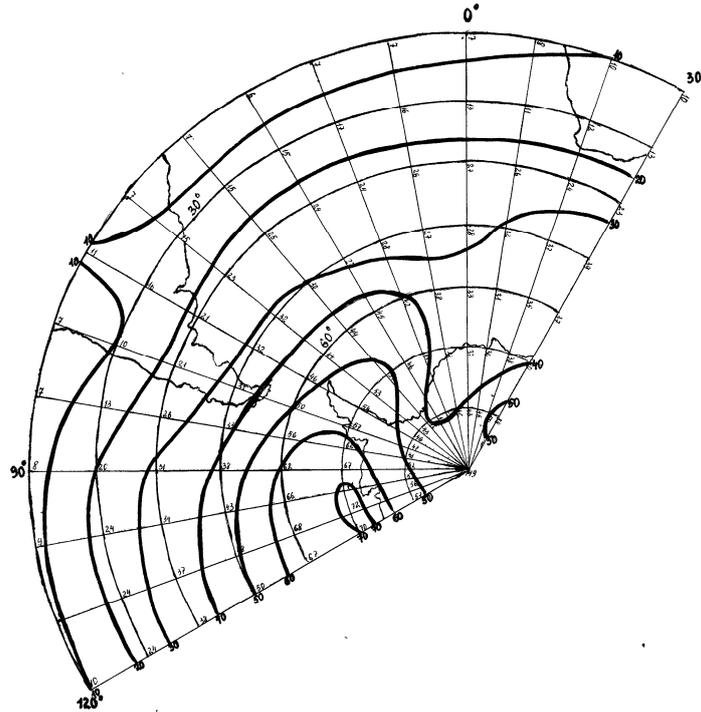


Рисунок 1 – Поле изменчивости геопотенциала изобарической поверхности АТ850.

Важные особенности структуры и динамики крупномасштабных атмосферных процессов удаётся выявить, применяя компонентный анализ. Решение уравнения полной проблемы собственных значений для матрицы ковариаций ( $K_x$ ), а именно

$$K_x W_i = \lambda_i W_i, \quad (3)$$

где  $\lambda_i$  - собственное значение;

$W_i$  - соответствующий ему собственный вектор, который даёт возможность получить ортогональный базис евклидова пространства, определяющийся матрицей  $W = \{W_{ij}\}_{n \times n}$ , а также систему собственных значений  $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_i > \dots > \lambda_n$ . Нетрудно показать, что собственные значения являются дисперсиями  $\sigma_{Z_i}^2$  ортогональных компонент метеорологических полей, полученных путём их ортогонального преобразования в базисе собственных векторов

$$Z_i = W' \Delta X_i, \quad (4)$$

поскольку матрицы  $W$  являются ортогональными. Сравнение дисперсий ортогональных компонент рассматриваемых метеорологических полей показывает, что сумма первых

трёх из них на всех рассматриваемых уровнях  $\sum_{i=1}^3 \sigma_{Z_i}^2 = \sum_{i=1}^3 \lambda_i$  исчерпывает более 70%

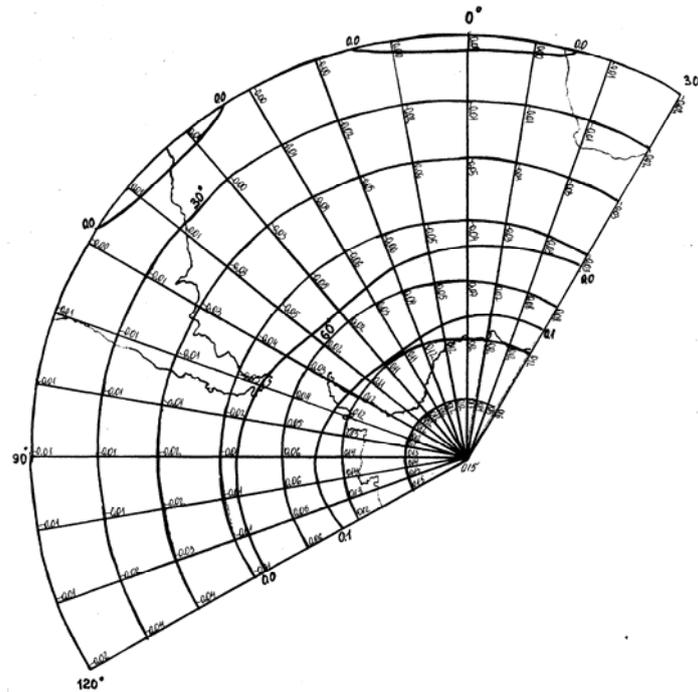
суммарной дисперсии полей геопотенциала  $\sum_{i=1}^n \sigma_{x_i}^2$ . Это означает, что соответствующие

им ортогональные компоненты  $Z_1$ ,  $Z_2$  и  $Z_3$  характеризуют основные особенности наиболее крупномасштабных атмосферных циркуляционных процессов. Структуру полей геопотенциала отражают первые три собственных вектора  $W_1$ ,  $W_2$  и  $W_3$ .

В качестве примера на рис.2 приводятся поля первого собственного вектора, относящиеся к центральным месяцам летнего (январь) и зимнего (июль) сезонов для

поверхности АТ850. Видно, что они представляют собой пучность с центром над Антарктикой с изолиниями параллельными кругам широт. Меридиональный градиент изолиний первого собственного вектора в зимний сезон значительно больше, чем в летний. Поскольку первая компонента  $Z_1$  отражает характер наиболее крупной составляющей общей циркуляции атмосферы – западно-восточный перенос, то большие меридиональные градиенты в июле в поле первого собственного вектора характеризуют более интенсивное развитие этого звена общей циркуляции атмосферы.

А



Б

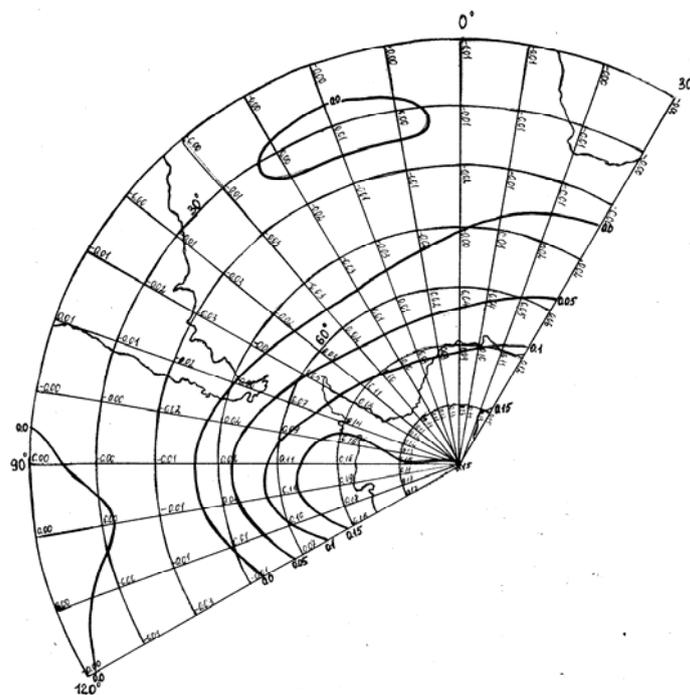


Рисунок 2 - Поля первого собственного вектора для центральных месяцев летнего (январь (А)) и зимнего (июль (Б)) сезонов поверхности АТ850.

Значительный интерес представляют поля второго собственного вектора  $W_2$  поверхности АТ850. Они имеют вид биполярной структуры противоположного знака, что можно отождествлять с осцилляционным крупномасштабным процессом в системе общей циркуляции атмосферы в Западном секторе Южного полушария. Представляет интерес тот факт, что подобный вид имеют поля  $W_2$  и в другие месяцы года, причём центры их симметрии располагаются в ограниченном пространстве. На рис.3 показаны центры осцилляции (центры «тяжести»), которые располагаются над южными частями Тихого и Атлантического океанов в районе  $60^\circ$  ю.ш. для каждого месяца.

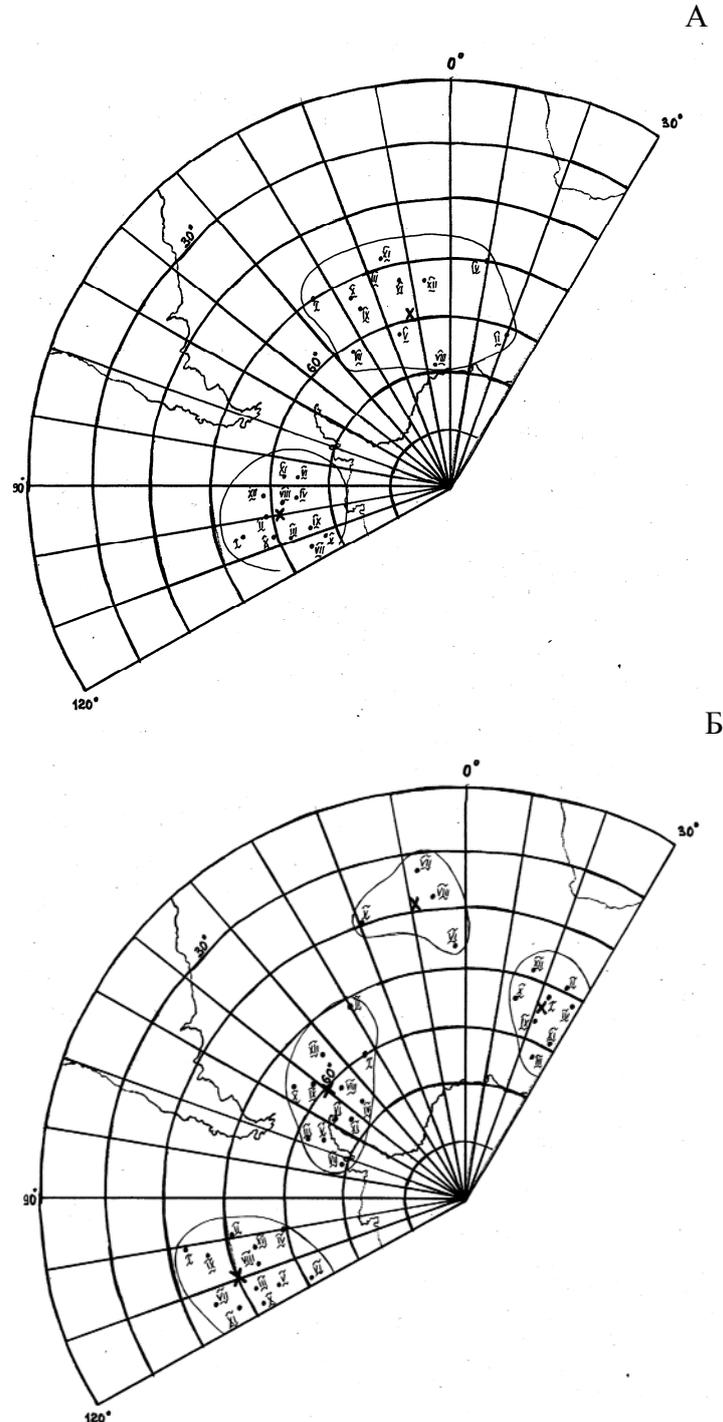


Рисунок 3 - Положение центров биполярной структуры в полях второго собственного вектора (А) и трёхполярной структуры в полях третьего собственного вектора (Б) в разные месяцы года на уровне АТ850.

Поскольку компонента  $Z_2$ , как указывалось, отражает процессы развития вихревой структуры в системе общей циркуляции атмосферы в отмеченных акваториях Южного океана, можно рассматривать указанную биполярную моду как Южно-Тихоокеанско-Атлантическое зональное колебание (ЮТОАЗК).

Представляет интерес рассмотреть тенденции изменения первой  $Z_1$ , а также второй  $Z_2$  главных компонент во второй половине XX столетия. Компонента  $Z_1$  характеризует изменение во времени интенсивности западно-восточного переноса, а компонента  $Z_2$  – тенденции изменения указанной выше осцилляции, связанной с вихревой компонентой. С этой целью было проведено сглаживание временных рядов компонент  $Z_1$  и  $Z_2$ . Оператором сглаживания явилось скользящее осреднение

$$\hat{Z}_2(t_k) = \sum_{i=k-n/2}^{k+n/2} \alpha_i Z_2(t_i), \quad (5)$$

где  $n$  – число точек, соответствующее периоду сглаживания;

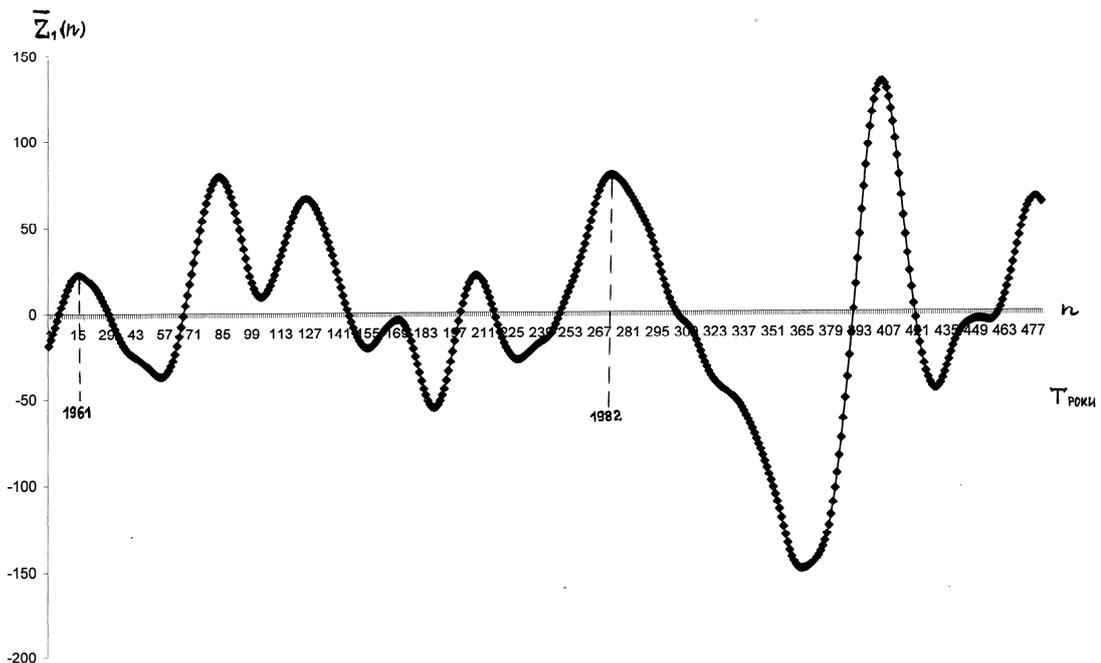
$\alpha_i$  – весовой множитель.

В качестве весового множителя использовался косинус-фильтр [5]. Результаты сглаживания представлены на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что в обоих временных рядах присутствуют 11-ти, 4-х и 2-х летние периодичности. Вызывает интерес тот факт, что, начиная с 1982 г, в компоненте  $Z_1$  резко увеличивается амплитуда колебания. Это, надо полагать, отражение того, что в этот период происходят значительные колебания во времени интенсивности наиболее крупномасштабного элемента общей циркуляции атмосферы в рассматриваемом секторе Южного полушария – западно-восточного переноса.

Сглаженный временной ряд  $Z_2$ , характеризующий указанную выше осцилляцию, имеет ярко выраженный тренд уменьшения её общей интенсивности, т.е. уменьшения интенсивности взаимодействия вихревых процессов в атмосфере между указанными акваториями Южного океана. Эти особенности крупномасштабных компонент циркуляционных процессов являются отражением, надо полагать, влияния глобального потепления планетарного климата.

А



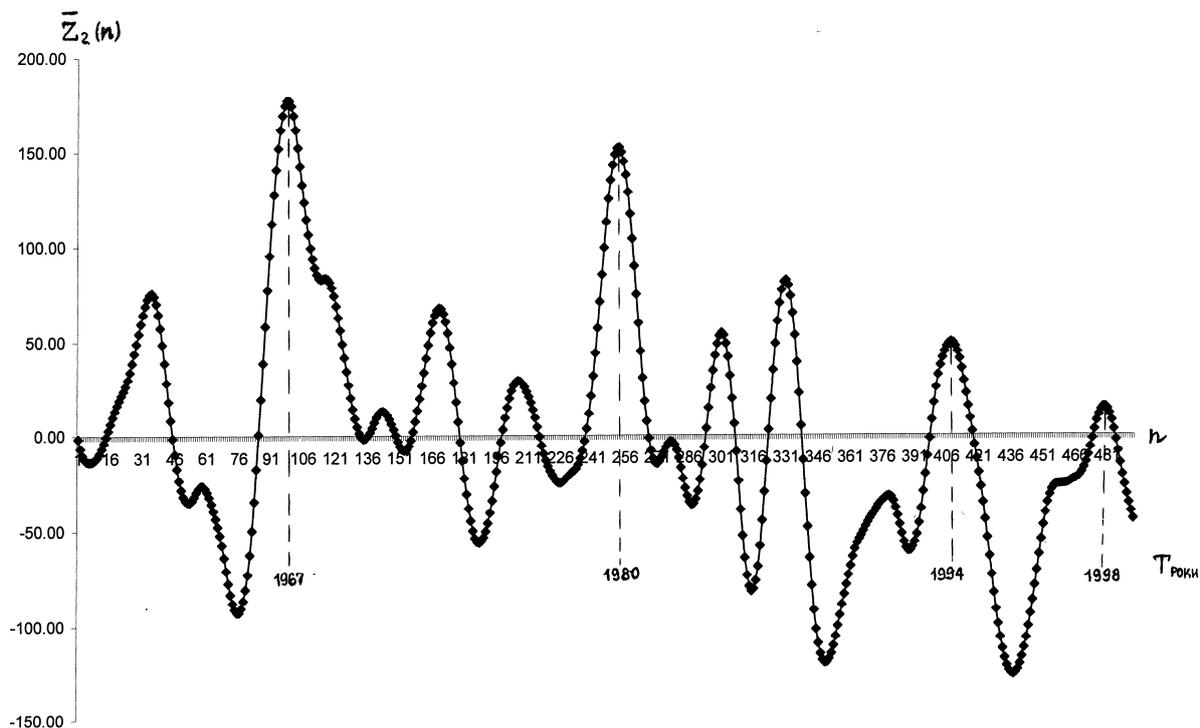


Рисунок 4 - Сглаженные временные ряды первой главной компоненты (А) и второй главной компоненты (Б) для изобарической поверхности АТ850.

**Выводы.** Выявлены основные особенности статистической структуры полей геопотенциала изобарических поверхностей 925, 850, 500 и 200 гПа в Западном секторе Южного полушария. В изучаемом регионе циркумполярный циклонический вихрь среднего зонального движения наблюдается на всех рассматриваемых высотах. Наибольшая изменчивость высот изобарической поверхности имеет место над морем Беллинсгаузена и поливом Дрейка, где отмечается максимум повторяемости траекторий циклонических вихрей. Получены главные компоненты этих полей. Установлена двухфазная осцилляция в полях второго собственного вектора, её центры (центры «тяжести») располагаются над южными частями Тихого и Атлантического океанов в районе  $60^\circ$  ю.ш. для каждого месяца (Южно-Тихоокеанско-Атлантическое зональное колебание). Она характеризует взаимосвязь вихревой компоненты в западно-восточном переносе между южными акваториями Тихого и Атлантического океанов. Показаны особенности временной изменчивости крупномасштабных компонент ( $Z_1$  и  $Z_2$ ) циркуляционных процессов в атмосфере во второй половине XX столетия. В обоих временных рядах присутствуют 11-ти, 4-х и 2-х летние периодичности.

### Список литературы

1. Полонский А.Б., Воскресенская Е.Н., Джиганшин Г.Ф., Баширин Д.В. Североатлантическое и Южное колебания, изменчивость характеристик деятельного слоя океана в Северной Атлантике и Европейский климат // В сб. 70 лет Одесскому экологическому университету. – Одесса, 2002. – с.127-134.

2. *Martin Visbeck, James W. Hurrell and Yochanan Kushnir. First International Conference on the North Atlantic Oscillation (NAO). Exchanges, Volume 6 № 1. March 2001.*
3. *Кузин В.И., Мусеев В.М. Моделирование реакции океана на атмосферные воздействия в период Эль-Ниньо // Труды международной конференции, посвященной 75-летию академика Г.И. Марчука и 20-летию Института вычислительной математики. Том II. – Москва, 19-22 июня 2000 г.*
4. *Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Романова И.В. Циклические центры действия атмосферы Южного полушария и изменение климата.СП б. Изд РГГМУ, 2005.- с.217.*
5. *Школьний Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник.-К.: Міносвіти України,1999. – с. 600.*

**Особенности великомасштабных циркуляционных процессов в атмосфере Западного сектора Южной півкулі. Галич Е.А., Школьний Е.П.**

*Виявлені основні особливості статистичної структури полів геопотенціалу ізобаричних поверхонь 925, 850, 500 і 200 гПа в Західному секторі Південної півкулі. Одержані головні компоненти цих полів. Встановлена двофазна осциляція, яка характеризує взаємозв'язок вихрової компоненти в західно-східному перенесенні між південними акваторіями Тихого і Атлантичного океанів. Показані особливості тимчасової мінливості великомасштабних компонент циркуляційних процесів в атмосфері в другій половині ХХ сторіччя.*

**Ключові слова:** структура, поля, геопотенціал, осциляція, реаналіз.

**Features of large-scale circulation processes in atmosphere of western sector of south hemisphere.**

**Galich E., Shkolniy E.**

*The basic features of statistical structure of the fields of the 925, 850, 500 and 200 gPa izobaric surfaces in the Western sector of the South hemisphere are exposed. The main components of these fields are received. Diphasic oscillation is set, characterizing intercommunication of vortex components in the western-east transfer between the south aquatoriums of Pacific and Atlantic oceans. The features of temporal changeability of large-scale component of circulation processes in atmosphere in the second half of the XX century are shown.*

**Keywords:** structure, fields, geopotential, oscillation, reanaliz.