

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

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. Установлены статистически значимые взаимосвязи между крупномасштабными циркуляционными атмосферными процессами в западном секторе южного полушария и параметром солнечной активности – числами Вольфа.

Ключевые слова: геопотенциал, главные компоненты, периодичности, числа Вольфа.

Вступление. Климатические изменения, которые происходили в течение прошлого столетия, явились своего рода стимулом, который привел к значительному росту усилий специалистов в изучении процессов взаимодействия различных звеньев климатической системы. Несмотря на значительные успехи, достигнутые мировым гидрометеорологическим научным сообществом, остается еще много невыясненных вопросов относительно особенностей структуры крупномасштабных атмосферных процессов и факторов, которые их определяют. Одна из самых актуальных и в то же время вызывающая ожесточенные споры проблема современной геофизики – воздействие солнечной активности на состояние нижней атмосферы и погоду Земли.

Некоторые исследователи указывают на положительную корреляцию между возрастанием солнечной активности и развитием сильных антициклонов в высоких широтах ($\pm 70^\circ$), а также усилением циклонических вихрей в широтной зоне $40 - 60^\circ$ [1,2]. В ряде случаев отмечается более высокая корреляционная связь в зимний период в высоких широтах, когда прямое воздействие солнечного излучения менее существенно. Ясно также то, что такое влияние на погоду не одинаково и даже не однозначно в разных частях планеты. Поэтому целью данной работы является определение значимых статистических взаимосвязей между солнечной активностью и крупномасштабными циркуляционными процессами в тропосфере западного сектора южного полушария.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования явились среднемесячные поля геопотенциальных высот изобарических поверхностей 850 и 500 гПа. В качестве исходной информации были использованы данные реанализа ERA – 40, заданные в узлах регулярной сетки точек $2,5^\circ$ на $2,5^\circ$, 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. В качестве параметра солнечной активности были использованы временные ряды среднемесячных значений чисел Вольфа за тот же период, которые являются широко используемыми численными показателями количества пятен на Солнце.

Для выполнения данной задачи, сначала необходимо провести параметризацию исходного состава факторов, перейти к новым величинам, которые являлись бы линейными комбинациями исходных параметров. Новые факторы должны быть взаимно некоррелированными (ортогональными) и чтобы при возможно меньшем их количестве учитывалась значимая часть изменчивости исходных параметров. Перечисленным требованиям соответствует компонентный анализ, который часто в литературе

называют методом «эмпиричных ортогональных функций» или «естественных ортогональных функций».

Компонентный анализ применяется и при решении других метеорологических задач. Одной из них является сжатие метеорологической информации - значительное сокращение количества информации при сохранении основного её содержания.

На основе матриц ковариаций (K_x) был проведен компонентный анализ [3], 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 λ_i - собственное значение; W_i - соответствующий ему собственный вектор.

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

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

Результаты исследований и их анализ. Путем ортогонального преобразования полей геопотенциальных высот в базисе собственных векторов были получены ортогональные компоненты. Сумма всех собственных значений равняется суммарной дисперсии исследуемых полей и так как собственные значения упорядочены, то есть располагаются в порядке уменьшения и характеризуются быстрой сходимостью, то, как правило, первые из них исчерпывают значительный процент от суммарной дисперсии полей. Именно этот процент и относится к наиболее крупномасштабным циркуляционным процессам. Свойства этих процессов освещают соответствующие ортогональные компоненты полей геопотенциальных высот, которые называют главными компонентами.

Анализ собственных значений показал, что более 60% суммарной дисперсии полей геопотенциальных высот АТ-850 и АТ-500 для всех сезонов исчерпывают первые два собственных значения (табл. 1).

Таблица 1 – Собственные значения геопотенциальных высот АТ-850 и АТ-500

Месяц	λ_1	$\lambda_1, \%$	λ_2	$\lambda_2, \%$	$\sum_{i=1}^2 \lambda_i, \%$
	АТ-850				
Январь	5356989	54	1063347	11	65
Апрель	4344714	42	2068780	18	60
Июль	7492971	61	2736787	22	83
Октябрь	5009345	41	3176269	26	67
АТ-500					
Январь	14252592	51	3642773	13	64
Апрель	8694548	41	4118799	19	60
Июль	13410381	43	5973183	18	61
Октябрь	8275580	36	6834708	26	62

Именно первые две ортогональные компоненты являются главными, которые характеризуют наиболее крупномасштабные циркуляционные атмосферные процессы: временной ряд первой главной компоненты несёт в себе информацию о динамике наиболее крупномасштабного процесса – западно-восточного переноса, а временной ряд второй главной компоненты – об интенсивности колебаний процессов циклогенеза над южными частями Тихого и Атлантического океанов (ЮТОАЗК) [4]. Поэтому дальнейшему рассмотрению подлежат первые две главные компоненты ($Z_1(t)$ и $Z_2(t)$).

Графики временных рядов главных компонент геопотенциальных высот изобарических поверхностей АТ-850 и АТ-500 свидетельствуют о том, что они содержат не только колебания [5], которые обусловлены циркуляционными процессами в данном регионе, но и шумовую компоненту. Избавиться от нее можно путем процедуры фильтрации с помощью скользящего осреднения. Выбор интервала осреднения является важной задачей. Существуют разные подходы к решению этой задачи. С нашей точки зрения, целесообразно как период сглаживания выбирать интервал, который отвечает периодичности, имеющей большую энергию колебания с одной стороны, и достаточно большой интервал сглаживания – с другого. Такие периодичности можно установить путем спектрального анализа и интегрального преобразования Фурье [3].

Результаты расчетов дали возможность получить энергетические спектры и амплитудно-частотные характеристики $A(\omega_i)$ для временных рядов главных компонент [5]. Анализ периодичностей выявленных во временных рядах главных компонент полей геопотенциальных высот изобарических поверхностей АТ-850 и АТ-500 дает основание проводить операцию сглаживания с периодом 4 года (48 точек). Операция сглаживания представляет собой скользящее осреднение, где весовым множителем является косинус – фильтр [3].

На рис. 1 представлен сглаженный временной ряд первой главной компоненты, изобарической поверхности АТ-850.

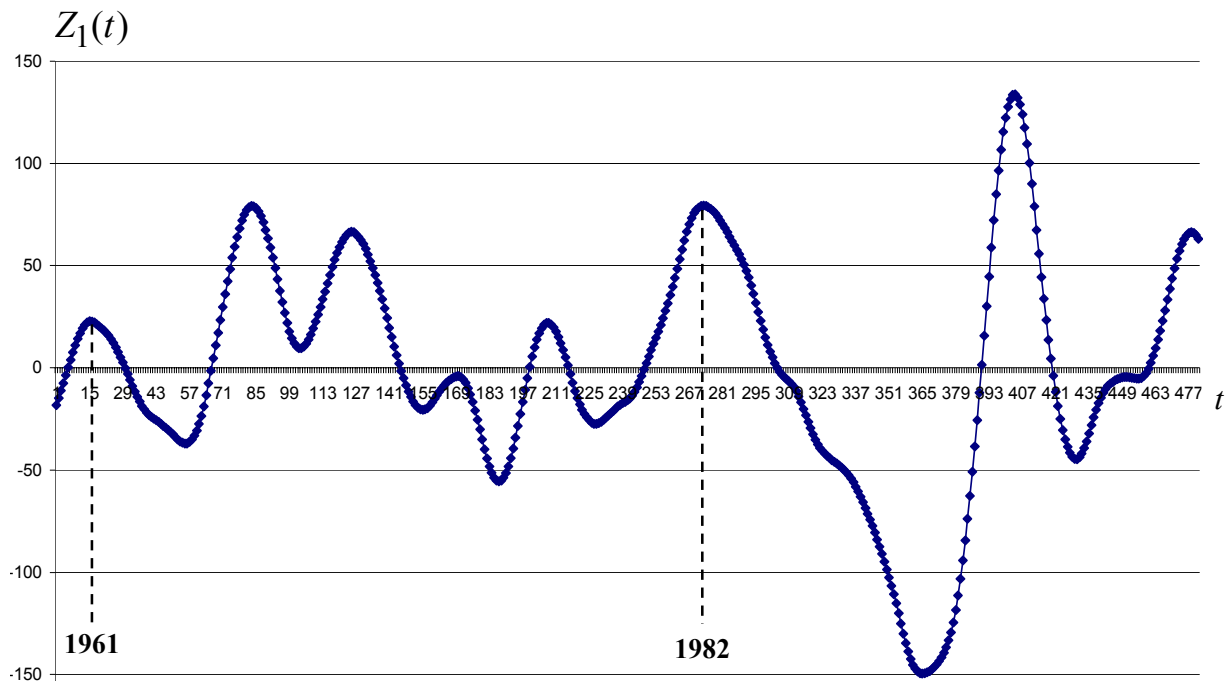


Рис. 1 - Сглаженный временной ряд первой главной компоненты АТ-850.

Анализ сглаженного временного ряда показывает, что в случайном процессе наблюдается квазидесятилетняя, а также пяти и четырехлетняя периодичности. Интересно то, что после 1982 г. хорошо проявляется только квазидесятилетняя волна с большой амплитудой. Есть основания считать, что это является следствием глобального потепления, в результате которого происходят значительные перестройки наиболее крупномасштабного циркуляционного звена – западного восточного переноса, путем более интенсивных меридиональных процессов.

В сглаженном временном ряду второй главной компоненты (рис. 2) наблюдаются 8-10 - летние периодичности, на которые накладываются 5-6 - летние периодические колебания. Начиная с 1980 года, имеет место хорошо выраженный тренд в сторону уменьшения общей интенсивности колебаний. Как указывалось выше, именно вторая главная компонента, характеризует колебательную связь в крупномасштабных циркуляционных процессах, которые развиваются над южными частями Тихого и Атлантического океанов. Отмеченная отрицательная трендовая компонента, прослеживаемая с 1980 года, свидетельствует об интенсификации процесса циклогенеза [4].

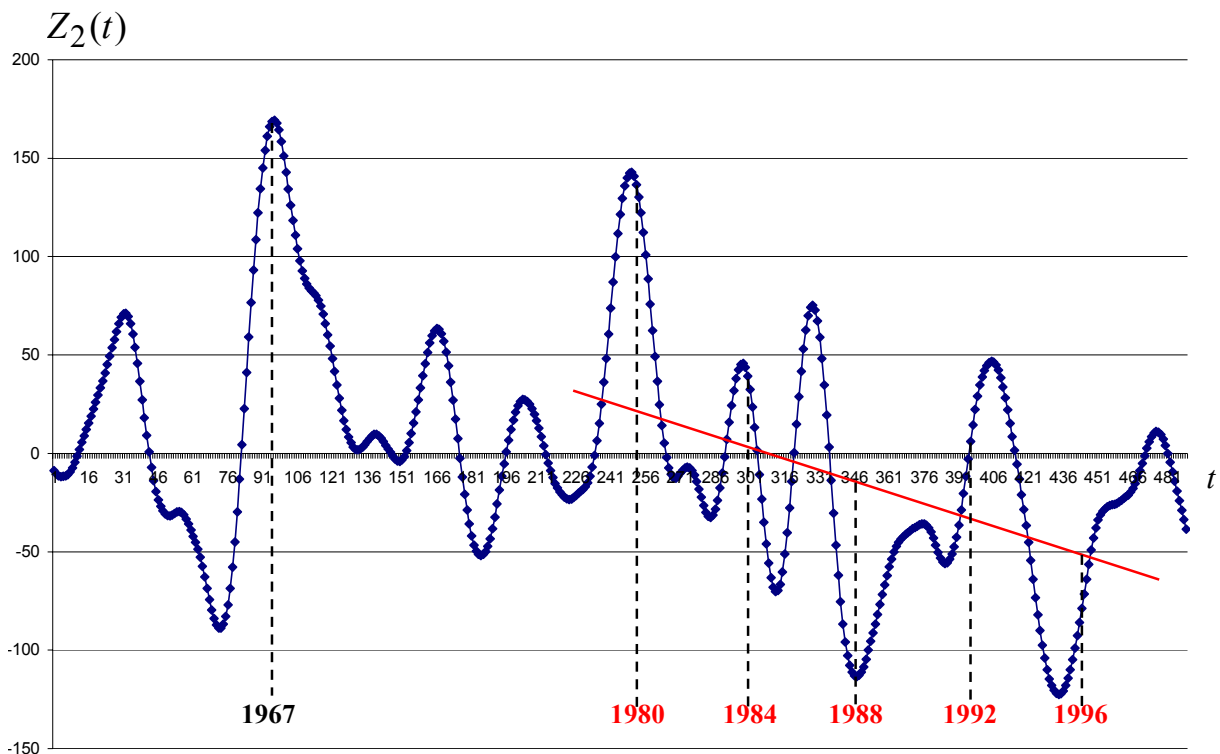


Рис. 2 - Сглаженный временной ряд второй главной компоненты AT-850.

На рис. 3 приводятся результаты сглаживания первой главной компоненты изобарической поверхности AT-500, которая является характеристикой наиболее крупномасштабного процесса, а именно западно-восточного переноса. Отчетливо проявляются 8-10 - летние периодичности, на которые накладываются 4-5 - летние.

В сглаженном временном ряду второй главной компоненты ($Z_2(n)$) изобарической поверхности AT-500, представленном на рис. 4, преобладают колебания с периодом 4 и 5 лет. В отличие от временного ряда второй главной компоненты изобарической поверхности AT-850, из этого графика следует, что хорошо определяются два линейных тренда: первый с 1962 по 1974 года, после чего

наблюдается резкое увеличение значений второй главной компоненты, а затем опять постепенное уменьшение с 1976 по 1996 годы. Нужно обратить внимание на то, что процедура получения исходных данных реанализа за период с 1958 по 2002 года качественно изменилась, поэтому к всплеску второй главной компоненты, который соответствует 1979 году, нужно относиться с осторожностью, хотя он по времени совпадает со всплеском первой главной компоненты.

$Z_1(t)$

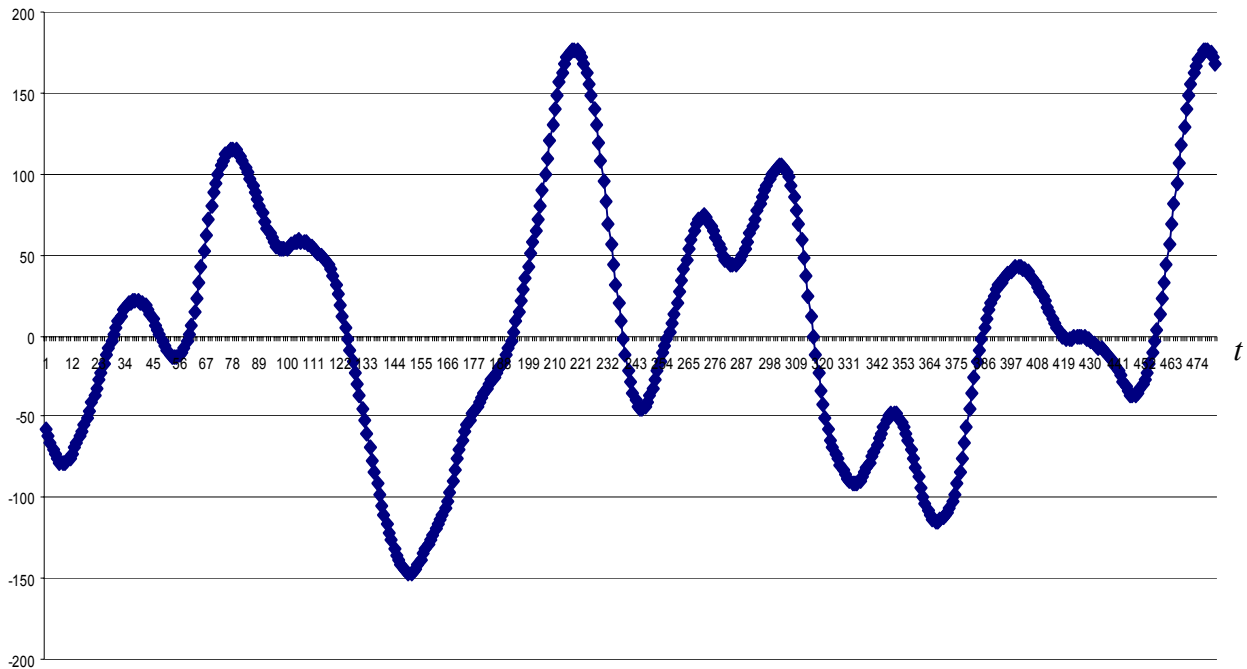


Рис. 3 - Сглаженный временной ряд первой главной компоненты АТ-500.

$Z_2(t)$

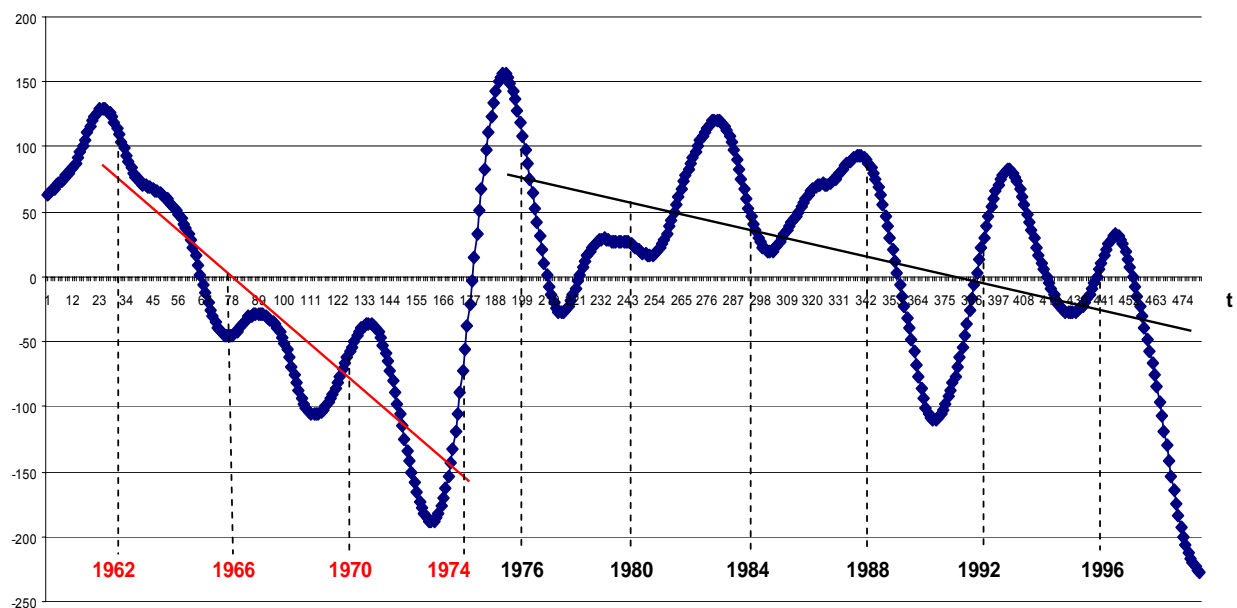


Рис. 4 - Сглаженный временной ряд второй главной компоненты АТ-500.

При рассмотрении периодических колебаний во временных рядах главных компонент, которые являются показателями наиболее крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессов в рассматриваемом секторе южного полушария, возникает вопрос: являются ли эти десятилетние гармонические колебания проявлением собственных свойств или они могут быть следствием какого-то внешнего фактора, а именно циклом появления солнечных пятен. Поэтому дальнейшее исследование посвящено определению возможных взаимосвязей между крупномасштабными циркуляционными атмосферными процессами и солнечной активностью.

В качестве параметров крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессов в западном секторе южного полушария были использованы временные ряды ежемесячных значений главных компонент изобарических поверхностей АТ-850 и АТ-500 гПа за период 1958 - 2002 гг., которые определены с помощью компонентного анализа. В качестве параметра солнечной активности целесообразно использовать числа Вольфа (W) — числовой показатель количества пятен на Солнце, который является одним из самых распространённых параметров солнечной активности (рис. 5).

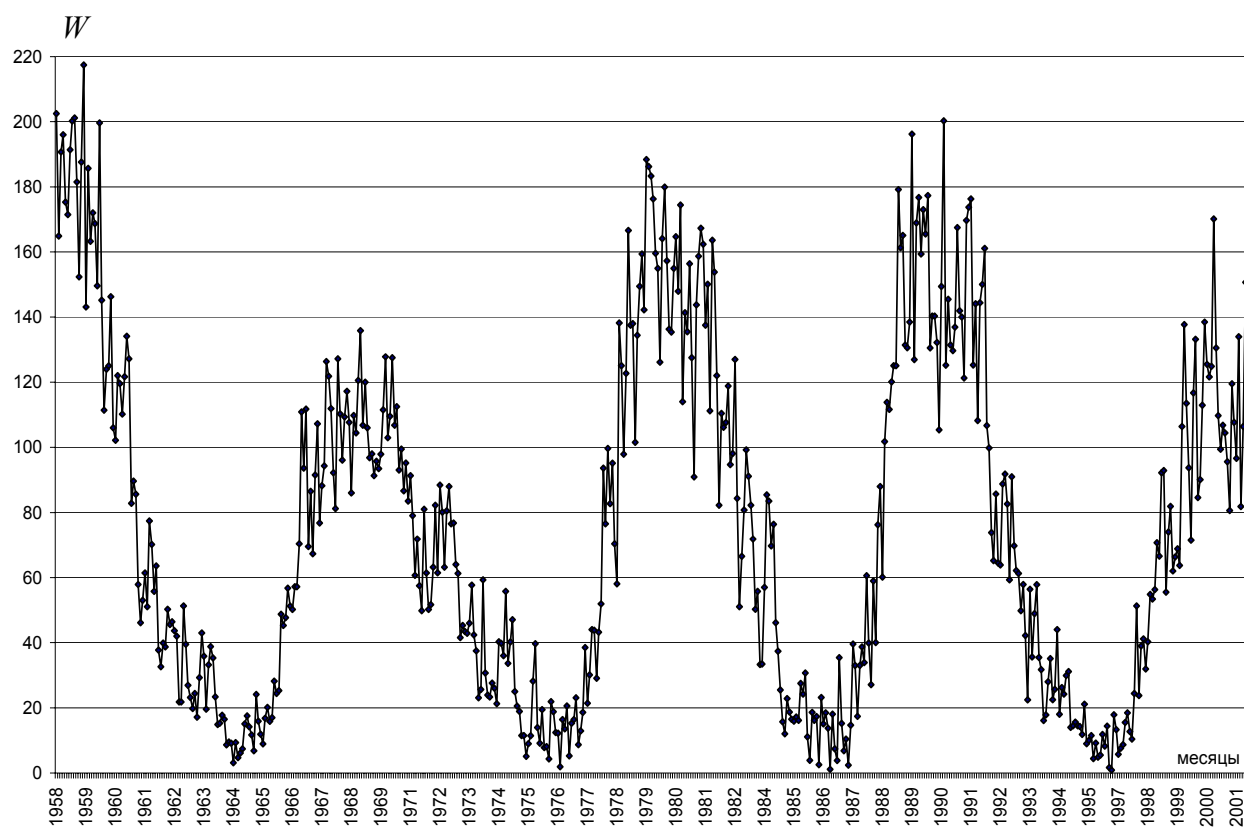


Рис. 5 – Среднемесячные значения чисел Вольфа за период 1958-2002 гг.

Для исследования взаимосвязи между крупномасштабными циркуляционными атмосферными процессами и солнечной активностью применялся метод взаимного спектрального анализа [3]. Были рассчитаны значения когерентности (γ_k), характеризующие тесноту корреляционной взаимосвязи между главными компонентами изобарических поверхностей АТ-850, АТ-500 и показателем активности Солнца – числами Вольфа. Ряд значимых периодичностей с соответствующими им фазами представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2 - Характеристики взаимных спектров для АТ-850

Вид взаимосвязи	γ_k	Период (T), месяцы	Период (T), год	φ°	φ , мес
Первая главная компонента - числа Вольфа	0,91	73	6	48	9,7
	0,9	25	2	165	11,5
	0,94	10,8	0,9	263	- 7,8
	0,97	5,3	0,5	228	- 3,3
	0,94	3,1	0,25	86	0,7
Вторая главная компонента - числа Вольфа	0,88	170,6	14	187	- 88
	0,77	105,4	8,5	194	- 56
	1,0	32	2,6	261	- 23
	0,93	18,2	1,5	339	- 17
	0,97	9,3	0,8	106	2,7
	0,9	5,9	0,5	250	- 4
	0,96	3,2	0,25	163	1,4

Анализ табл. 2 показал, что наблюдаются статистически значимые корреляционные взаимосвязи между первой главной компонентой и солнечной активностью в 6-ти летних, двухгодичных, годовых, полугодовых и сезонных периодичностях.

Тесная взаимосвязь солнечной активности проявляется и со второй главной компонентой изобарической поверхности АТ-850 в 14-ти и 8-ми летней гармониках, а также значимыми являются периодичности на частотах, которые соответствуют двухгодичным, годовым, полугодовым и сезонным колебаниям, большинство из которых происходит с соответствующим опережением активных процессов на Солнце, о чем свидетельствуют отрицательные фазы.

Таблица 3 - Характеристики взаимных спектров для АТ-500

Вид взаимосвязи	γ_k	Период (T), месяцы	Период (T), год	φ°	φ , мес
Первая главная компонента - числа Вольфа	0,88	5,3	0,4	350,3	- 5,1
	0,89	2,8	0,2	276,1	- 2,1
	0,95	2,5	0,2	193,2	- 1,3
Вторая главная компонента - числа Вольфа	0,92	8,9	0,7	306,2	- 6,12
	0,91	7,8	0,65	341,7	- 6,83
	0,95	5,1	0,4	251,9	- 2,51
	0,95	3,4	0,2	308,4	- 2,91
	0,94	2,9	0,2	324,6	- 2,61

По результатам табл. 3 видно, что наблюдаются статистически значимые корреляционные взаимосвязи первой и второй главных компонент с солнечной активностью в гармонических колебаниях с полугодовым и сезонным периодами. Таким образом, есть основания полагать, что все выявленные колебания изобарической поверхности АТ-500, являются следствием влияния солнечной активности.

Выводы. Выявленные годовая и сезонная периодичности в крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессах являются естественными, отражающими влияние движения Земли по орбите и связанные с особенностями поступления

солнечной радиации, что приводит к колебаниям крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессов. Однако выявленные долгопериодные взаимные колебания: 14-ти летнее, квазидесятилетнее и шестилетнее, как оказалось, имеют статистически значимую взаимосвязь с циклом солнечных пятен. Указанные периодичности были обнаружены в средних годовых значениях чисел Вольфа методом спектрального анализа [6] и при помощи метода максимальной энтропии [7].

Таким образом, полученные результаты подтверждают наши предположения о возможном влиянии солнечной активности на состояние нижней атмосферы в западном секторе южного полушария и как следствие на погоду и климат данного региона.

Прогресс в области проблемы солнечно-погодных связей даёт возможность, по крайней мере, лучше понять, особенности развития атмосферных процессов. Определение влияние солнечной активности на погоду может повысить возможность значительных улучшений в краткосрочных прогнозах погоды и образовать полезную основу для климатического прогноза.

Список литературы

1. Герман Дж.Р., Голдберг Р.А. Солнце погода и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1981.- 318 с.
2. Мак-Кормак Б., Селиги Т. Солнечно-земные связи, погода и климат. – М.: «Мир», 1982.- 380 с.
3. Школьный Е.П., Лоева И.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підручник.- К.: Міносвіти України, 1999. – 600 с.
4. Галич Е.А., Школьный Е.П. Особенности крупномасштабных циркуляционных процессов в атмосфере западном секторе высоких широт Южного полушария // Вісник Одеського державного екологічного університету. - 2007. – Вип. 4. – С. 127-134.
5. 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.
6. Mitchell J.M., Jr. The solar inconstant, in Proceedings Seminar on Possible Responses of Weather Phenomena to Variable Extra-Terrestrial Influences // NCAR, №8, 1965.-P. 155 – 174.
7. Radoski H.R., Fougere P.F., Zawalik E.J. A comparison of power spectral estimates and applications of the maximum entropy model // J. Geophys. Res. 80, 1975.- 611-619 p.

Великомасштабні циркуляційні атмосферні процеси в західному секторі південної півкулі та їх зв'язок із сонячною активністю. Галич Є.А., Астрахович А.О.

Показані особливості часової 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. Встановлені статистично значущі взаємозв'язки між великомасштабними циркуляційними атмосферними процесами в західному секторі південної півкулі і параметром сонячної активності – числами Вольфа.

Ключові слова: геопотенціал, головні компоненти, періодичності, числа Вольфа.

Large-scale circulation atmospheric processes in the western sector of the South hemisphere and their connection with sun activity. Galich E.A., Astrakhovich A.O.

It is demonstrated peculiarities of the large-scale components of circulation processes changeability of atmosphere in the second half of the XX century. The statistically marked degree periodicities in the trend components of the time series of main components of the pressure fields were obtained. Meaningful intercommunications between large-scale parameters of atmospheric processes in the western sector of the South hemisphere and Wolf's numbers were defined.

Keywords: geopotential, main components, periodicity, Wolf's numbers.