

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛЕЙ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВЫСОТ В ТРОПОСФЕРЕ ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ**

*Выявлены основные особенности статистической структуры полей геопотенциальных высот изобарических поверхностей 850, 500 и 200 гПа в восточном секторе южного полушария. Получены главные компоненты этих полей. Показаны особенности временной изменчивости крупномасштабных компонент циркуляционных процессов в атмосфере во второй половине XX столетия. Определены статистически значимые скрытые периодичности и трендовые составляющие во временных рядах главных компонент.*

**Ключевые слова:** структура полей, геопотенциал, главные компоненты, периодичности.

**Введение.** Циркуляционные процессы над акваторией Южного океана и, особенно, в высоких широтах южного полушария ещё мало изучены, однако они играют большую роль в формировании и развитии крупномасштабных компонентов общей циркуляции атмосферы, а, следовательно, и климатической системы в целом. Изучению особенностей циркуляционных процессов в южном полушарии посвящен ряд работ [1-3]. В работах [4, 5] представлены результаты исследований особенностей статистической структуры полей геопотенциальных высот в западном секторе южного полушария изобарических поверхностей АТ-925, АТ-850, АТ-500 и АТ-200 гПа. Настоящая статья посвящена одному из актуальных направлений исследования, особенностям крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессов в восточном секторе южного полушария.

**Материалы и методы исследований.** Объектом исследования явились среднемесячные поля геопотенциальных высот изобарических поверхностей 850, 500 и 200 гПа. В качестве исходной информации были использованы данные реанализа ERA – 40 [6, 7], заданные в узлах регулярной сетки точек 2,5° на 2,5°, в секторе ограниченном по широте от 80° ю.ш. до 30° ю.ш. и меридианами 0° - 180° в.д., за период с 1958 г. по 2002 г. для каждого месяца года.

Процедура исследования статистической структуры рассматриваемых полей геопотенциальных высот основывалась на применении методов многомерного статистического анализа и, в частности, компонентного анализа [8].

На основе матриц ковариаций ( $K_x$ ) был проведен компонентный анализ, который позволяет выявить важные особенности структуры и динамики крупномасштабных атмосферных процессов. Основное уравнение полной проблемы собственных значений имеет вид

$$K_x W_i = \lambda_i W_i, \quad (1)$$

где  $\lambda_i$  - собственное значение;  $W_i$  - соответствующий ему собственный вектор.

Как известно, собственные значения являются дисперсиями  $\sigma_{Z_i}^2$  ортогональных компонент исследуемых полей, полученных путём их ортогонального преобразования в базисе собственных векторов ( $W$ )

$$Z_i = W' \Delta X_i. \quad (2)$$

Также, с помощью интегрального преобразования Фурье, были выявлены скрытые периодичности, содержащиеся во временных рядах главных компонент. Разложение функции  $Z_i(t)$  в ряд Фурье имеет вид

$$Z_i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (3)$$

где  $A_k$  - амплитуда  $k$  - той гармоники;  $\omega_k$  - её частота;  $\varphi_k$  - начальная фаза.

**Результаты исследований и их анализ.** Поля средних значений геопотенциальных высот во все месяцы года представляют собой системы линий, практически параллельных кругам широт с градиентом геопотенциала, направленным от Южного полюса к экватору. На рис. 1 в качестве примера представлено поле средних значений геопотенциальной высоты изобарической поверхности АТ-850 гПа для центрального месяца летнего сезона. В тёплое полугодие зона больших меридиональных градиентов сужается и простирается между параллелями 40 и 60° ю.ш. Зональная структура средних полей геопотенциальных высот нарушается в субтропической зоне южного полушария: наблюдаются области высокого давления, которые являются южными оконечностями Индийского, Южно-Атлантического и Южно-Тихоокеанского максимумов. Также необходимо отметить хорошо выраженные три климатических центра действия атмосферы пониженного давления: над морем Содружества, который объединяется с центром над морем Ларсена, формируя сплошную полосу пониженного давления и третий центр с наибольшими градиентами над морем Росса, который располагается южнее остальных. Структура средних полей изобарических поверхностей на всех рассматриваемых высотах отражает тот факт, что в тропосфере и нижней стратосфере южного полушария во все месяцы года преобладает западно-восточный перенос, который становится более интенсивным в холодное полугодие.

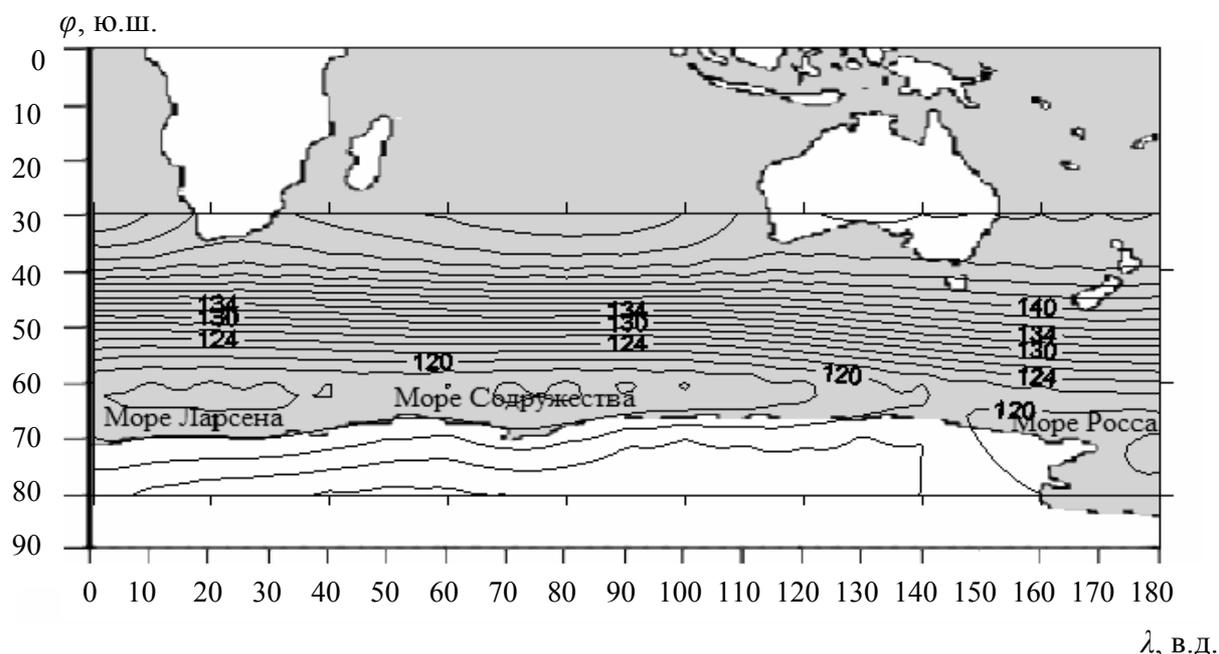


Рис. 1 – Поле средних значений геопотенциальной высоты изобарической поверхности АТ-850 гПа в январе.

Поля средних квадратических отклонений геопотенциальных высот во все месяцы года имеют сходную структуру на всех рассматриваемых поверхностях. Севернее 40-45° ю.ш. изолинии расположены зонально с уменьшением изменчивости в сторону тропических широт. В месяцы лета (рис. 2) образуется пояс максимальных значений с рядом центров. Ось пояса максимумов наклонена от 50° ю.ш. на западе области до 60-70° ю.ш. на востоке вблизи моря Росса. Вторая зона больших значений средних

квадратических отклонений располагается над побережьем южного континента. Между этими зонами максимума располагается узкая полоса сравнительно меньших значений средних квадратических отклонений. Надо полагать, что северная зона максимума изменчивости обусловлена треками полярнофронтовых циклонических образований, а южная – циклонами антарктического фронта.

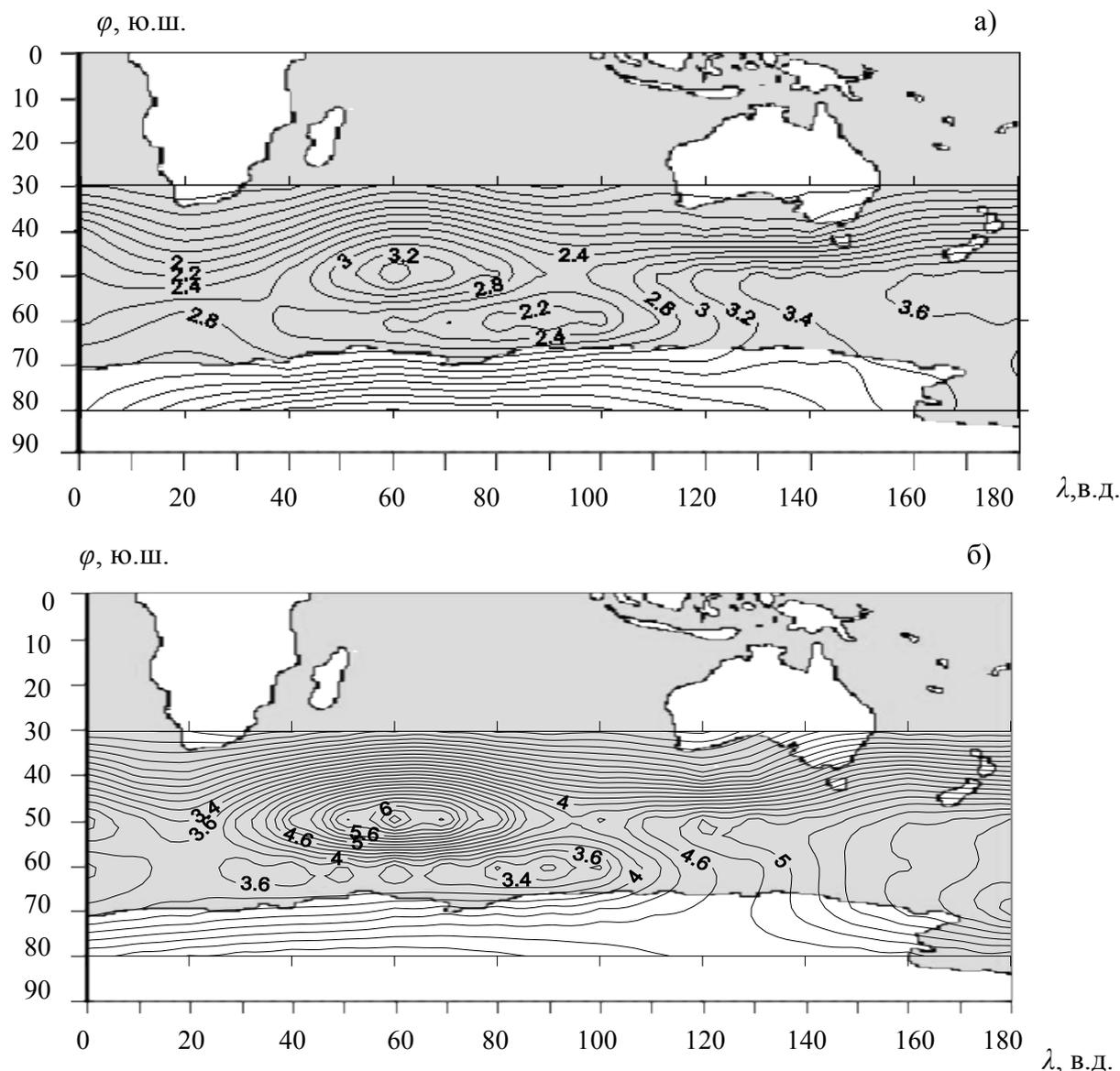


Рис. 2 – Поля средних квадратических отклонений геопотенциальных высот изобарических поверхностей АТ-850 (а) и АТ-500 гПа (б) в январе.

В зимние месяцы наблюдается непрерывное увеличение средних квадратических отклонений и расширение зоны максимальной изменчивости геопотенциальных высот, что может быть обусловлено интенсификацией циклонической деятельности в рассматриваемом регионе Южной полярной области.

Важные особенности структуры и динамики наиболее крупномасштабных атмосферных процессов удаётся выявить, применяя компонентный анализ [8]. С целью выделения наиболее крупномасштабных процессов было осуществлено ортогональное преобразование в базисе собственных векторов матриц ковариаций геопотенциальных высот изобарических поверхностей. Анализ собственных значений, являющихся

дисперсиями ортогональных компонент, показал, что количество главных компонент ( $Z_i$ ), дисперсии которых исчерпывают основную долю (более 70%) суммарной дисперсии полей геопотенциальных высот указанных поверхностей равно трём, а величина дисперсии, приходящаяся на каждую из них, зависит от времени года (рис. 3).

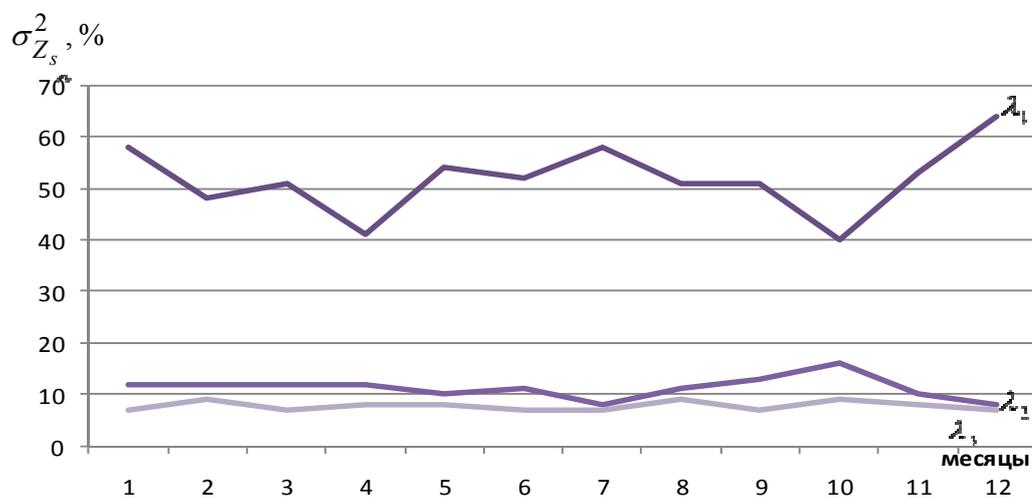


Рис. 3 - Процент охвата дисперсии первых трёх собственных значений геопотенциальных высот изобарической поверхности АТ-850 гПа.

В разные месяцы года доля дисперсий первых трех главных компонент, оказывается разной: в летние месяцы (ноябрь – февраль) и месяцы зимы (июнь – август) основная доля изменчивости приходится на первое собственное значение, а в переходные сезоны нагрузка на первую главную компоненту уменьшается и возрастает вклад второй и третьей компоненты. Это означает, что в летние и зимние месяцы крупномасштабная вихревая компонента в тропосфере интенсифицируется.

Эти результаты подтверждаются структурой полей первого собственного вектора, которые являются характеристикой наиболее крупномасштабных процессов общей циркуляции атмосферы (ОЦА). В качестве примера на рис. 4 представлено поле первого собственного вектора изобарической поверхности 200 гПа.

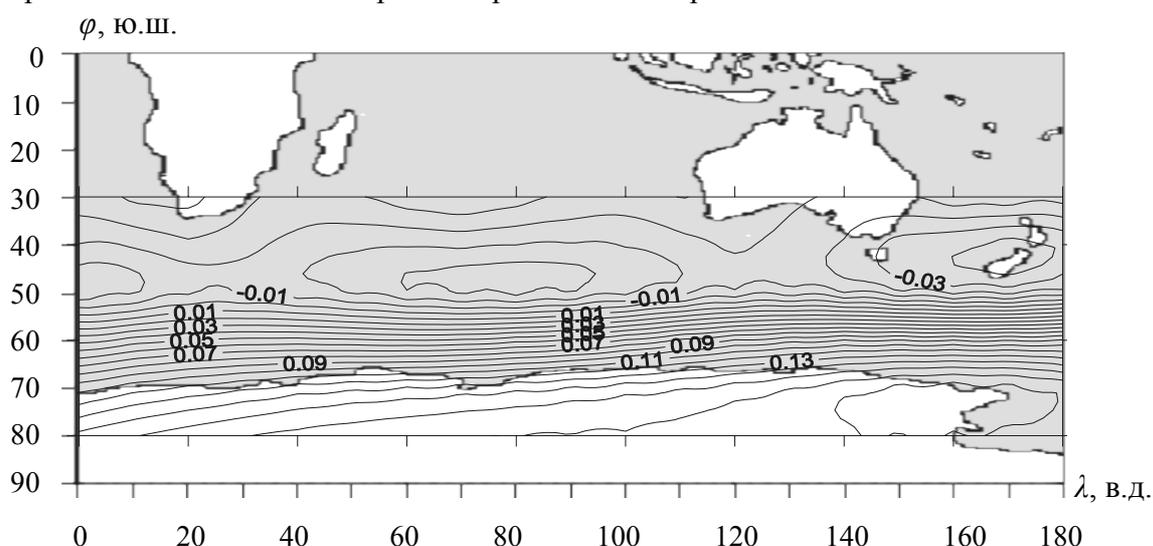


Рис. 4 – Поле первого собственного вектора изобарической поверхности АТ-200 гПа в январе.

Во все месяцы года поля обладают сходной структурой. Южнее  $50^\circ$  ю.ш. изолинии имеют зональный характер, причём наибольшие меридиональные градиенты наблюдаются между  $50$  и  $70^\circ$  ю.ш. Совершенно ясно, что такая структура поля первого собственного вектора отражает преобладание наиболее крупномасштабной компоненты атмосферных движений – западно-восточного переноса. Зональность полей геопотенциальных высот нарушается севернее  $50^\circ$  ю.ш., отражая, надо полагать, влияние субтропических центров действия южного полушария.

На рис. 5 представлены поля второго собственного вектора изобарических поверхностей АТ-850 (а) и АТ-500 (б) в июле, которые в полной мере отображают характерную структуру подобных полей остальных месяцев года на всех рассматриваемых изобарических поверхностях. Как было показано (рис. 3), вклад в суммарную дисперсию второго собственного значения во все месяцы года значительно меньше вклада первого собственного значения, поэтому поля второго собственного вектора характеризуют процессы меньшего масштаба, по сравнению с преобладающим зональным потоком, а именно интенсивную циклоническую деятельность.

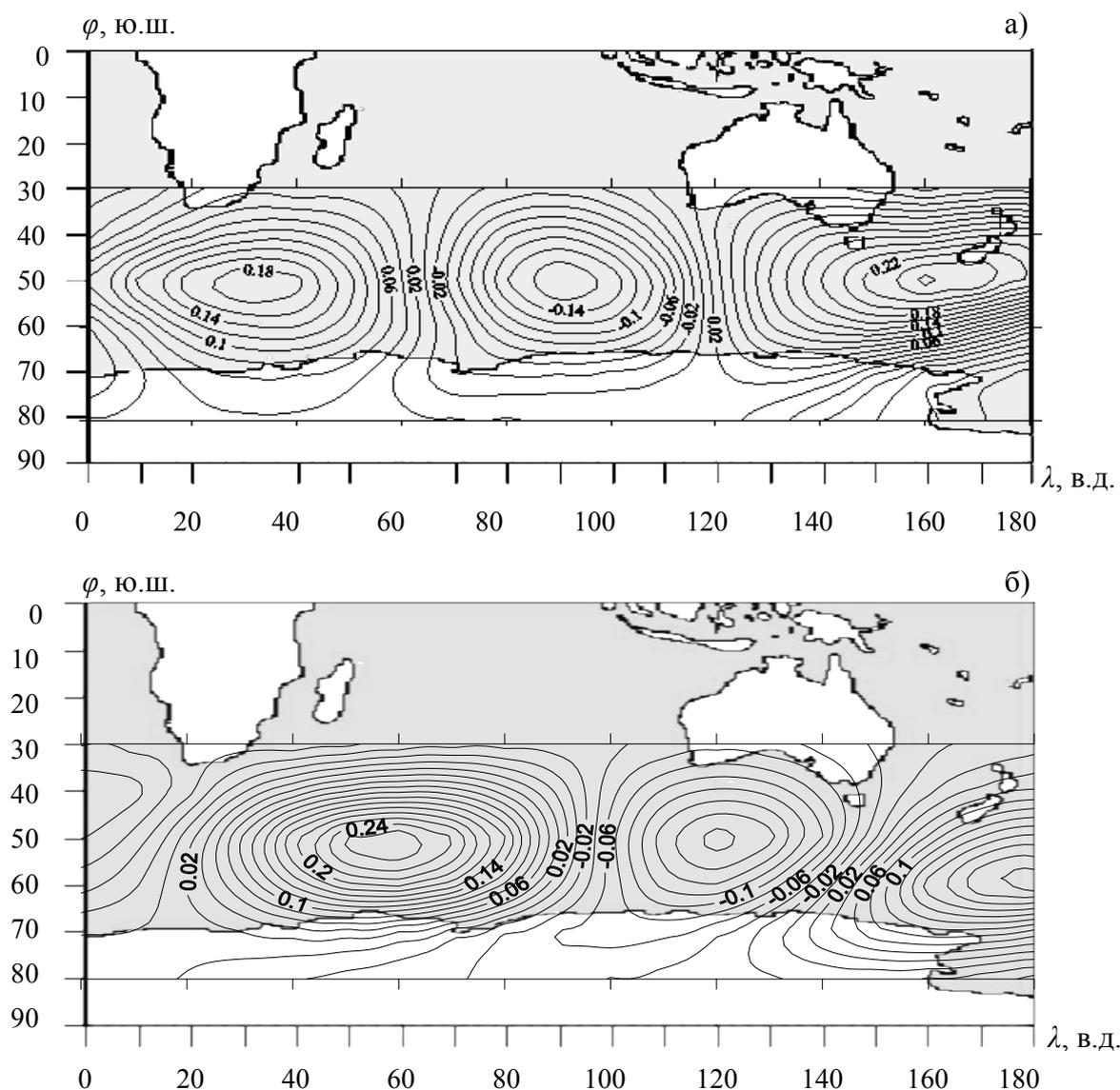


Рис. 5 – Поля второго собственного вектора изобарических поверхностей АТ-850 (а) и АТ-500 (б) в июле.

Представляют интерес временные ряды главных компонент. Они отражают характер изменения во времени крупномасштабных атмосферных процессов в рассматриваемый период. Компонента  $Z_1$  характеризует изменение во времени интенсивности западно-восточного переноса, а компоненты  $Z_2$  и  $Z_3$  – тенденции изменения вихревой составляющей. Каждая из них содержит периодические компоненты, отфильтровать которые можно с помощью интегрального преобразования Фурье [8]. Результаты расчетов дали возможность получить амплитудно – частотные характеристики  $A(\omega_i)$  для каждого из процессов  $Z_i(t)$  ( $i = 1, 2, 3$ ). В табл. 1 и 2 представлены характеристики статистически значимых периодических колебаний первой, второй и третьей главных компонент изобарических поверхностей АТ-500 и АТ-200.

Анализ таблиц свидетельствует о том, что временные ряды главных компонент, содержат квазидвухгодовые, квазигодовые, полугодовые и сезонные колебания на всех рассматриваемых уровнях. Статистически значимой является и 18-ти летняя цикличность крупномасштабных атмосферных процессов. Если годовая и сезонные периодичности являются естественными, отражающими влияние вращения Земли по орбите, связанные с особенностями поступления солнечной радиации, то 18-ти и квазидвухлетний циклы вызывают особое внимание. Первый из них встречается в таких известных осцилляциях, как Североатлантическое колебание, Эль-Ниньо Южное колебание и Северотихоокеанское - Американское колебание. Двухгодичное колебание, как известно, присуще многим физическим характеристикам состояния атмосферы и океана в разных частях планеты, но к этому времени еще не создано более – менее обоснованной гипотезы о факторах этой гармонии.

Таблица 1 - Периодические компоненты временного ряда первой, второй и третьей главных компонент изобарической поверхности АТ-500

$i$	$\omega, \text{мес}^{-1}$	$T, \text{мес.}$	$T, \text{год}$	$A, \text{дм}$	$\varphi, \text{рад.}$
$Z_1(t)$					
12	0,2	29,3	2,5	55,2	-1,005
16	0,3	22,3	1,9	54,9	-1,46
22	0,4	16,4	1,4	60,4	0,465
64	1,1	5,7	0,5	59,7	1,185
129	2,2	2,8	0,2	67,7	0,591
$Z_2(t)$					
16	0,3	22,3	1,9	65,8	1,11
32	0,5	11,4	0,9	71,9	-0,522
56	0,9	6,5	0,5	70,9	-0,173
76	1,3	4,8	0,4	72,5	-0,779
129	2,2	2,8	0,2	75,1	-0,573
$Z_3(t)$					
1	0,03	219,5	18,3	61,3	0,484
3	0,1	100,8	8,4	61,1	-0,61
32	0,5	11,4	0,9	61,4	-0,037
51	0,8	7,2	0,6	70,6	1,376
74	1,3	4,9	0,4	62,5	1,252
122	2,1	3,0	0,3	73,5	-0,159

Таблица 2 – Периодические компоненты временного ряда первой, второй и третьей главных компонент изобарической поверхности АТ-200

$i$	$\omega$ , мес <sup>-1</sup>	$T$ , мес.	$T$ , год	$A$ , дм	$\varphi$ , рад.
$Z_1(t)$					
1	0,02	221,2	18,4	118,4	1,219
15	0,3	23,9	2,0	75,2	0,525
45	0,7	8,2	0,7	78,7	1,223
74	1,2	5,0	0,4	96,8	-1,399
102	1,7	3,6	0,3	88,3	-0,328
$Z_2(t)$					
9	0,2	38,7	3,2	82,8	1,026
13	0,2	27,4	2,3	82,5	-0,078
31	0,5	11,8	1,0	131,9	0,974
39	0,6	9,4	0,8	92,2	-1,154
120	2,0	3,1	0,3	118,9	1,264
$Z_3(t)$					
11	0,2	32,1	2,7	56,05	-0,652
14	0,2	25,5	2,1	68,3	-1,069
22	0,4	16,5	1,4	71,8	1,054
75	1,3	4,9	0,4	72,7	0,865
155	2,6	2,4	0,2	76,1	0,883

Графики временных рядов главных компонент геопотенциальных высот изобарических поверхностей свидетельствуют о том, что они содержат не только колебания, которые обусловлены циркуляционными процессами в данном регионе, но и шумовую компоненту. Избавиться от нее можно путем операции фильтрации с помощью скользящего осреднения. В качестве весового множителя можно использовать косинус-фильтр [8]. Период сглаживания временных рядов главных компонент был выбран 2 года. Общий анализ сглаженных временных рядов главных компонент (рис. 6, 7, 8) рассматриваемых изобарических поверхностей показывает, что в случайных процессах, наблюдаются квазидесятилетние, а также пяти и четырехлетние колебания.

Обращает внимание увеличение размаха колебания первой главной компоненты АТ-850 в конце минувшего столетия (рис. 6). Это, надо полагать, отражение увеличения изменчивости интенсивности преобладающего западно-восточного переноса.

Сглаженный временной ряд второй главной компоненты имеет вид, мало отличающийся от вида первой главной компоненты. Следует отметить, что обнаруженный в сглаженном временном ряду первой главной компоненты увеличивающийся размах колебаний, в конце прошлого столетия, ярко проявляется и во временном ряду второй главной компоненты. Это даёт основание сделать вывод, что усиление изменчивости интенсивности западно-восточного переноса в восточном секторе Южной полярной области сочетается с интенсификацией процессов и синоптического масштаба поверхности АТ-850.

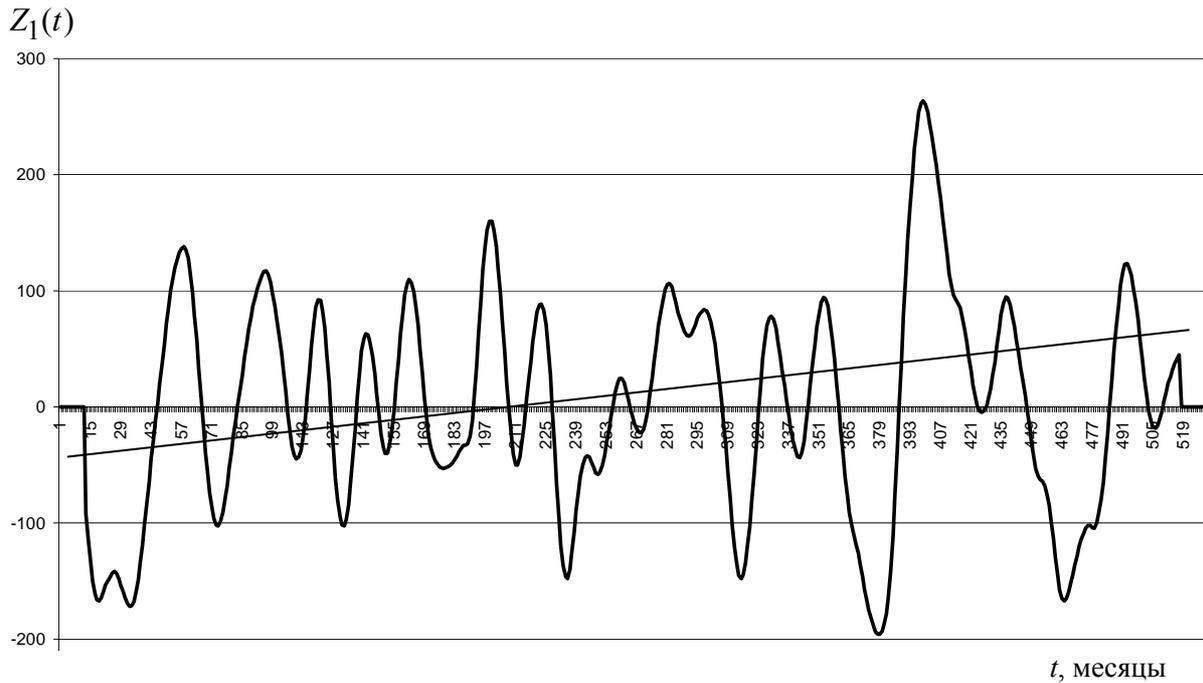


Рис. 6 – Сглаженный временной ряд первой главной компоненты изобарической поверхности АТ-850.

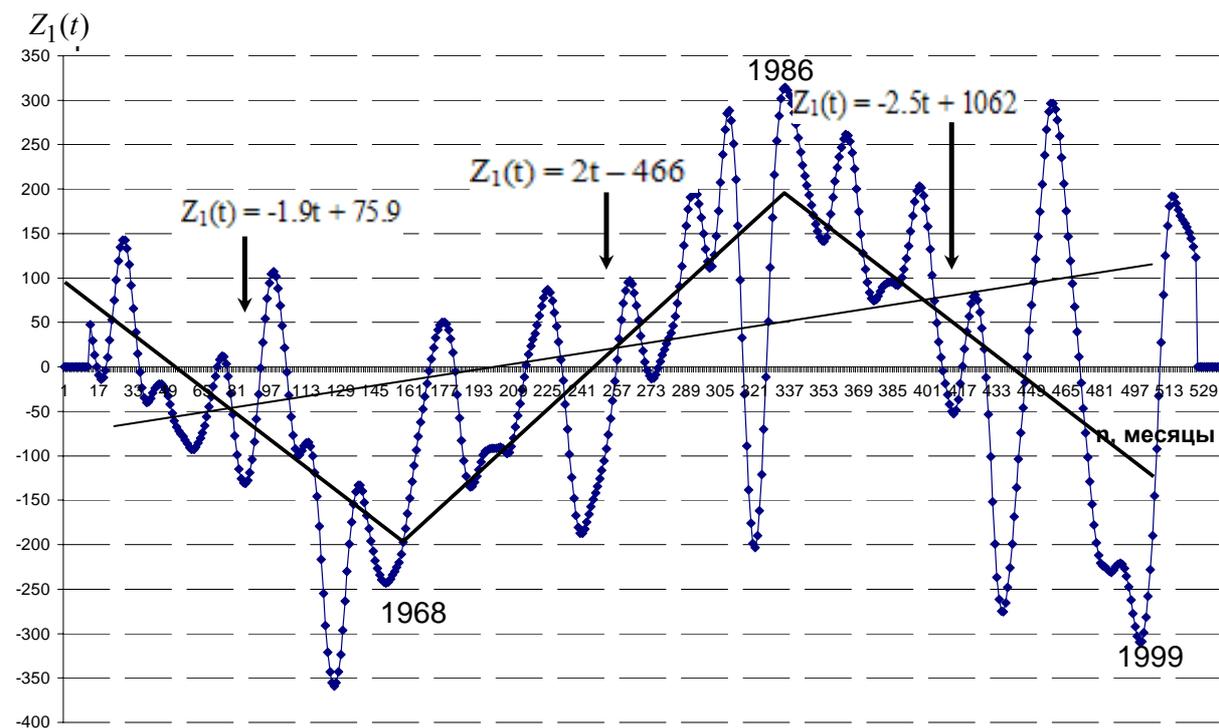


Рис. 7 – Сглаженный временной ряд первой главной компоненты изобарической поверхности АТ-500.

Особенностью построенного сглаженного временного ряда первой главной компоненты изобарической поверхности АТ-500 (рис. 7), является наличие трёх ярко выраженных трендов. Тренды первой компоненты отражают периоды ослабления (до 1968 г. и после 1986 г.) общей интенсивности наиболее крупномасштабной компоненты ОЦА, а в период с 1968 по 1986 – ее усиления.

Анализ сглаженного временного ряда первой главной компоненты изобарической поверхности АТ-200 (рис. 8) показывает, что в случайном процессе наблюдается квазидвадцатилетняя периодичность, а также 5-ти, 4-х и 2-х летние колебания. Из графика видно, что практически синхронно с изобарической поверхностью АТ-500 проявляются тренды с чередующимися знаками интенсивности наиболее крупномасштабной компоненты. В среднем же за весь период можно отметить тренд роста интенсивности колебаний первой главной компоненты в рассматриваемый период. Уравнение тренда представлено на рисунке.

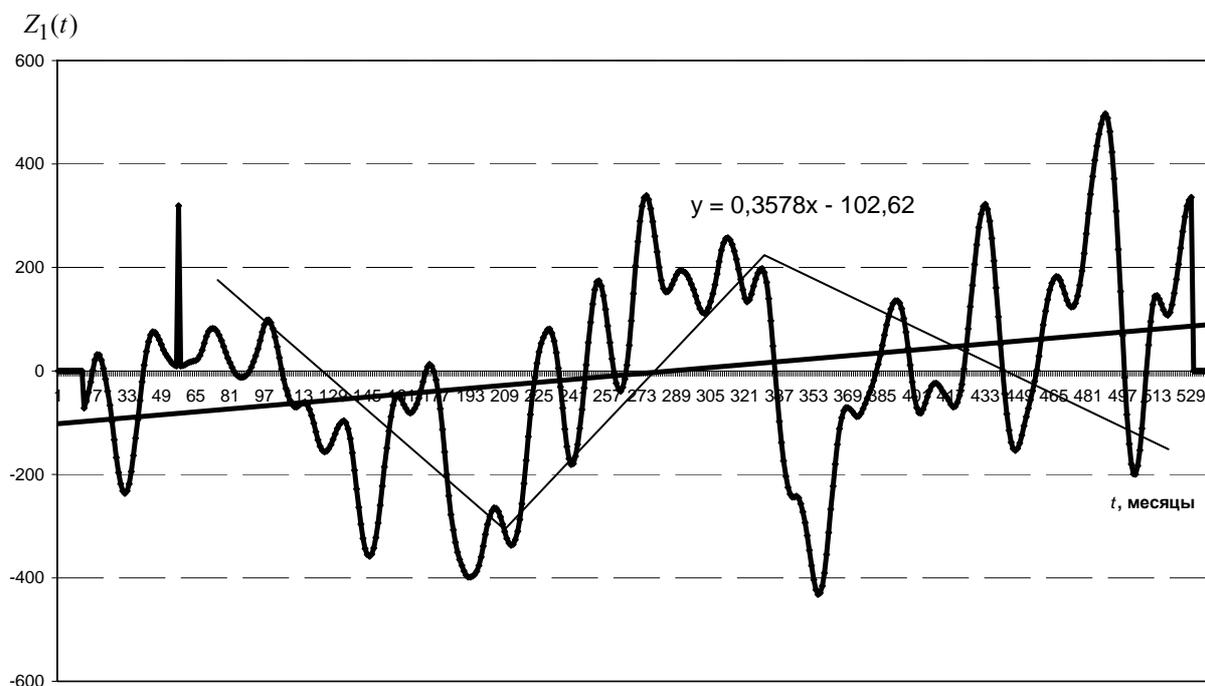


Рис. 8 – Сглаженный временной ряд первой главной компоненты изобарической поверхности АТ-200.

Для периодов, которые относятся к указанным трендам, проведена фильтрация исходных полей геопотенциальных высот путём обратного преобразования главных компонент в базисе собственных векторов [8]. Эти численные эксперименты подтвердили тот факт, что временные ряды первых двух главных компонент действительно несут в себе информацию о наиболее интенсивных и значительных крупномасштабных циркуляционных процессах. Отфильтрованные поля отклонений геопотенциальных высот свидетельствуют о том, что положительным трендам второй главной компоненты соответствует значительное ослабление циклонической активности в исследуемом регионе.

Анализ сглаженных временных рядов показывает, что они дают возможность более детально проанализировать особенности развития циркуляционных процессов в рассматриваемом регионе. Это касается и выявления крупномасштабных периодичностей, и выявления трендовых составляющих, содержащихся во временных рядах главных компонент.

**Выводы.** Выявлены основные особенности статистической структуры полей геопотенциальных высот изобарических поверхностей 850, 500 и 200 гПа в восточном секторе южного полушария. В изучаемом регионе циркумполярный циклонический вихрь среднего зонального движения наблюдается на всех рассматриваемых высотах. Определены особенности временной изменчивости крупномасштабных компонент

циркуляционных процессов в атмосфере: рост амплитуды колебаний первой главной компоненты выявляется на всех рассмотренных изобарических поверхностях в конце минувшего столетия, отражая увеличение изменчивости интенсивности преобладающего западно-восточного переноса; увеличивающийся размах колебаний и линейные тренды роста проявляется и во временных рядах второй главной компоненты, что может быть связано, как показал анализ отфильтрованных полей аномалий геопотенциальных высот, с ослаблением процессов синоптического масштаба в рассматриваемом регионе.

Полученные результаты требуют дальнейших исследований и физических обоснований выявленных особенностей и динамики крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессов.

### Список литературы

1. Turner J. The El-Nino-Southern Oscillation and Antarctica / Int.J. of Climatol.- 2004.- V.24.-P.1-32.
2. Ryan L., Fogt and David H. Bromwich. Decadal Variability of the ENSO Teleconnection to the High-Latitude South Pacific Governed by the Southern Annular Mode // J. Climate.- 2004.- V. 19.- P. 979-997.
3. Разанова И.В., Смирнов Н.П. Циклонические центры действия атмосферы южного полушария и изменения климата: Монография. -СПб.: Изд. РГГМУ.-2004.- 217 с.
4. Галич Е.А., Школьный Е.П., Севастьянов А.И. Главные компоненты полей геопотенциала в западном секторе Южного полушария / Доповіді Національної академії наук України.- 2008. - № 2.- С. 117-123.
5. Оцінка стану кліматичної системи Західної Антарктики у світлі мінливості циркуляційної тропосфери і низької стратосфери термічних та динамічних характеристик Південного океану, а також динаміки зледеніння / Звіт НДР, №71, 2006.- 219 с. (№ 0104U000958).
6. Atlas ECMWF ERA-40 / [Project Report Series].- 2003.- № 19.- 157 p.
7. Служба даних ECMWF ERA-40 [Електронний ресурс].- Режим доступа к журналу: <http://www.ecmwf.int/products/data>.
8. Школьный Е.П., Лосева И.Д., Гончарова Л.Д. Обработка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підручник.- К.: Міносвіти України, 1999. – 600 с.

#### **Статистична структура полів геопотенціальних висот в тропосфері східного сектора південної півкулі. Галич Е.А., Покровщук М. О., Евсеев Е. Г., Дмитриенко Ю. О.**

*Виявлені основні особливості статистичної структури полів геопотенціальних висот ізобаричних поверхонь 850, 500 і 200 гПа в східному секторі південної півкулі. Одержані головні компоненти цих полів. Показані особливості часової мінливості великомасштабних компонент циркуляційних процесів в атмосфері в другій половині ХХ сторіччя. Визначені статистично значущі приховані періодичності і трендові компоненти в часових рядах головних компонент.*

**Ключові слова:** структура поля, геопотенціал, головні компоненти, періодичності.

#### **The statistical structure of the fields of geopotential heights in troposphere eastern sector of the South hemisphere. Galich E.A., Pokrowschuk M., Evseev E., Dmitrienko U.**

*The basic features of statistical structure of the fields of the 850, 500 and 200 gPa izobaric surfaces in the South hemisphere are exposed. The main components of these fields obtained. The features of temporal changeability of large-scale component of the atmosphere circulation processes in the second half of the XX century are shown. The certain periodicals and trends components in the time series of main components have hidden.*

**Keywords:** structure fields, geopotential, main components, periodicals.