

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛЕЙ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВЫСОТ В НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЕ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ

*Выявлены основные особенности статистической структуры полей геопотенциальных высот изобарических поверхностей 100 и 50 гПа в Южном полушарии. 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, поля, геопотенциал, главные компоненты, периодичности.

**Вступление.** 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. В работах [1, 2] представлены результаты исследований особенностей статистической структуры полей геопотенциальных высот изобарических поверхностей АТ-925, АТ-850, АТ-500 и АТ-200 гПа.

Изучению особенностей циркуляционных процессов в Южном полушарии посвящен ряд работ [3, 4]. В них рассматривался, в основном, характер цикло - и антициклогенеза в высоких широтах Южного полушария, а также рассматриваются полугодовые и годовые колебания термобарических полей в тропосфере [5, 6]. Настоящая статья посвящена малоизученной проблеме – исследованию особенностей статистической структуры полей геопотенциальных высот в нижней стратосфере высоких широт Южного полушария.

**Материалы и методы исследований.** Объектом исследования явились среднемесячные поля геопотенциальных высот изобарических поверхностей 100 и 50 гПа. В качестве исходной информации были использованы данные реанализа ERA – 40 в Южном полушарии, заданные в узлах регулярной сетки точек 2,5° на 2,5° за период 1958 - 2002 гг. для каждого месяца года.

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

На основе матриц ковариаций ( $K_x$ ) был проведен компонентный анализ [7], 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

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

**Результаты исследований и их анализ.** Поля средних значений геопотенциальных высот нижней стратосферы во все месяцы года от Южного полюса

до 30° ю. ш. представляют собой системы линий, практически параллельных кругам широт с градиентом геопотенциала, направленным от Южного полюса к экватору (рис. 1). В тёплое полугодие пояс сгущенных изогипс сужается и простирается, в основном, между параллелями 35 и 55° ю.ш., а в холодное полугодие распространяется практически на всё рассматриваемое пространство. Сезонные различия средних полей заключаются ещё в том, что в холодное полугодие меридиональные градиенты геопотенциала увеличиваются (рис. 1, а). Нарушается также зональная структура средних полей геопотенциала в теплый период в тропической зоне Южного полушария: четко проявляются гребни высокого давления (рис. 1, б), особенно над южной частью Тихого океана (Южно-Тихоокеанский и Южно-Атлантический антициклоны). Структура средних полей изобарических поверхностей АТ-100 и АТ-50 гПа отражает тот факт, что в нижней стратосфере Южного полушария во все месяцы года преобладает западно-восточный перенос, который становится более интенсивным в холодное полугодие.

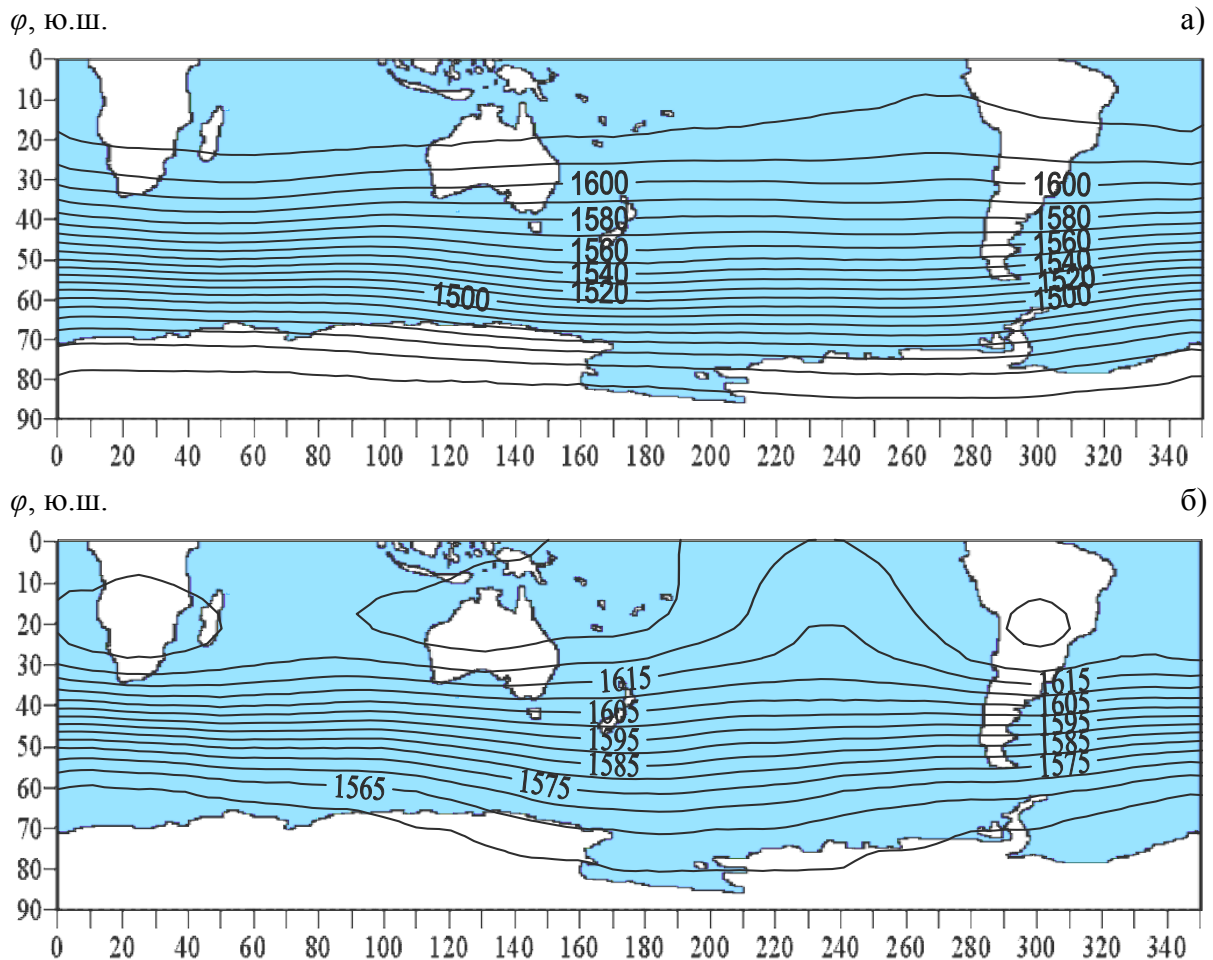


Рис. 1 – Поля средних значений геопотенциальных высот изобарической поверхности АТ-100 гПа для центральных месяцев зимы (июль (а)) и лета (январь (б)) Южного полушария.

На рис. 2 в качестве примера представлены поля изменчивости геопотенциала изобарических поверхностей АТ-100 и АТ-50 для зимнего сезона (июнь). Наибольшая изменчивость геопотенциала наблюдается над акваторией моря Амундсена и вытягивается в виде гребня высоких значений вдоль 60 - 70° ю.ш. над проливом

Дрейка, отражая преобладающие траектории циклонических вихрей, которые перемещаются с запада на восток под действием западно-восточного переноса. Аналогичный вид имеют поля среднеквадратических отклонений изобарических поверхностей АТ-100 и АТ-50 гПа и в остальные месяцы года.

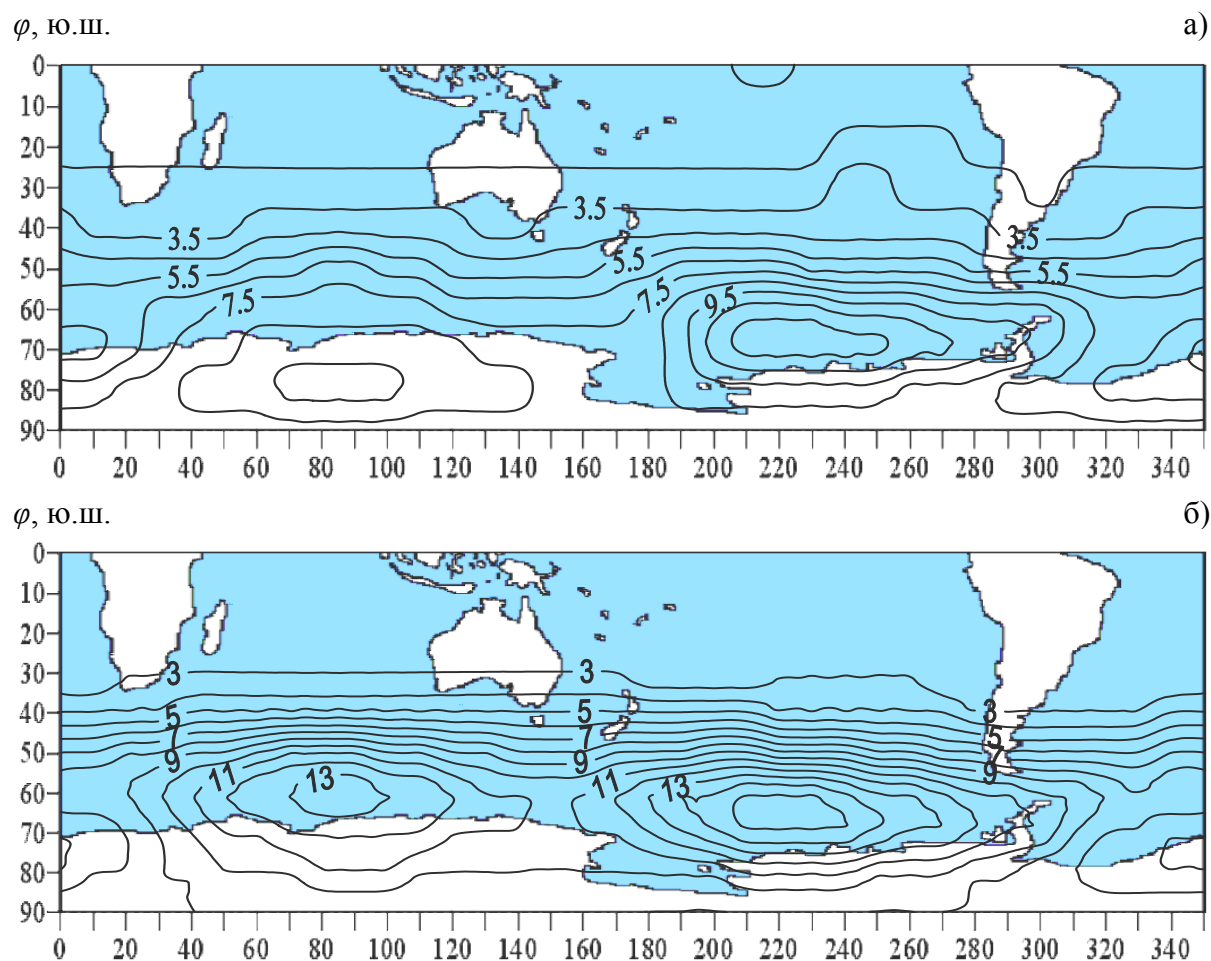


Рис. 2 – Поля изменчивости геопотенциала изобарических поверхностей АТ-100 (а) и АТ-50 гПа (б) в июне.

Важные особенности структуры и динамики наиболее крупномасштабных атмосферных процессов удаётся выявить, применяя компонентный анализ. С целью выделения наиболее крупномасштабных процессов было осуществлено ортогональное преобразование в базисе собственных векторов матриц ковариаций геопотенциальных высот изобарических поверхностей АТ-100 и АТ-50 гПа. Анализ собственных значений, являющихся дисперсиями ортогональных компонент и сумма которых равна суммарной дисперсии полей геопотенциальных высот:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \sum_{i=1}^n \sigma_{z_i}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{x_i}^2, \quad (3)$$

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).

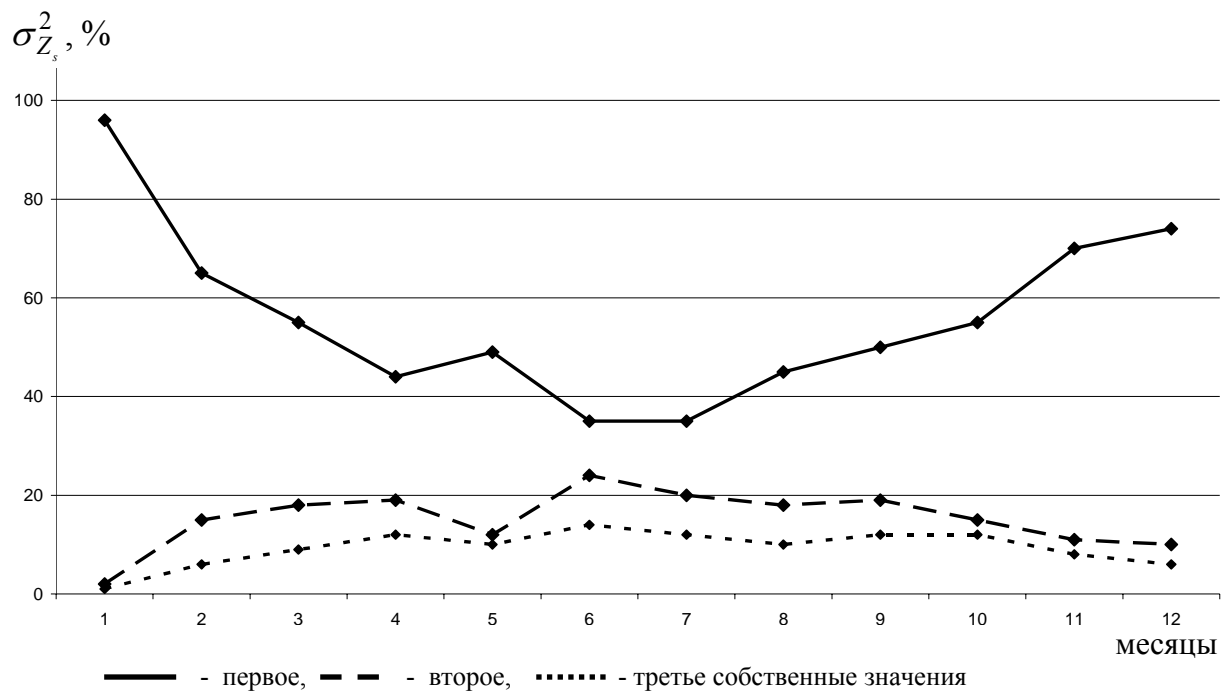


Рис. 3 - Процент охвата дисперсии первых трёх собственных значений геопотенциальных высот изобарической поверхности АТ-50 гПа.

В разные месяцы года доля дисперсий первых трех главных компонент, оказывается разной: если в начале весны и в летние месяцы (ноябрь – февраль) основная доля изменчивости приходится на первое собственное значение, то с приближением к зимним месяцам, а также в месяцы зимы (июнь – август) Южного полушария нагрузка на первую главную компоненту уменьшается до 45 – 35% от суммарной дисперсии и возрастает вклад в формирование циркуляционных процессов второй и третьей компоненты. Это означает, что в летние месяцы крупномасштабная вихревая компонента в стратосфере ослаблена.

Эти результаты подтверждаются структурой полей первого собственного вектора, которые являются характеристикой наиболее крупномасштабных процессов общей циркуляции атмосферы (ОЦА). В качестве примера на рис. 4 представлены поля первого собственного вектора изобарической поверхности АТ-50 гПа. Они имеют вид линий, практически параллельных кругам широт с небольшими горизонтальными градиентами, однако с приближением к зимнему сезону увеличиваются меридиональные градиенты в полях первого собственного вектора, что является отражением усиления интенсивности стратосферного циркумполярного вихря и уже в мае (рис. 4, б) оформляется биполярная структура с центрами над морем Беллингаузена – Антарктическим полуостровом и землей Уилкса. Такая структура сохраняется в течение всей зимы и ранней осени. Биполярная структура отражает интенсификацию вихревой компоненты ОЦА в стратосфере, которая является основным механизмом межширотного обмена.

Увеличение интенсивности вихревой компоненты особенно отчетливо проявляется в полях второго (рис. 5) и третьего собственного вектора. Поскольку вторая главная компонента, как указывалось, отражает процессы развития вихревой структуры в системе общей циркуляции атмосферы в отмеченных акваториях Южного океана, то определённую биполярную моду можно рассматривать как ранее выявленное [2] Южно-Тихоокеанско-Атлантическое зональное колебание (ЮТОАЗК).

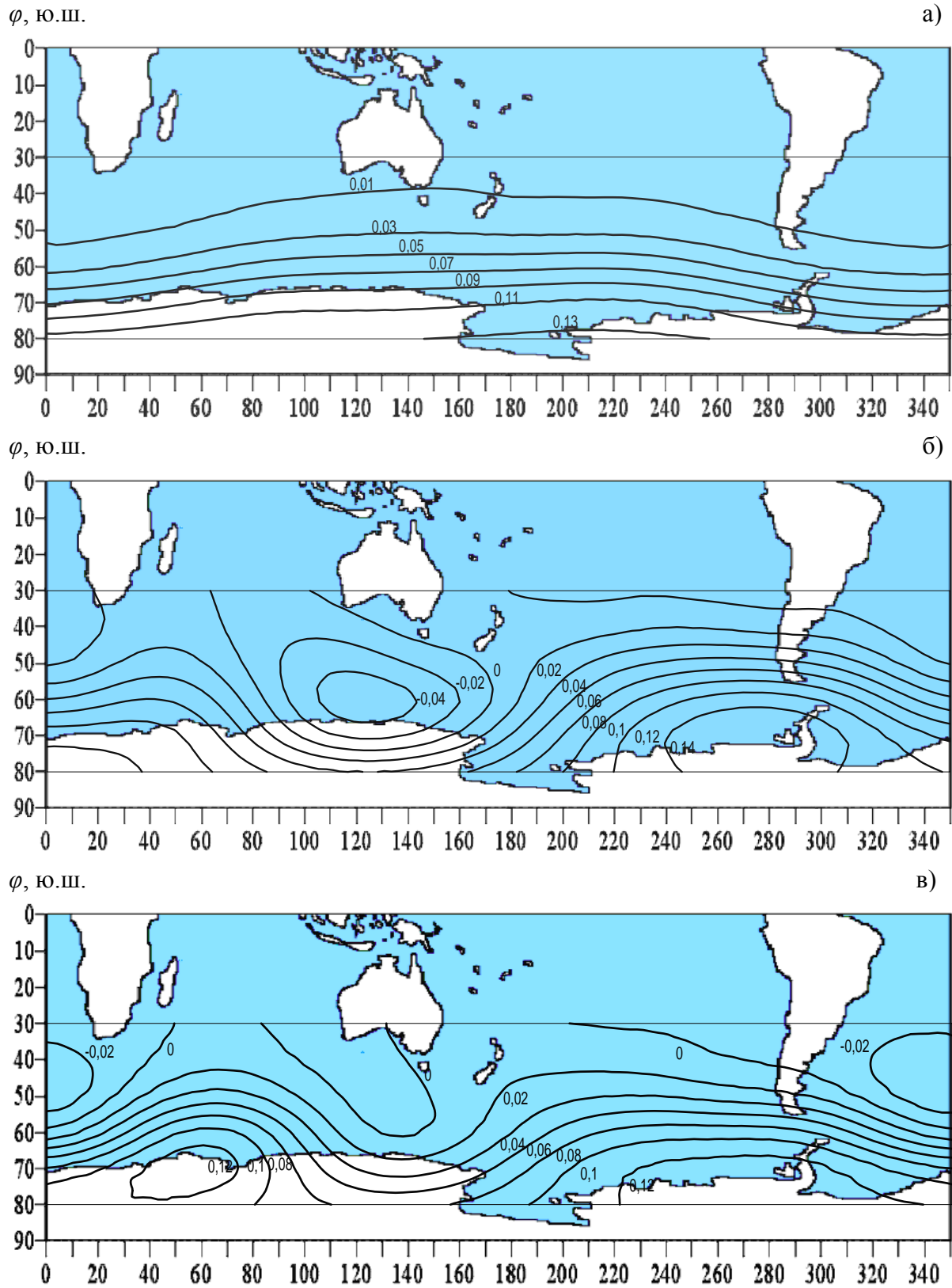


Рис. 4 – Поля первого собственного вектора изобарической поверхности АТ-50 гПа для января (а), мая (б) и июля (в).

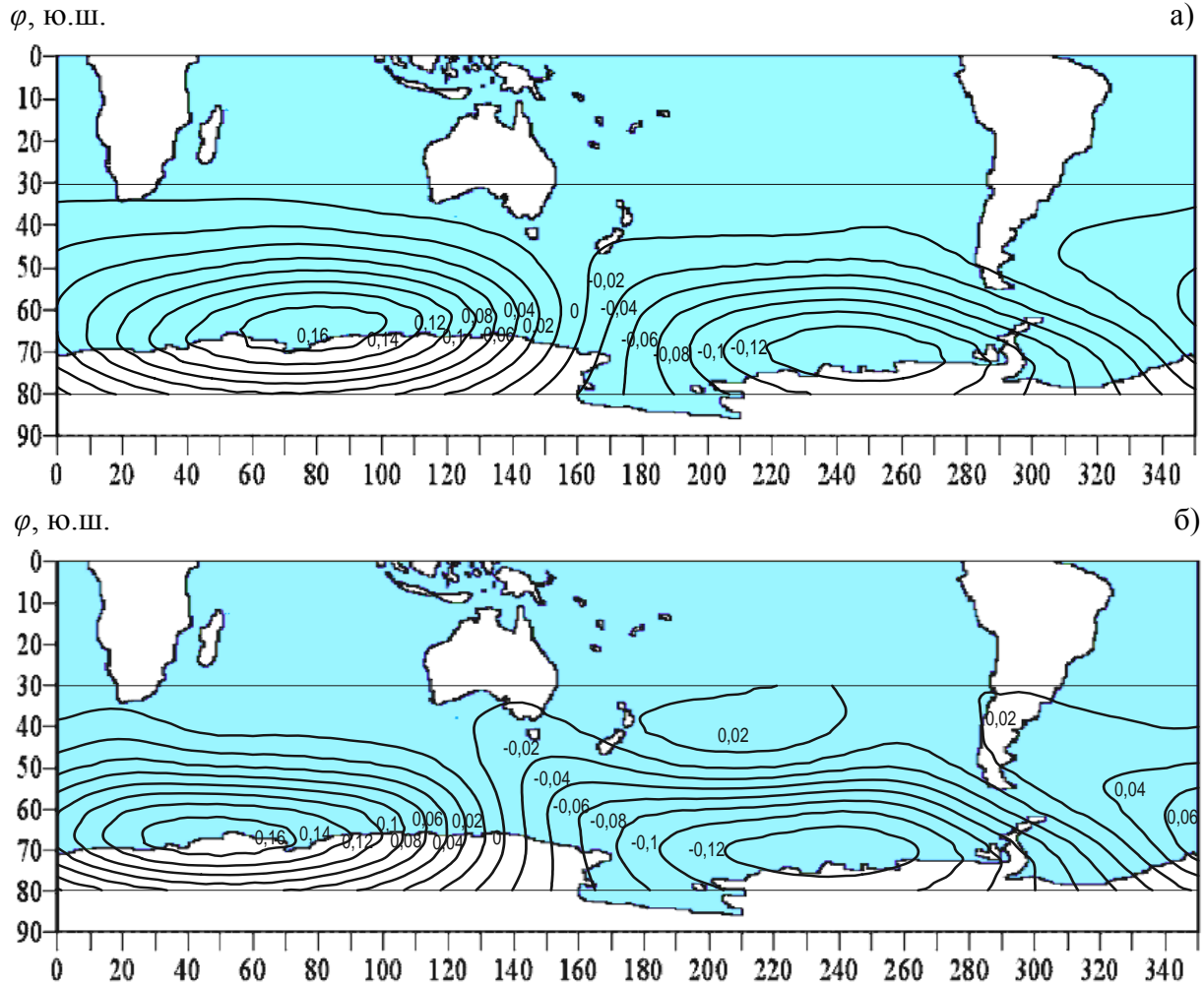


Рис. 5 – Поля второго собственного вектора изобарической поверхности АТ-50 (а) и АТ-100 гПа (б) для ноября.

Представляют интерес временные ряды главных компонент. Они отражают характер изменения во времени крупномасштабных атмосферных процессов в стратосфере в рассматриваемый период. Компонента  $Z_1$  характеризует изменение во времени интенсивности западно-восточного переноса, а компонента  $Z_2$  – тенденции изменения указанной выше осцилляции, связанной с вихревой компонентой. Графики временных рядов главных компонент геопотенциальных высот изобарических поверхностей АТ-50 и АТ-100 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 [7]. Период сглаживания временных рядов главных компонент был выбран 4 года.

Для разных сезонов сглаженные ряды первых двух главных компонент полей геопотенциальных высот изобарических поверхностей АТ-50 и АТ-100 гПа имеют значительные различия. Их вид свидетельствует, что в рассмотренный период крупномасштабные характеристики ОЦА Южного полушария происходили по-разному.

Летом (февраль) до 1978 года, наблюдался тренд роста первой главной компоненты, затем тренд уменьшения (рис. 6). Это означает, что летом в первый

период происходило усиление во времени зональной циркуляции в стратосфере, во второй период – ее ослабление.

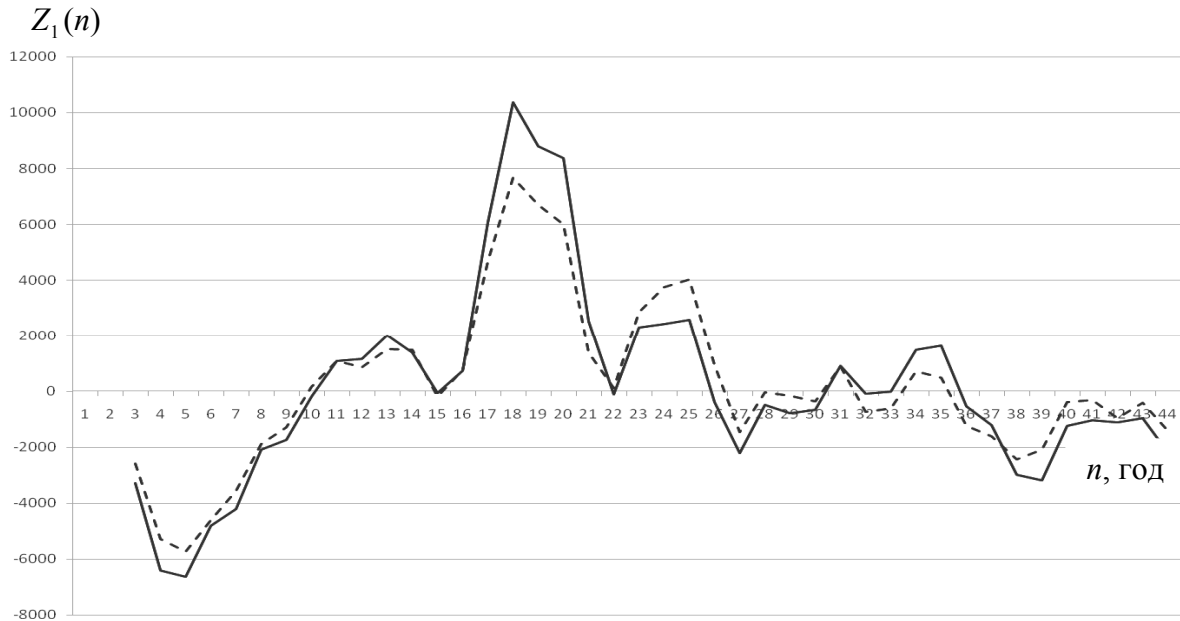


Рис. 6 – Сглаженные ряды первой главной компоненты для летнего периода (февраль) изобарических поверхностей АТ-50 ( — ) и АТ-100 гПа ( - - - ).

Осенью (март) скорость падения тренда первой главной компоненты во вторую половину срока уменьшилась, а зимой практически во весь рассматриваемый период наблюдается тренд непрерывного роста первой главной компоненты (рис. 7), то есть усиление интенсивности зонального потока (июль). Весной вновь проявляется постепенный переход к летнему типу тренда (ноябрь).

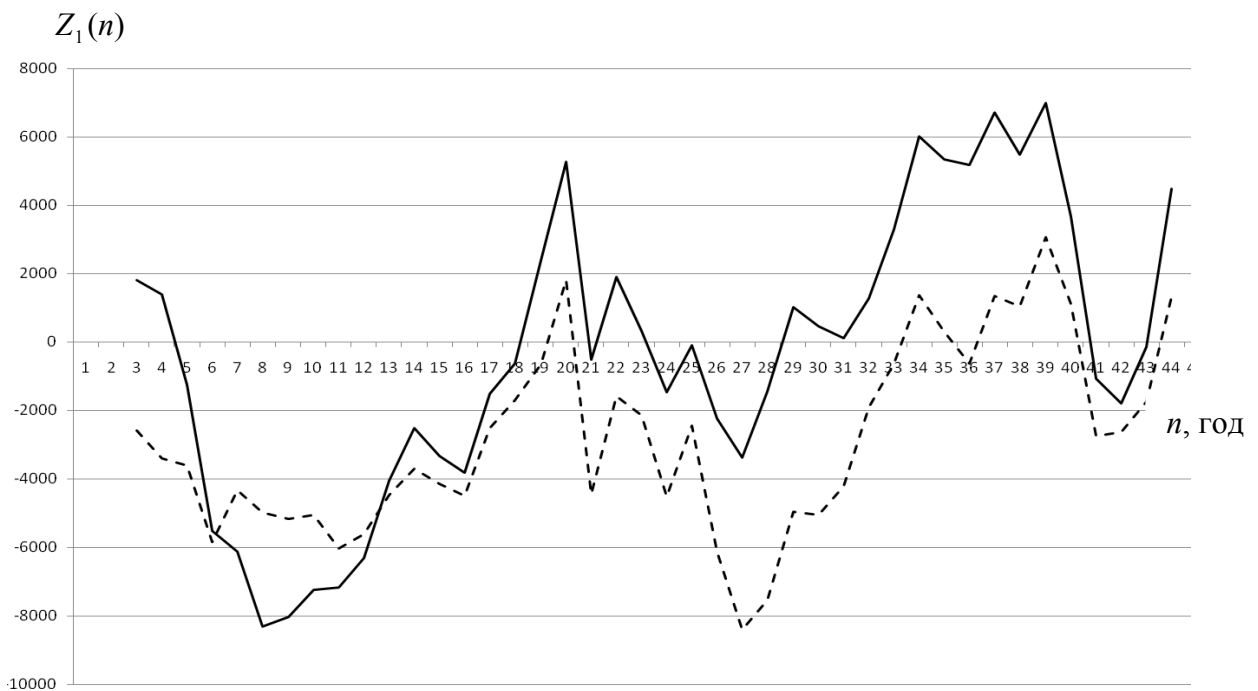


Рис. 7 – Сглаженные ряды первой главной компоненты для зимнего периода (июль) изобарических поверхностей АТ-50 ( — ) и АТ-100 гПа ( - - - ).

Летом до начала 80-х годов происходило резкое увеличение второй главной компоненты (рис. 8), то есть вихревой составляющей стратосферной ОЦА, после 80-х годов ее резкое уменьшение, а начиная с 1990 годов снова постепенный рост значений второй главной компоненты.

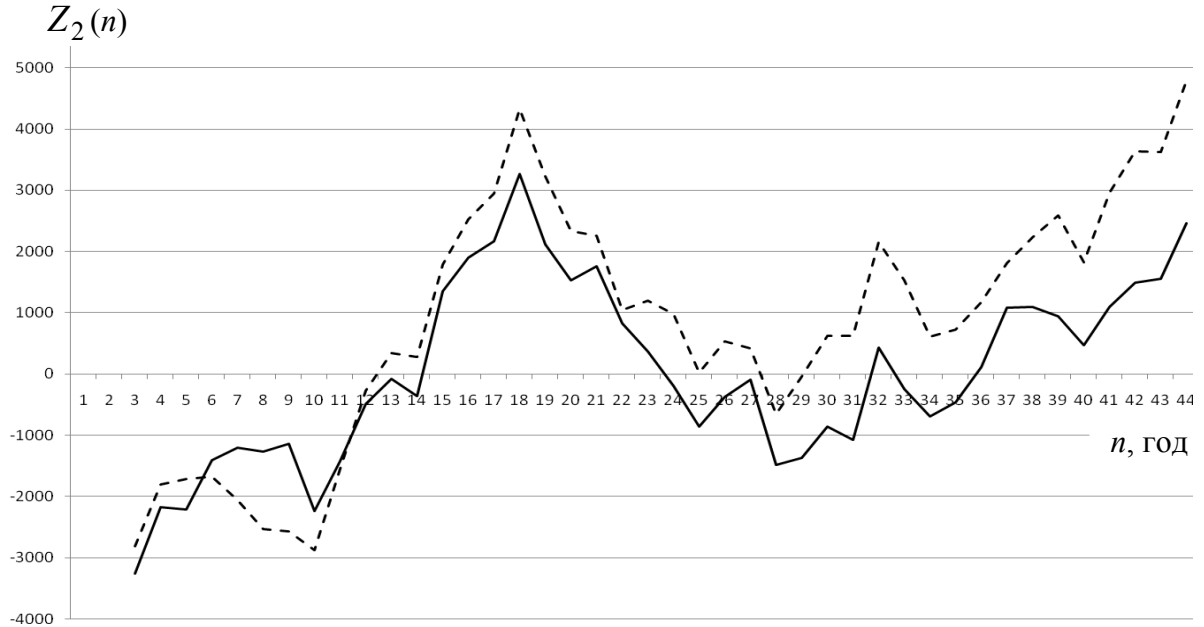


Рис. 8 – Сглаженные ряды второй главной компоненты для летнего периода (февраль) изобарических поверхностей АТ-50 ( — ) и АТ-100 гПа ( - - - ).

Линейный тренд падения значений вихревой составляющей наблюдался весной (ноябрь) начиная с 70-х годов. Зимой (июль) отчетливо выявляется периодическая компонента (7 – 8 лет) колебаний интенсивности вихревой компоненты (рис. 9). Она же проявляется и осенью (март) на фоне практически не меняющегося после 80-го года тренда.

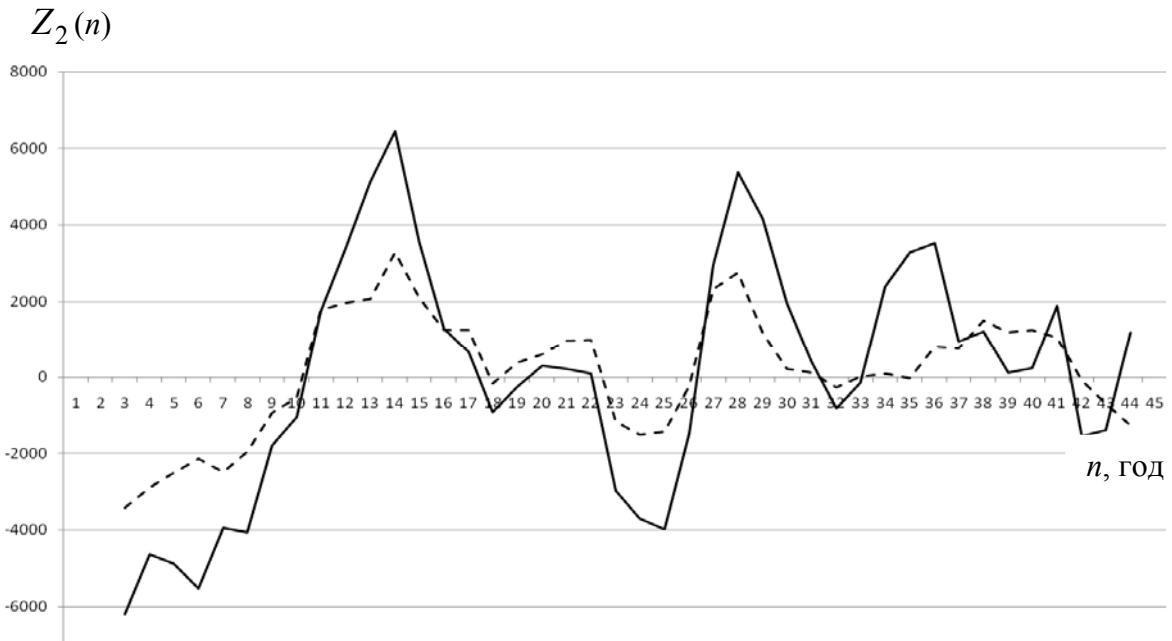


Рис. 9 – Сглаженные ряды второй главной компоненты для зимнего периода (июль) изобарических поверхностей АТ-50 ( — ) и АТ-100 гПа ( - - - ).



Исходные временные ряды после исключения трендовой компоненты были подвергнуты спектральному анализу. Спектральный анализ процессов  $Z_1(t)$  и  $Z_2(t)$ , свидетельствует о том, что в них имеют место высоко энергетические статистически обеспеченные гармоники с периодами для  $Z_1(t)$  (рис. 10, а) – 4-5 и 7-8 лет, а для  $Z_2(t)$  (рис. 10, б) – 4-5, 10-11 и 15 лет.

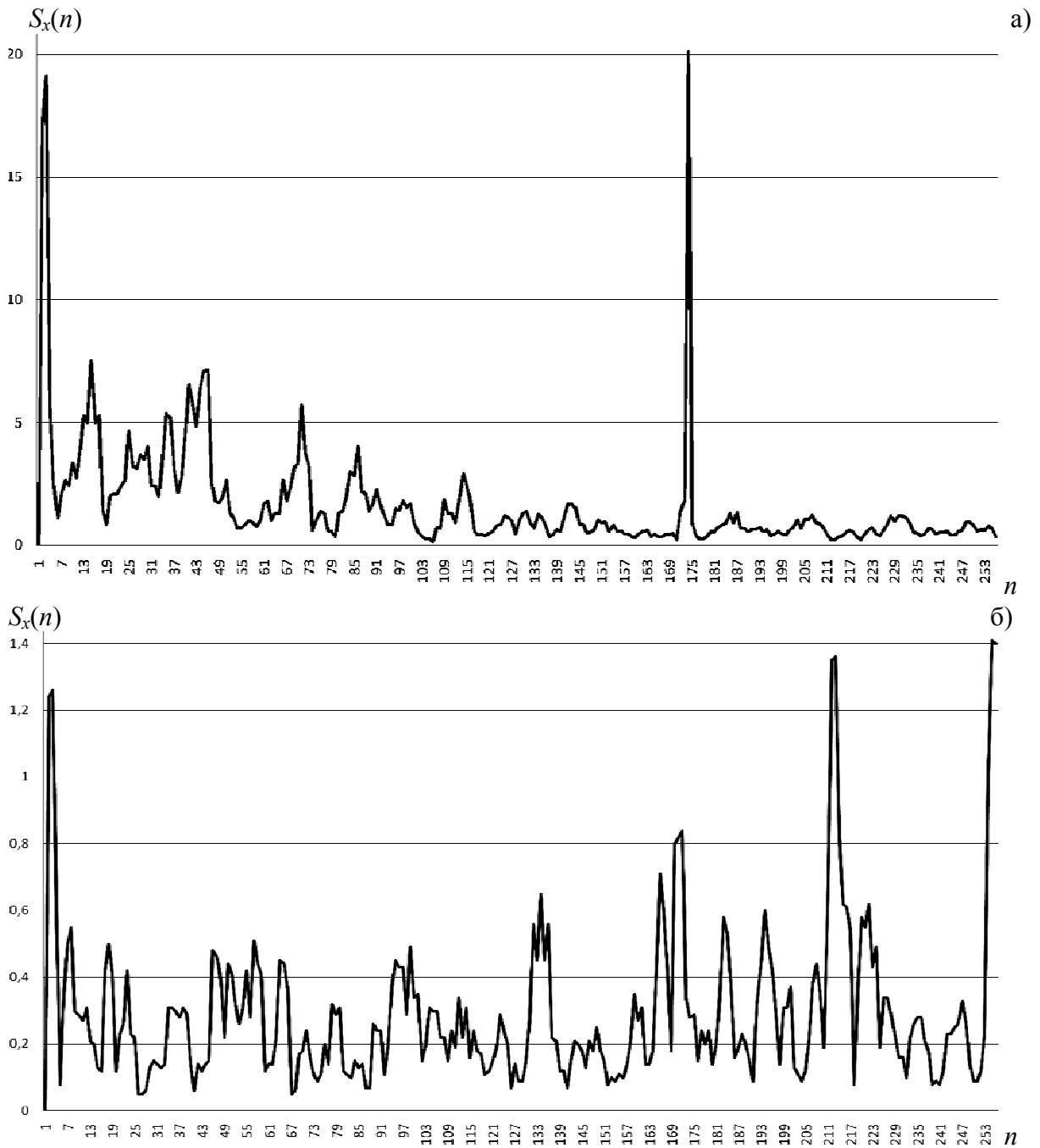


Рис. 10 – Спектральные плотности первой (а) и второй (б) главных компонент для изобарической поверхности АТ-50 гПа.

**Выводы.** Выявлены основные особенности статистической структуры полей геопотенциальных высот изобарических поверхностей 50 и 100 гПа в Южном полушарии. В изучаемом регионе циркумполярный циклонический вихрь среднего зонального движения наблюдается на всех рассматриваемых высотах. Наибольшая

изменчивость высот изобарической поверхности имеет место вдоль 60 - 70° ю.ш., над морем Беллингаузена 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° 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 4-5 - летние и квазидвулетние периодичности.

### Список литературы

1. 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.
2. 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 про науково - дослідну роботу, № 71, 2006.- 219 с. (№ держреєстрації 0104U000958).
3. Милашенко Г.П. Карты повторяемости циклонов и антициклонов, траектории циклонов и распределение общей облачности по данным ИСЗ. Материалы по климату и циркуляции южного полушария. -Л.: Гидрометеиздат, Вып.І., 1978.-63 с.
4. Смирнов Н. П., Саруханян Э. И., Романова И. В. Циклические центры действия атмосферы Южного полушария и изменение климата. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2005. - 217 с.
5. Луценко Э.И., Прямыков С.М., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Полугодовые колебания термобарических полей в Северном и Южном полушариях / Труды ААНИИ.- Т.371, 1983.- С.6-18.
6. Гирская Э. И., Сазонов Б.И. Годовые колебания атмосферного давления / Труды ГГО, 1975. Вып. 354.- С. 30-39.
7. Школьный Е.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підручник.- К.: Міносвіти України, 1999. – 600 с.

#### Статистична структура полів геопотенціальних висот в нижній стратосфері Південної півкулі.

Галич Є.А., Бургаз А.А.

*Виявлені основні особливості статистичної структури полів геопотенціальних висот ізобаричних поверхонь 100 і 50 гПа в Південній півкулі. Одержані головні компоненти цих полів. Показані особливості тимчасової мінливості великомасштабних компонент циркуляційних процесів в атмосфері в другій половині XX сторіччя. Визначені статистично значущі приховані періодичності і трендові компоненти в часових рядах головних компонент.*

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

#### The statistical structure of the fields of geopotential heights in lower stratosphere of the South hemisphere. Galich E.A., Burgaz A.A.

*The basic features of statistical structure of the fields of the 100 and 50 gPa izobaric surfaces in the South hemisphere are exposed. The main components of these fields are received. The features of temporal changeability of large-scale component of circulation processes in atmosphere in the second half of the XX century are shown. The certain statistical characteristics in the time series of the main components have studied.*

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