

ОКЕАНОЛОГИЯ

**В.Н. Воробьев, А.И. Данилов, А.В. Клепиков,
Э.И. Саруханян, Н.П. Смирнов**

**ЮЖНО-ПОЛЯРНОЕ КОЛЕБАНИЕ, ЕГО ВОЗМОЖНЫЕ
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ**

**V.N. Vorobyev, A.I. Danilov, A.V. Klepikov,
E.I. Sarukhanyan, N.P. Smirnov**

**SOUTH POLAR OSCILLATION, ITS POSSIBLE
REPRESENTATIONS AND LONG-TERM VARIABILITY**

Рассмотрены многолетние изменения атмосферной циркуляции в высоких и умеренных широтах Южного полушария. Определен индекс интенсивности атмосферной циркуляции, названный Южно-Полярным колебанием (South Polar Oscillation – SPO). Выполнен анализ многолетней изменчивости индекса SPO, определена структура изменчивости и ее линейные тренды.

Ключевые слова: циркуляция атмосферы, Южно-Полярное колебание, центры действия атмосферы, многолетняя изменчивость, климатические тренды.

Long-term variations in the atmospheric circulation in the high and middle latitudes of the Southern Hemisphere are considered. index of intensity of atmospheric circulation, called South Polar Oscillation, SPO, is defined. An analysis of long-term variability of the SPO index is performed; the structure of variability and its linear trends are determined.

Key words: atmospheric circulation, South Polar oscillation, centers of atmospheric action, long-term variability, climate trends.

Благодаря наличию циклонических центров действия атмосферы в Южной полярной области (ЮПО) и антициклонических центров в тропических районах Атлантического, Индийского и Тихого океанов в широтном поясе от 40 до 60° ю.ш. осуществляется постоянный западно-восточный перенос воздушных масс. Интенсивность этого переноса определяет многие характеристики климата ЮПО, а также интенсивность самого мощного в Мировом океане Антарктического циркумполярного течения и, по-видимому, многие черты изменчивости гидрологии Южного океана.

В отличие от Северного полушария, где нет почти сплошного водного пространства в зоне 40–60 ° с.ш., в Южном полушарии интенсивность и постоянство западно-восточного переноса значительно более выражены. Однако в остальном между Северным и Южным полушариями наблюдается большая аналогия. Формирование западно-восточного переноса в Северном полушарии оп-

ределяется в первую очередь Исландским минимумом и Азорским максимумом давления, поскольку в отличие от второй пары центров действия атмосферы Северного полушария Алеутского минимума и Гавайского максимума давления, к востоку от них нет сколько-нибудь заметных преград потоку воздушных масс на восток. Отсюда и интенсивность этого переноса уже давно стали определять по разности давления между метеорологическими станциями, расположенными вблизи климатических центров действия атмосферы. При этом разность давления вычислялась в среднем за три или четыре зимних месяца, когда меридиональные градиенты давления выражены наиболее резко. Эту осредненную за зимние месяцы разность давления и стали называть индексом Северо-Атлантического колебания (North Atlantic Oscillation – NAO).

По-видимому, первые описания феномена Северо-Атлантического колебания были сделаны А. Дефантом [10] и Г.Г. Уокером и Е.М. Блиссом [23]. В последующем было опубликовано много работ, в которых для характеристики изменений интенсивности зональной циркуляции в Северной Атлантике, над Европейским континентом и даже Азией и Северной Африкой использовался индекс NAO [8, 15–18]. В последние годы индекс NAO как наиболее репрезентативный индекс, характеризующий интенсивность зональной циркуляции в средних широтах Северного полушария, получил всеобщее признание [1, 3–5, 11, 12, 14, 21, 24]. Это нашло отражение в международном проекте по исследованию климатической изменчивости (CLIVAR) [9]. Наиболее полное исследование индекса NAO и его связи с колебаниями климата в Северной Атлантике, Северной Полярной области, Европе и Северной Америке сделано в работах Н. П. Смирнова с соавторами [1–5].

Позднее аналогичным образом определялась и интенсивность западно-восточного переноса в регионе Тихого океана [6]. Однако, в этом регионе из-за наличия мощной преграды западно-восточному переносу в виде гряды Кордильер, этот индекс, названный Северо-Тихоокеанским колебанием, имеет более ограниченное значение и определяет интенсивность переноса только в Тихоокеанском регионе.

По аналогии с вышесказанным можно полагать, что в качестве индекса, характеризующего интенсивность западно-восточного переноса в Южном полушарии, наиболее логично использовать разности давления между областями высокого и низкого давления и назвать этот индекс индексом Южно-Полярного колебания (South Polar Oscillation – SPO). В связи с этим уместно напомнить, что еще в 1928 г. Г. Уоркер писал "Подобно тому, как в Северной Атлантике существует оппозиция давления между Азорами и Исландией, ... существует оппозиция и между поясом высокого давления, пересекающим Чили и Аргентину, с одной стороны, и областью низкого давления над морем Уэдделла и морем Беллинсгаузена, с другой..." [22]. Потребовались десятилетия, прежде чем были накоплены достаточно продолжительные ряды наблюдений, которые позволили определить показатели, характеризующие изменения циркуляции ат-

мосферы в умеренных и высоких широтах Южного полушария. В 80–90-х годах появился ряд работ [7, 13, 20], в которых были сделаны попытки определения различных таких показателей. Наиболее примечательной в этом отношении является работа Д. Гонга и С. Ванга [13], которые предложили индекс, названный ими Антарктическим колебанием. Этот индекс был вычислен как разность между значениями нормализованного зонально-осредненного наземного давления на 40° и 65° ю. ш. соответственно для каждого месяца. При этом использовался массив данных NCER реанализа с 1958 по 1997 г. Данный индекс может использоваться в качестве показателя интенсивности циркуляции в южном полушарии, однако нам представляется, что зональное осреднение давления по широте достаточно формально сглаживает пространственные особенности поведения атмосферной циркуляции и использование указанного индекса ограничивает в этом случае возможности анализа по регионам. Кроме того, следует обратить внимание на то обстоятельство, что при создании массива NCER (1958–1997 гг.) был допущен ряд ошибок и упущений [19].

К сожалению, в отличие от Северного полушария, в Южном полушарии, преимущественно океаническом, покрытие данными наблюдений столь ограничено, что найти приемлемые пункты наблюдений для определения разностей давления в районах, близких к расположению центров действия атмосферы, почти невозможно. Поэтому вначале на первом этапе работы были использованы разности давления между станциями, расположенными с одной стороны на побережье Антарктиды, с другой – на южных побережьях Южной Америки, Африки и Австралии. Были подобраны три пары таких станций: Ушуайя (южная оконечность о-ва Огненная земля, $\approx 68^\circ$ з.д.) и Артуро-Прат (Южно-Шетландские острова, $\approx 60^\circ$ з.д.), Порт Элизабет (южное побережье Африки, $\approx 26^\circ$ в.д.) и Новолазаревская (побережье Антарктиды, $\approx 12^\circ$ в.д.), Олбани (запад южного побережья Австралии, $\approx 118^\circ$ в.д.) и Кейси (побережье Антарктиды, $\approx 112^\circ$ в.д.).

Таким образом, были получены выборки среднемесячных разностей давления между станциями на меридиональных разрезах приблизительно по 65° з.д., 20° в.д. и 115° в.д. Кроме того, по картам распределения среднемесячного давления были вычислены разности давления между 30° и 60° ю.ш. на меридианах 0° , 90° в.д., 180° и 90° з.д. (рис. 1). Естественно, точность определения разностей давления на меридиональных разрезах уступает точности разностей, полученных по данным станций, на которых проводились инструментальные наблюдения. Особенно это относится к меридиональным разрезам в Тихоокеанском регионе, где покрытие данными наблюдений со станций крайне ограничено.

Для определения индекса Южно-Полярного колебания были использованы средние разности давления за зимний период, которые, как и в северном полушарии, хорошо отражают изменения среднегодовых разностей давления.

На рис. 2 и 3 приведены указанные значения разностей и их 5-летние скользящие средние. Из рисунков видно, что если изменения разностей давле-

ния на разрезах 0 и 90 ° в.д. и между станциями Порт Элизабет – Новолазаревская и Олбани – Кейси похожи, то изменения разностей давления по разрезу 90 ° з.д. и станциях Ушуайя и Артуро-Прат очень сильно отличаются как между собой, так и от разностей давления на других разрезах. Это подтверждает и корреляционная матрица между всеми рассматриваемыми разностями давления (табл. 1).

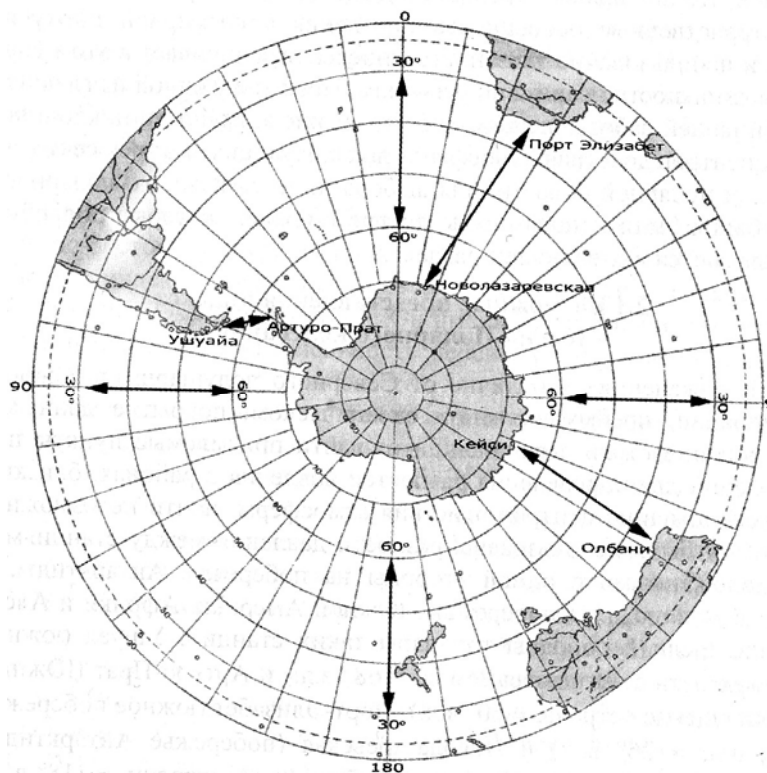


Рис. 1. Расположение станций и сечений, по которым определялись разности давлений

Таблица 1

Корреляционная матрица между значениями разностей давления ($r_{95\%} = \pm 0,30$)

Разрезы	Порт Элизабет – Новолазаревская	Олбани – Кейси	Ушуайя – Артуро-Прат	0 °	90 ° в.д.	180 °	90 ° з.д.
Порт Элизабет – Новолазаревская	1,0	0,66	–0,15	0,44	0,52	0,20	–0,05
Олбани – Кейси		1,0	0,07	0,30	0,58	0,27	–0,01
Ушуайя – Артуро Прат			1,0	0,15	0,05	–0,15	0,16
0 °				1,0	0,63	0,29	0,16
90 ° в.д.					1,0	0,20	0,06
180 °						1,0	–0,12
90 ° з.д.							1,0

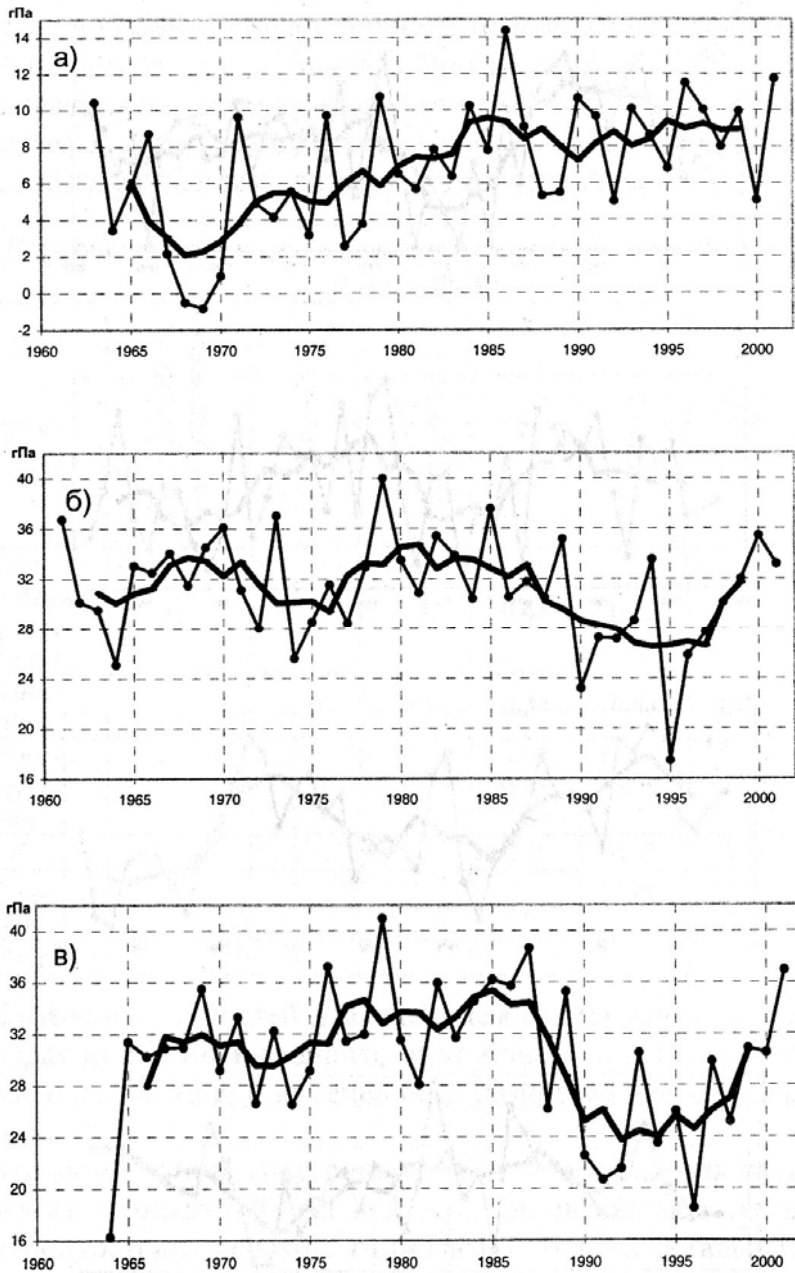


Рис. 2. Изменения разностей давления за зимний период между станциями Ушуайя – Артуро-Прат (а), Порт-Элизабет – Новолазаревская (б), Олбани-Кейси (в) и их 5-летние скользящие средние значения (утолщенная линия)

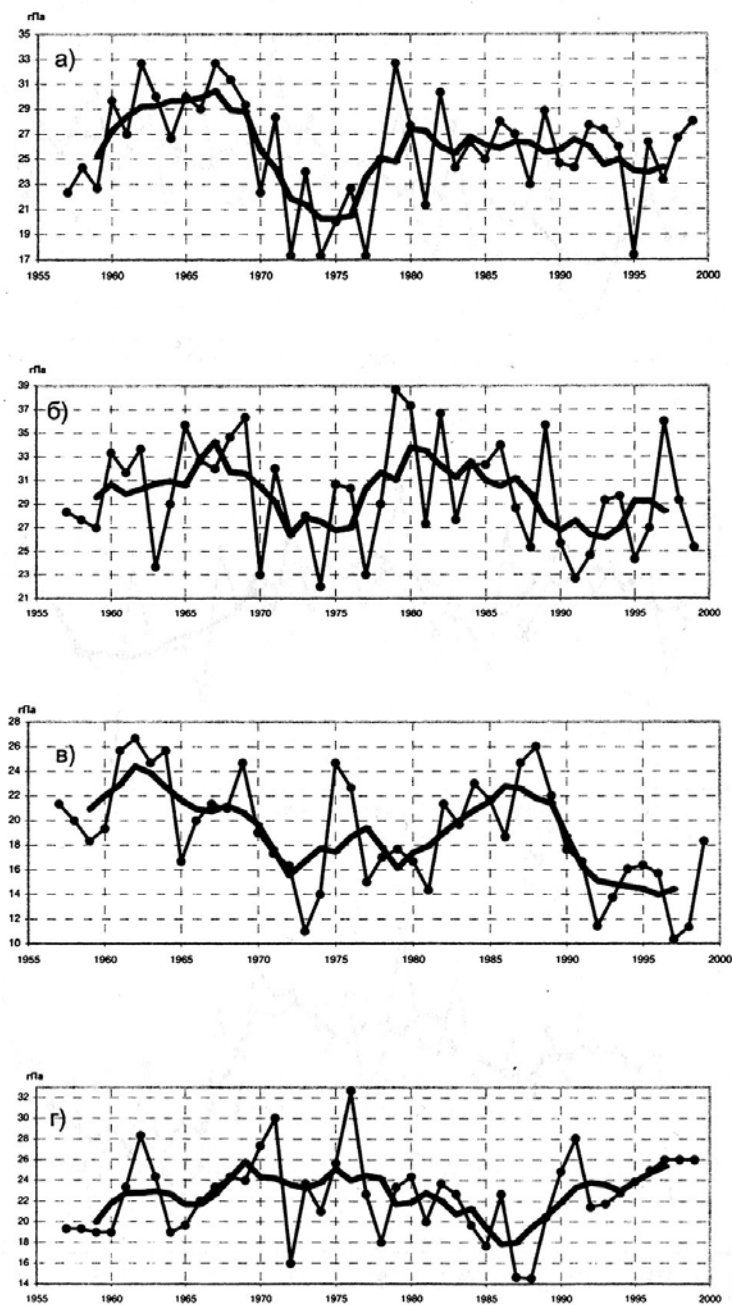


Рис. 3. Изменения разностей давления за зимний период между параллелями 30° ю.ш. и 60° ю.ш. на сечениях 0° (а), 90° в.д. (б), 180° (в) и 90° з.д. (г) и их пятилетние скользящие средние значения (утолщенная линия)

Изменения разностей давления между станциями Ушуайя – Артуро-Прат не имеют ни одного, даже близкого к значимому, коэффициента корреляции с изменениями разностей давления на других разрезах. Это может свидетельствовать о том, что многолетняя изменчивость циркуляции атмосферы в ЮПО и области, приуроченной к Антарктическому полуострову, заметно отличаются от всех остальных регионов. Если по поводу восточной части Тихоокеанского региона это заключение можно рассматривать лишь предположительно (исходные данные низкого качества), то относительно района пролива Дрейка и Антарктического полуострова это можно утверждать достаточно уверенно. Возможно, причиной этого является то обстоятельство, что горный хребет Анд и Антарктический полуостров с высотами более 2000 м создают существенный барьер западно-восточному переносу и приводят, как это наблюдается и на севере Тихого океана к изменению характера зональной циркуляции атмосферы и ее многолетней изменчивости, полностью отличающейся от циркуляции большей части ЮПО.

Поскольку разность давлений между парами станций, а тем более на одном меридиональном разрезе в таком обширном регионе вряд ли может быть достаточно показательным индексом циркуляции атмосферы ЮПО, мы использовали разложение на естественные ортогональные функции (ЕОФ) нескольких выборок разностей давления. Этот прием был успешно применен ранее при исследовании Северо-Атлантического и Северо-Тихоокеанского колебаний [5, 6].

Для разложения на ЕОФ были использованы выборки разностей давления на двух парах станций (Порт Элизабет – Новозеландская и Олбани – Кейси) и двух меридиональных разрезах по 0° и 90° в.д., поскольку именно между этими выборками наблюдается значимая связь.

В табл. 2 и 3 представлены результаты разложения на ЕОФ четырех выборок разностей давления.

Таблица 2

Сходимость разложения на ЕОФ четырех рядов разностей давления в ЮПО

Номер компоненты	Доля дисперсии в процентах, описываемая компонентой	Накопленная дисперсия в процентах
1	65,1	65,1
2	18,6	83,7
3	11,5	95,2
4	4,7	100

Как видно из табл. 2, первая главная компонента описывает две трети общей дисперсии и в три с половиной раза превышает следующую за ней вторую главную компоненту. Поэтому можно утверждать, что первая главная компонента отражает все основные закономерности, присущие многолетним изменениям интенсивности западно-восточного переноса от Атлантического сектора ЮПО до западной части Тихоокеанского включительно.

Таблица 3

**Вклад каждой выборки разностей давления
в формировании первой главной компоненты разложения**

Разности давления	Вклад
Порт Элизабет – Новозаревская	0,52
Олбани – Кейси	0,49
По меридиану 0°	0,47
По меридиану 90° в.д.	0,52

Вклады каждой выборки разности давления в формирование первой главной компоненты разложения на ЕОФ очень близки между собой, что свидетельствует о том, что определяемые первой главной компонентой закономерности динамики интенсивности зональной циркуляции одинаково характерны для всего региона. В табл. 4 приведены значения коэффициентов корреляции первой главной компоненты разложения с каждой выборкой разностей давления, использованных в разложении на ЕОФ. Как видно из табл. 4, величины связи во всех случаях достаточно высоки и близки между собой.

Таблица 4

**Значения коэффициентов корреляции между изменениями первой главной компоненты
разложения и выборками разностей давления в различных районах ЮПО**

Разности давления	r
Порт Элизабет – Новозаревская	0,83
Олбани – Кейси	0,78
По меридиану 0°	0,76
По меридиану 90° в.д.	0,83

На рис. 4 представлены значения первой главной компоненты (ГК) разложения на ЕОФ указанных четырех выборок разностей давления и их 5-летние скользящие средние. В дальнейшем мы будем называть представленные значения ряда значениями индекса Южно-Полярного колебания (SPO_1). Почему мы обозначили SPO индексом 1? Потому что в дальнейшем мы получили и второе представление индекса, которое обозначили индексом 2. Как видно из рис. 4, значения индекса SPO_1 имели отрицательные значения в середине 50-х годов, 70-х годов и особенно в середине 90-х годов. В 60-е годы, преимущественно в их вторую половину, и в 80-е годы значения индекса были положительными. Можно ожидать, что в середине первого десятилетия XXI в. также будет наблюдаться максимум в интенсивности зональной циркуляции в ЮПО. Сказанное хорошо подтверждается и данными табл. 5, в которой приведены средние за десятилетия значения индекса.

Однако такое представление индекса Южно-Полярного колебания не совсем устраивало нас по двум причинам. С одной стороны использованные разности давления на разрезах и станциях в большинстве случаев далеко отстояли от положения среднемноголетних центров действия атмосферы Южного полушария. Во-вторых, особенности многолетней динамики циркуляции атмосферы в Тихоокеанском регионе при определении индекса SPO_1 практически не учи-

ывались. В связи с этим были предприняты усилия для определения за тот же период с 1957 по 2000 г. не только характеристик циклонических центров действия атмосферы [7], но и антициклонических. После этого были определены разности давления за каждый месяц между соответствующими парами центров действия атмосферы в трех секторах Южного полушария (рис. 5). Как и в первом случае, были определены средние за зимний период значения разностей, которые представлены на рис. 6.

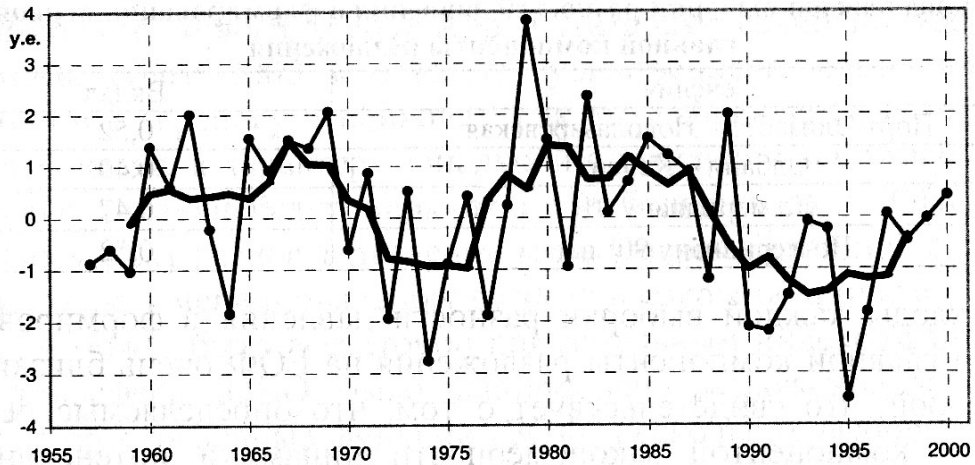


Рис. 4. Значения 1-й ГК разложения на ЕОФ изменений разностей давления на 4-х меридиональных сечениях в ЮПО (индекс SPO_1) и их 5-летние скользящие средние значения (утолщенная линия)

Таблица 5
Средние за 10-летия значения индекса Южно-Полярного колебания (SPO_1)

Годы	SPO_1
1957–1960	–0,28
1961–1970	0,61
1971–1980	–0,09
1981–1990	0,45
1991–2000	–0,94

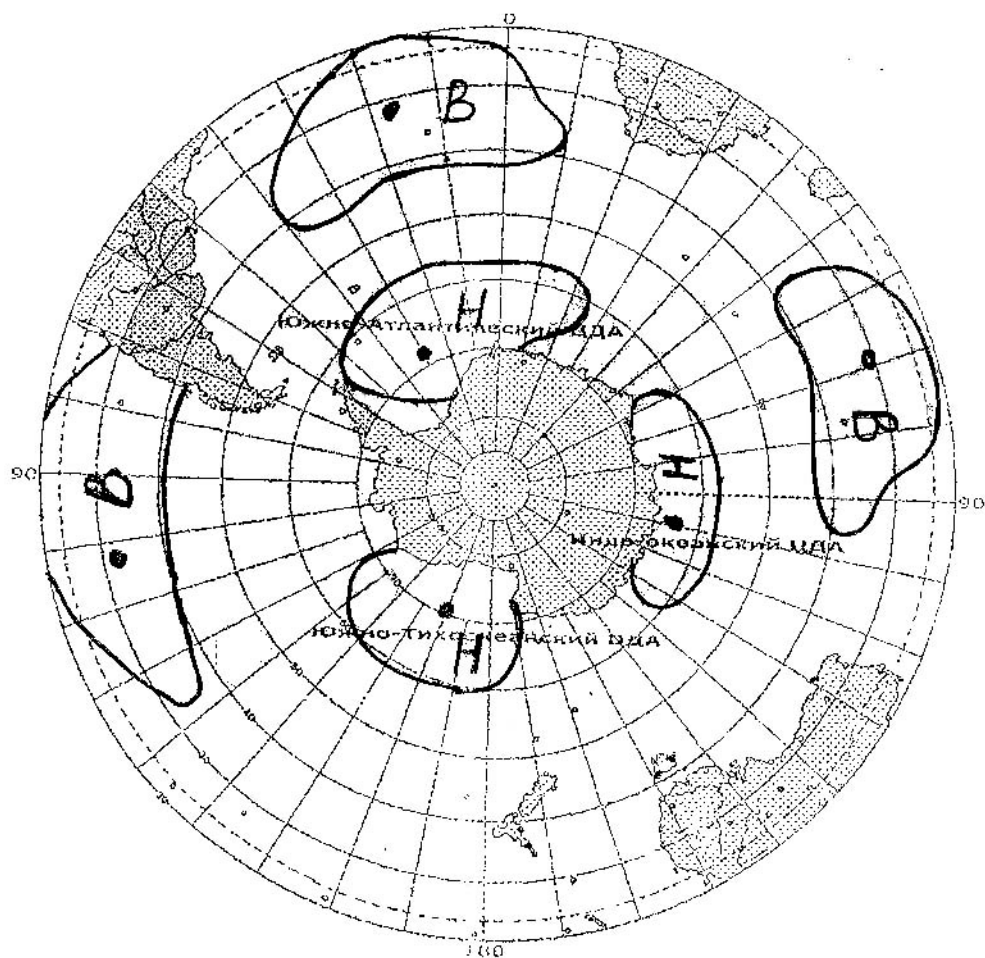
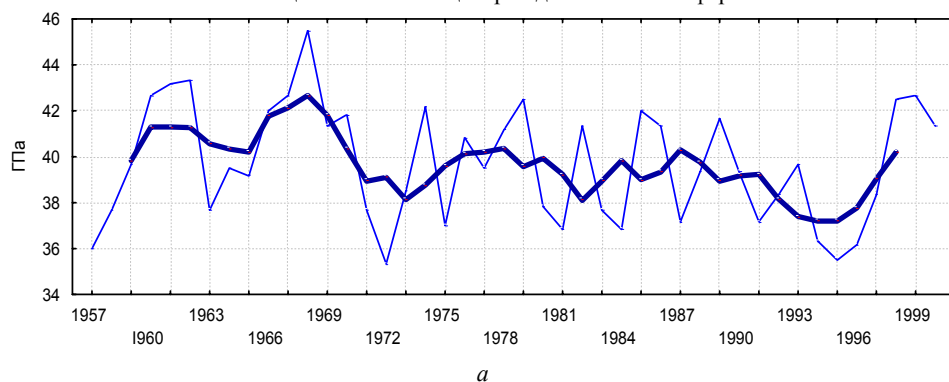
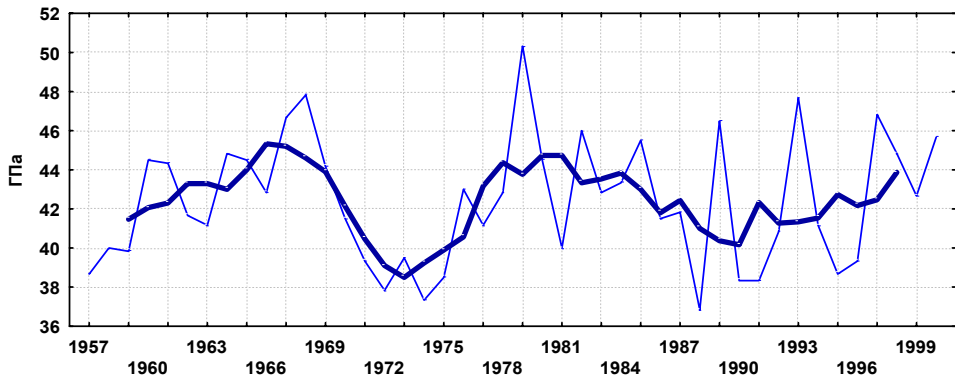
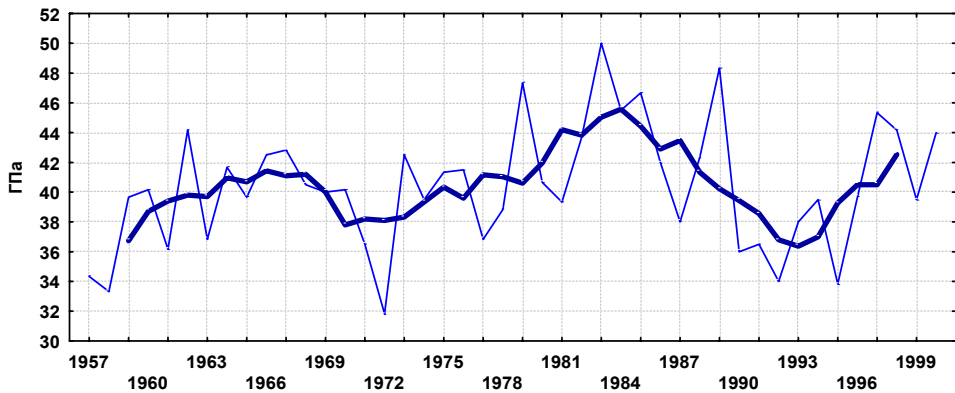


Рис. 5. Среднегодовое положение циклонических и антициклонических центров действия атмосферы





б



в

Рис. 6. Изменения разностей давления за зимний период между центрами антициклонических и циклонических центров действия атмосферы в Южном полушарии (а – Атлантика, б – Индийский океан, в – Тихий океан) и их 5-летние скользящие средние значения (утолщенная линия)

Из рисунка видно, что между разностями давления в центрах действия атмосферы во всех трех секторах Южного полушария наблюдается заметное совпадение, что подтверждается и результатами табл. 6.

Таблица 6

Корреляционная матрица значений разностей давления между антициклоническими и циклоническими центрами действия атмосферы в Южном полушарии ($r_{0,5\%} = \pm 0,30$)

Регион	Южно-Атлантический	Индоеокеанский	Южно-Тихоокеанский
Южно-Атлантический	1,0	0,57	0,41
Индоеокеанский		1,0	0,56
Южно-Тихоокеанский			1,0

Сравнение рис. 6 с рис. 2 и 3 свидетельствует, что наблюдаются общие черты в характере изменений разностей давления между центрами действия атмо-

сферы и разностей давления между станциями и на разрезах в Южно-Атлантическом и Индоокеанском регионах. И лишь в области пролива Дрейка и в непосредственной близости к западному побережью Южной Америки изменения разностей давления имеют другой характер.

Таким образом, можно полагать, что разности давления между центрами действия атмосферы можно использовать для определения индекса Южно-Полярного колебания и рассматривать его как индекс характерный для изменчивости интенсивности циркуляции атмосферы во всех секторах средних широт Южного полушария за исключением относительно небольшой области у Антарктического п-ва и западного побережья Южной Америки.

Как и в первом случае, для определения индекса SPO было выполнено разложение на ЕОФ трех рядов зимних разностей давления между соответствующими центрами действия атмосферы, результаты которого представлены в табл. 7 и 8 и на рис. 7.

Таблица 7

Сходимость разложения на ЕОФ трех рядов разностей давления между антициклоническими и циклоническими центрами действия атмосферы

Номер компоненты	Доля дисперсии (%), описываемая компонентой	Накопленная дисперсия (%)
1	67,6	67,6
2	19,7	87,3
3	12,7	100

Таблица 8

Вклад каждой выборки разностей давления между антициклоническими и циклоническими центрами действия атмосферы

Регион	Вклад
Южно-Атлантический	0,56
Индоокеанский	0,61
Южно-Тихоокеанский	0,56

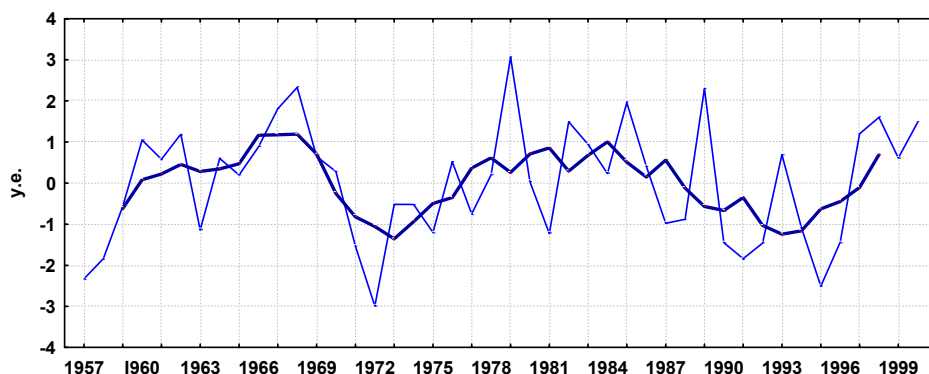


Рис. 7. Значения 1-й ГК разложения на ЕОФ изменений зимних разностей давления между центрами стационарных антициклонов и циклонов в Южном полушарии (индекс SPO₂) и их 5-летние скользящие средние значения (утолщенная линия)

Полученный таким образом индекс мы обозначили как SPO_2 . Можно предполагать, что он в чем-то лучше, чем индекс SPO_1 будет отражать общие черты изменчивости циркуляции атмосферы в средних широтах Южного полушария.

В табл. 9 приведены значения коэффициентов корреляции между первой главной компонентой разложения (индекс SPO_2) и каждой выборкой разностей давления между центрами действия атмосферы. Результаты свидетельствуют, что индекс SPO_2 описывает около двух третей дисперсии каждой выборки. В табл. 10 приведены средние за десятилетия значения индекса SPO_2 . Как и в случае индекса SPO_1 , наблюдается достаточно четкое изменение знака индекса в каждом из десятилетий второй половины XX столетия.

Таблица 9

Значения коэффициентов корреляции между первой главной компонентой разложения и выборками разностей давления в различных регионах

Регион	R
Южно-Атлантический	0,80
Индоокеанский	0,87
Южно-Тихоокеанский	0,79

Таблица 10

Средние за 10-летия значения индекса Южно-Полярного колебания (SPO_2)

Период	SPO_2
1957–1960	–0,92
1961–1970	0,74
1971–1980	–0,37
1981–1990	0,28
1991–2000	–0,28

Это свидетельствует о наличии в обоих индексах выраженных вариаций с периодом около 20 лет. Заметим, что это колебание проявляется во многих характеристиках циркуляции атмосферы и климата Земли.

Коэффициент корреляции между индексами достаточно высокий (0,73). Учитывая, что при определении значений SPO_1 были использованы данные инструментальных наблюдений по обе стороны Южного океана (наиболее точные), мы сочли целесообразным получить обобщенный индекс $SPO_{об}$, представляющий первую главную компоненту разложения на ЕОФ индексов SPO_1 и SPO_2 . Новый индекс описывает почти 90 % дисперсии каждого из индексов.

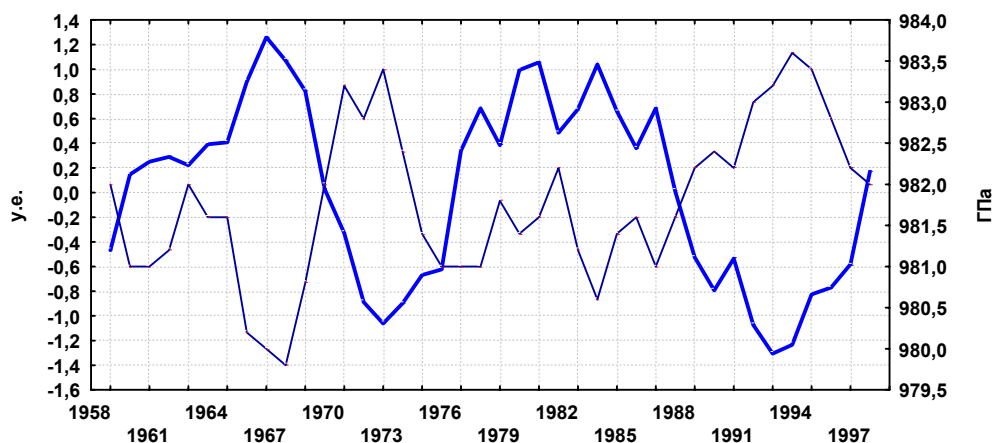
В табл. 11 приведены коэффициенты корреляции между изменениями трех разных представлений индексов циркуляции атмосферы и давлением в циклонических и антициклонических центрах действия атмосферы. Результаты, приведенные в таблице, свидетельствуют, что изменения индекса Южно-Полярной циркуляции в первую очередь определяются изменчивостью интенсивности циклонических центров действия (примерно на три четверти). Наиболее полно ин-

декс описывает изменения давления в Индоокеанском секторе и хуже всего в Тихоокеанском секторе. Из трех представлений индексов лучше всего, по понятным причинам, описывает изменения давления в центрах действия атмосферы индекс SPO_2 и почти также индекс $SPO_{об}$. На рис. 8 приведено сопоставление сглаженных значений $SPO_{об}$ с изменением давления в циклонических центрах действия в Южной Атлантике и Индийском океане и южной части Тихого океана.

Таблица 11

Коэффициенты корреляции между значениями трех представлений индекса SPO и давлением в циклонических и антициклонических центрах действия атмосферы Южного полушария ($r_{95\%} = \pm 0,29$, $r_{99\%} = \pm 0,37$, $r_{99,9\%} = \pm 0,46$)

Тип ЦД	Центр действия	r (несглаженные значения)			r (сглаженные по 5-летиям значения)		
		SPO_1	SPO_2	$SPO_{об}$	SPO_1	SPO_2	$SPO_{об}$
Циклонические	Южно-Атлантический	-0,47	-0,77	-0,67	-0,71	-0,84	-0,82
	Индooкеанский	-0,66	-0,81	-0,79	-0,64	-0,74	-0,73
	Южно-Тихоокеанский	-0,49	-0,66	-0,62	-0,47	-0,60	-0,56
Антициклонические	Южно-Атлантический	0,22	0,36	0,31	0,20	0,33	0,28
	Индooкеанский	0,40	0,53	0,50	0,40	0,59	0,52
	Южно-Тихоокеанский	0,27	0,38	0,35	0,37	0,38	0,39



a

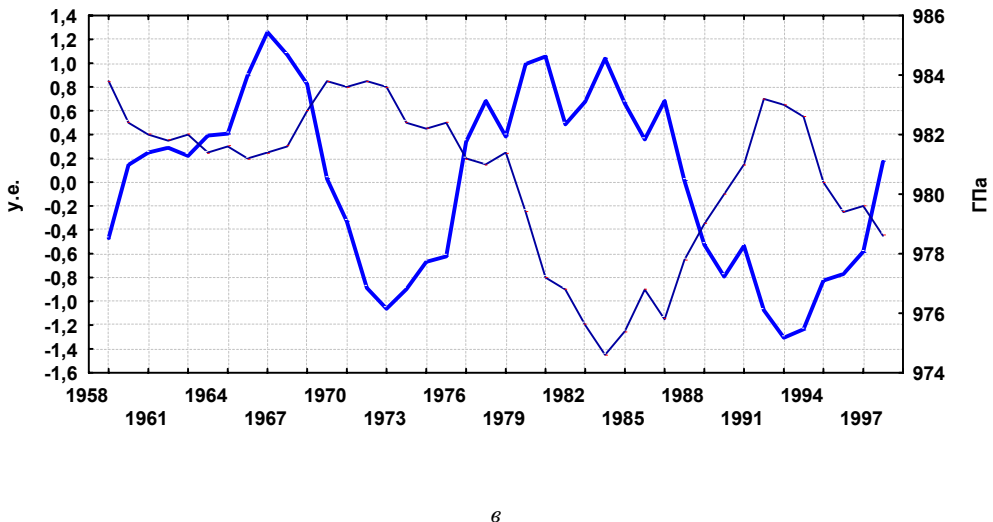
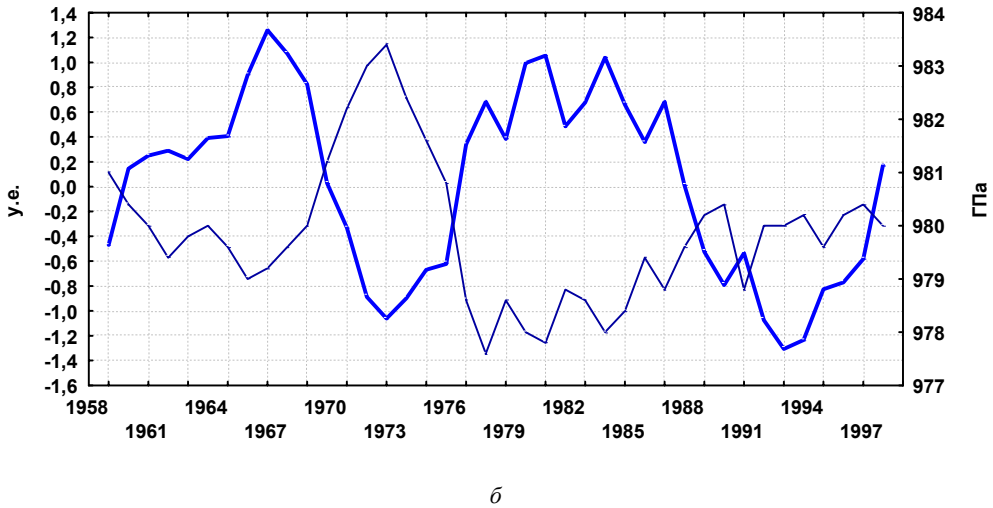


Рис. 8. Сопоставление 5-летних скользящих средних значений индекса SPO_{06} и давления за зимний период в Южно-Атлантическом (а), Индоокеанском (б) и Южно-Тихоокеанском (в) циклонических центрах действия атмосферы

Было интересно проанализировать, как индексы Южно-Полярного колебания связаны с изменениями положения центров действия атмосферы в пространстве. В табл. 12 приведены коэффициенты корреляции между сглаженными по пятилетиям значениями различных представлений индекса SPO и значениями широты и долготы центров действия атмосферы.

Коэффициенты корреляции между 5-летними скользящими значениями трех представлений индекса Южно-Полярного колебания SPO и значениями широты и долготы за зимний период центров действия атмосферы Южного полушария ($r_{95\%} = \pm 0,29$, $r_{99\%} = \pm 0,37$, $r_{99,9\%} = \pm 0,46$)

Тип ЦД	Центры действия	SPO ₁	SPO ₂	SPO _{об}
Широта				
Циклонические	Южно-Атлантический	-0,67	-0,62	-0,68
	Индоеокеанский	-0,50	-0,34	-0,44
	Южно-Тихоокеанский	0,20	-0,20	0,01
Антициклонические	Южно-Атлантический	-0,31	-0,20	-0,27
	Индоеокеанский	0,37	0,51	0,47
	Южно-Тихоокеанский	0,71	0,29	0,52
Долгота				
Циклонические	Южно-Атлантический	-0,14	0,14	0
	Индоеокеанский	0,27	0,29	0,30
	Южно-Тихоокеанский	-0,36	-0,21	-0,30
Антициклонические	Южно-Атлантический	-0,39	-0,36	-0,40
	Индоеокеанский	0,40	0,18	0,30
	Южно-Тихоокеанский	0,01	0,25	0,14

Изменения по широте лучше, чем изменения по долготе связаны с индексом SPO, а следовательно, больше влияют на изменения интенсивности циркуляции атмосферы в Южном полушарии. Смещение циклонических центров действия в сторону экватора, особенно Южно-Атлантического, приводит к увеличению индекса SPO. Только у Южно-Тихоокеанского циклонического центра такая связь практически отсутствует. В противоположность этому смещение Южно-Тихоокеанского антициклонического центра действия атмосферы (особенно) и Индоеокеанского к полюсу также приводит к увеличению индекса SPO. В то же время Южно-Атлантический антициклонический центр очень слабо связан с индексом SPO, при этом тенденция смещения у него противоположна смещению двух других центров. Таким образом, на интенсивность циркуляции атмосферы оказывают наибольшее влияние в Южной Атлантике смещение по широте циклонического центра действия атмосферы, а в южной части Тихого океана – антициклонического центра действия атмосферы. В Индийском океане роль обоих центров примерно одинакова.

В случае с долготой картина повторяется с тем отличием, что циклоны и антициклоны меняются местами и в целом оказывают меньшее влияние на изменение интенсивности циркуляции атмосферы. Индекс SPO имеет значимую тенденцию к усилению при смещении Южно-Тихоокеанского циклонического центра действия атмосферы к западу и Индоеокеанского – к востоку, при отсутствии всякой связи у индекса SPO со смещениями по долготе Южно-Атлантического циклонического центра действия атмосферы. В противоположность этому отсутствие всякой связи у индекса SPO наблюдается с изменением долготы Южно-Тихоокеанского антициклонического центра, притом, что он имеет тенденцию к увеличению при смещении к западу Южно-Атлантического антициклонического центра действия атмосферы и к востоку – Индоеокеанского.

Важно заметить, что связь с положением центров действия атмосферы чаще лучше у индекса $SPO_{об}$. Отсюда следует, что если индекс SPO_2 лучше описывает изменение давления в центрах действия атмосферы, то индекс SPO_1 лучше описывает их пространственное перемещение. Поэтому можно сделать заключение, что лучше пользоваться индексом $SPO_{об}$, который хорошо описывает как изменения давления, так изменения в положении центров действия атмосферы. В качестве примера зависимости индекса SPO от положения центров действия атмосферы на рис. 9 приведено сопоставление изменений индекса $SPO_{об}$ с изменениями широты Южно-Атлантического циклонического центра действия атмосферы и Южно-Тихоокеанского антициклонического центра.

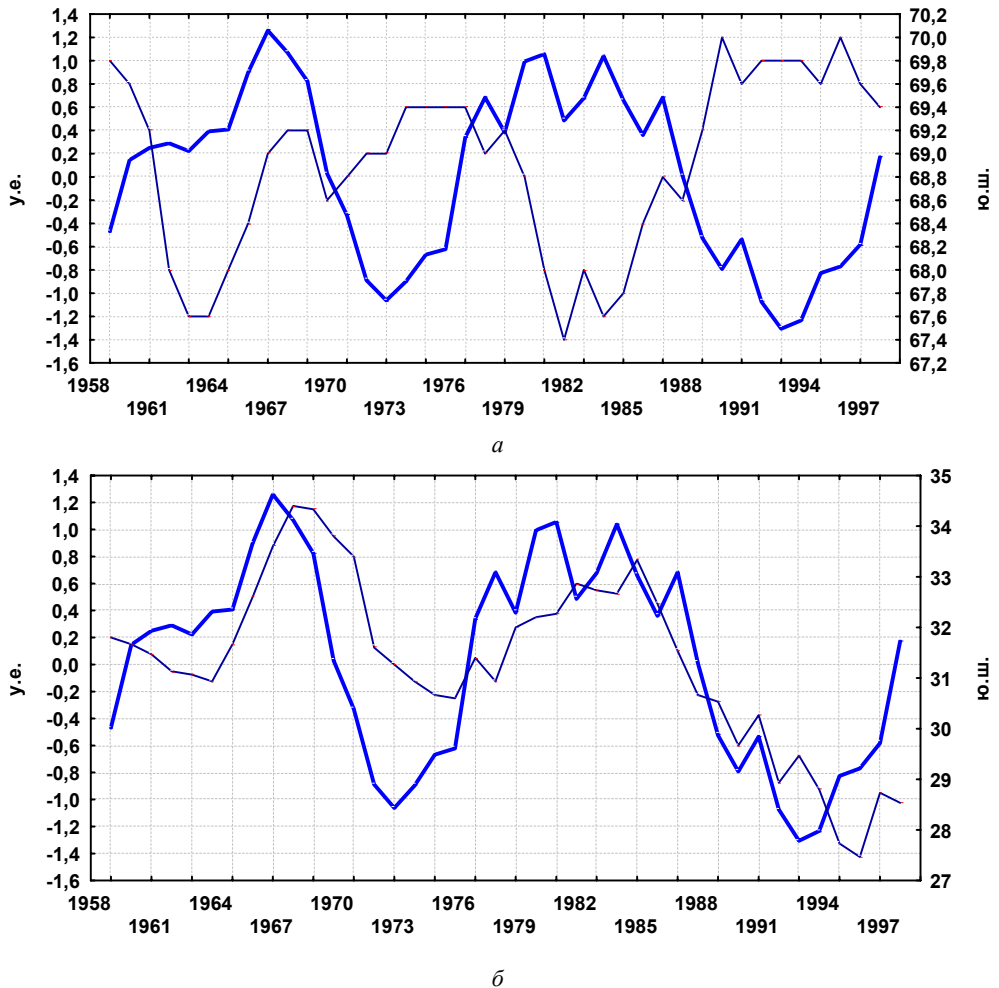


Рис. 9. Сопоставление 5-летних скользящих средних значений индекса $SPO_{об}$ (жирная линия) с изменениями широты Южно-Атлантического циклонического центра действия атмосферы (а) и Южно-Тихоокеанского антициклонического (б)

Судить о характере межгодовой изменчивости Южно-Полярного колебания можно по приведенным на рис. 10 спектрам изменений индекса SPO_1 и $SPO_{об}$. На обоих спектрах наиболее значимым является пик на частоте, соответствующей периоду около 20 лет.

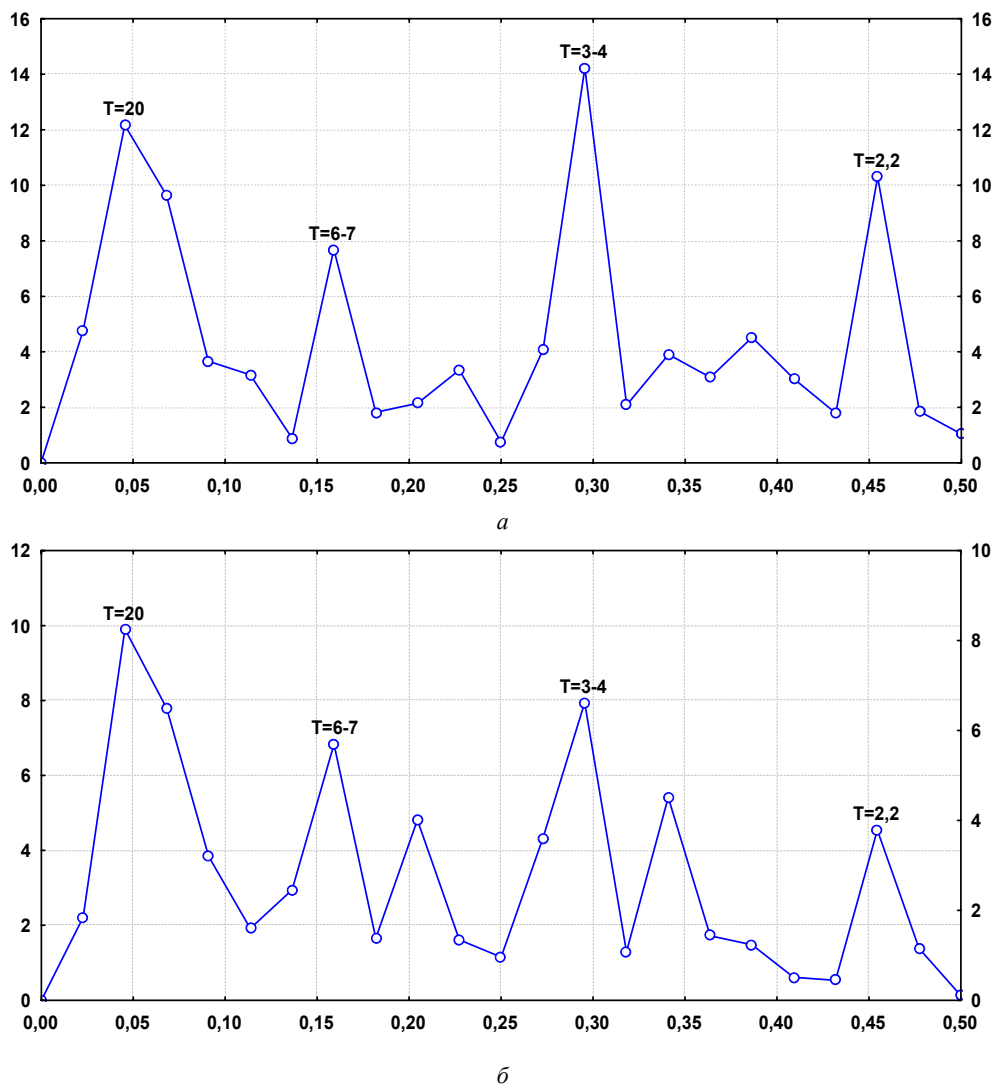


Рис. 10. Спектры многолетней изменчивости индекса SPO_1 (a) и $SPO_{об}$ (б)

Как уже отмечалось, 20-летняя периодичность просматривается очень хорошо уже по данным табл. 5 и 10 и на рядах значений индексов сглаженных по 5-летиям. В более высокочастотной части спектра можно отметить еще колебания с периодом 6-7 лет и 3-4 года, а также колебание с периодом около 2 лет.

Если сравнить структуру межгодовой изменчивости индексов Южно-Полярного колебания с изменением давления в циклонических и антициклонических центрах действия атмосферы Южного полушария (рис. 11), то можно прийти к заключению, что изменчивость с периодами около 20 лет и 6-7 лет характерны как для изменения давления в антициклонах, так и циклонах. Колебания с периодами в 6-7 и 2-3 года в первую очередь характерны для изменения давления в антициклонических центрах действия.

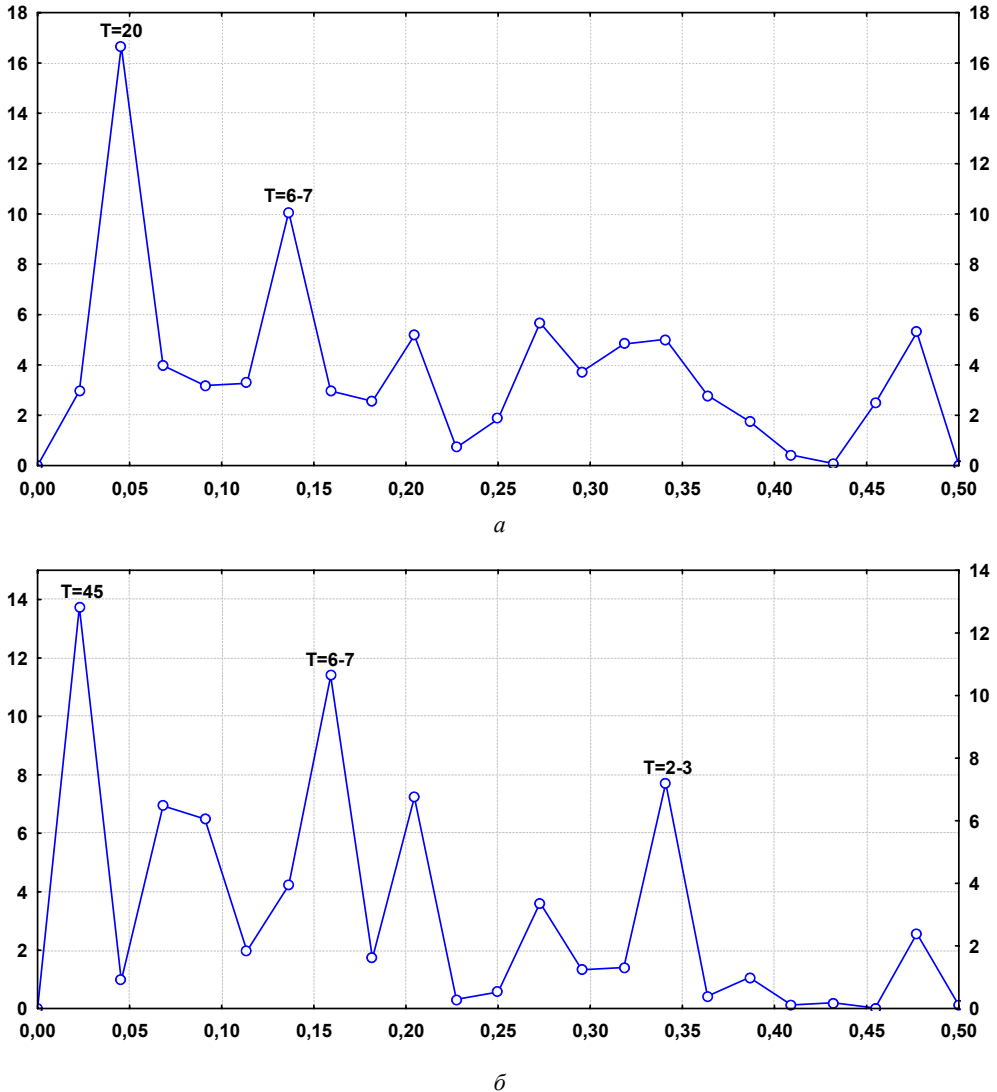


Рис. 11. Спектры многолетней изменчивости 1-й ГК разложения на ЕОФ давления зимой в циклонических (а) и в антициклонических (б) центрах действия атмосферы в Южном полушарии

В целом же структура многолетней изменчивости индекса Южно-Полярного колебания, отражающая изменения интенсивности атмосферной циркуляции в Южном полушарии аналогична тому, что мы имели и для Северного полушария [5, 6], и особенно она близка к изменчивости атмосферной циркуляции в Северной Атлантике [5].

В последние годы много говорится и пишется о наличии тренда в климатических характеристиках на Земле. Более того, многие наблюдающиеся аномалии в погодных условиях, несмотря на то, что они имели место и в прошлом, объясняются только с позиций антропогенного влияния, приводящего к потеплению климата. Посмотрим, насколько выражена трендовая составляющая в изменениях трех различных представлений индекса Южно-Полярного колебания. На рис. 12 приведены линейные тренды индекса SPO_1 , SPO_2 и $SPO_{об}$, а в табл. 13 – величины указанных трендов за последние 44 года прошлого столетия.

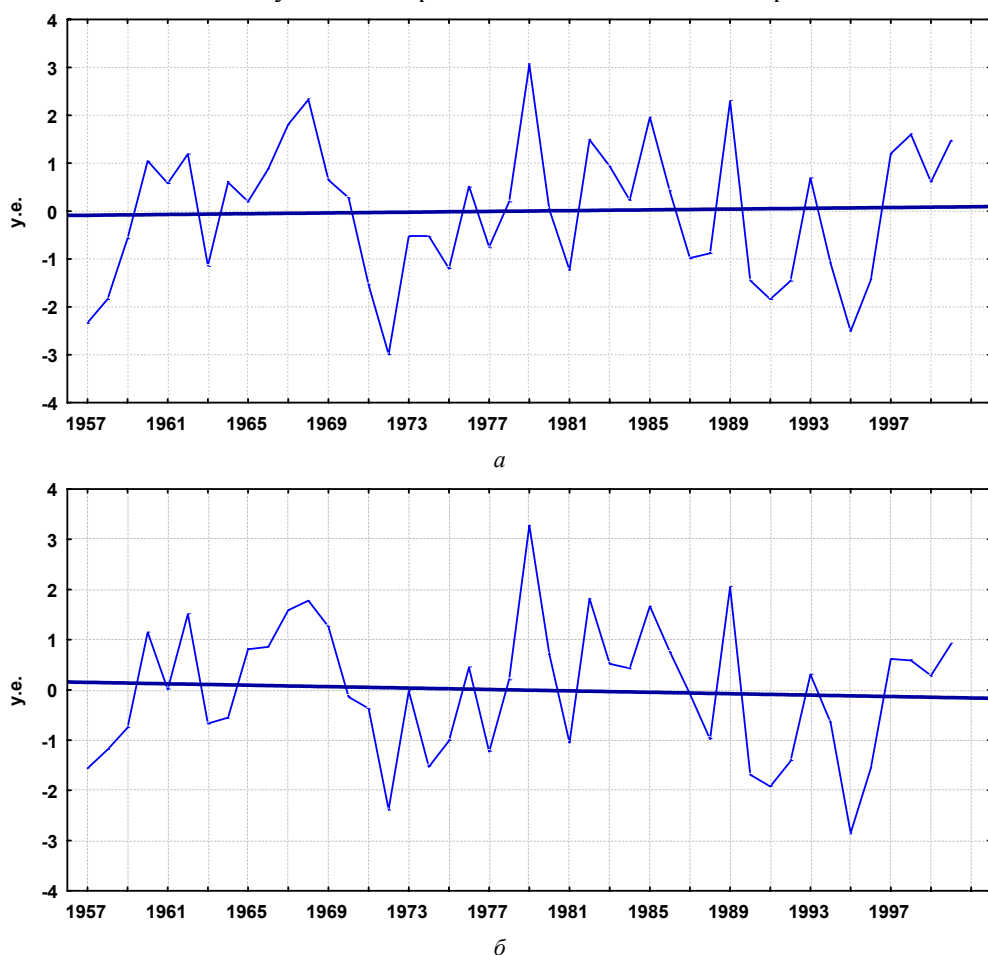


Рис. 12. Линейные тренды индексов SPO_1 (а), SPO_2 (б), $SPO_{об}$ (в)

Таблица 13

Стандартные отклонения σ и величины линейных трендов трех различных представлений индекса SPO с 1957 по 2000 г.

Индекс	σ	Величина тренда за 44 года
SPO ₁	1,42	–0,87
SPO ₂	1,54	0,18
SPO ₀₆	1,31	–0,31

Приведенные данные свидетельствуют, что величина тренда в своем максимальном значении у SPO₁ составляет всего 0,6 σ , а для двух других представлений индекса заметно меньше. Поэтому говорить о значимом наличии тренда в изменениях индекса SPO во второй половине XX столетия не приходится и поэтому нет достаточных оснований утверждать о каких-либо направленных изменениях в среднем уровне интенсивности циркуляции атмосферы в Южном полушарии Земли. Структура многолетних колебаний индекса SPO еще раз подтверждает уже известную картину изменчивости циркуляции атмосферы в других регионах Земли.

Литература

1. Бабкин В.И., Воробьев В.Н., Смирнов Н.П. Северо-Атлантическое колебание и динамика стока рек Европы // Труды РГГМУ, вып. 122, 1999, с. 114-121.
2. Бабкин В.И., Воробьев В.Н., Смирнов Н.П. Колебания стока Оби, Енисея и Лены и динамика циркуляции атмосферы в Северном полушарии // Метеорология и гидрология, № 1, 2004, с. 74-80.
3. Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю., Смирнов Н.П. Сезонные и многолетние колебания уровня морей Северного Ледовитого океана. – СПб.: РГГМУ, 2000. – 113 с.
4. Дворкин Е.Н., Кочанов С.Ю., Смирнов Н.П. Северо-Атлантическое колебание и многолетние изменения уровня Северного Ледовитого океана. Метеорология и гидрология, № 3, 2000, с. 78-84.
5. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. СПб.: РГГМУ, 1998. – 121 с.
6. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н. Северо-Тихоокеанское колебание и климат. СПб.: РГГМУ, 2002. – 122 с.
7. Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В. Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. – СПб.: РГГМУ, 2004. – 208 с.
8. Brasket A., Curry J., Maslanik J. Sea-ice variability in Greenland Labrador Seas and their interaction with the North Atlantic Oscillation. In Conference on Polar Processes and Global Climate. – Draft Summary Report, Oslo, Norway, 1997, p. 23-25.
9. CLIVAR. A Research Programme of Climate Variability and Prediction for the 21st Century. World Climate Research Program, August, 1997, p. 33-47.
10. Defant A. Die Schwankungen der atmospherischen Zirkulation uber dem Nordatlantischen Ozean im jahren 1881-1905. – Geogr. Ann., Bd. 6, 1924, s.13-41.
11. Dickson R.R. and all. The Arctic Ocean Response to the North Atlantic Oscillation. J. of Climate, vol. 13, 2000, p. 2671-2695.
12. Eden C. and Jung T. North Atlantic Interdecadal Variability: Ocean Response to the North Atlantic Oscillation (1865-1997). J. of Climate, Vol. 14, 2001, p. 676-691.
13. Gong D. and Wong S. Definition of Antarctic Oscillation index. Geophys. Res. Let., vol. 26, № 3, 1999, p. 183-194.

14. *Joyce T.M., Deser G., Spall M.* The relation between Decadal Variability of Subtropical Mode Water and the North Atlantic Oscillation. *J. of Climate*, vol. 13, 2000, p. 2550-2569.
15. *Kapala A., Machel H., Flohn H.* Behaviour of the centers of action above the Atlantic since 1881. Part 2. Associations with regional climate anomalies. *Int. J. Climatology*, vol. 18, 1998, p. 23-36.
16. *Lamb P.J. and R.A. Pepler*, North Atlantic Oscillation: Concept and an Application. *Bull. American Meteorol. Soc.*, vol. 68, № 10, 1987, p. 1218-1225.
17. *Rodwell M.J., Rowell D.P., Folland C.K.* Oceanic forcing of the winter time North Atlantic Oscillation and European climate, *Nature*, vol. 398, 1999, p. 320-323.
18. *Rogers J.S.* The association between North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. *Month. Weather Rev.*, vol. 112, 1984, p. 1999-2015.
19. Simmonds I.
20. *Trenberth K. E.* Fluctuation and trends in indices of the Southern Hemisphere. *Q. J. Roy. Met. Soc.*, № 103, 1976, p. 67-75.
21. *Venegas S.A., Mysak L.* Is a Dominant Timescale of Natural Climate Variability in the Arctic. *J. of Climate*, vol. 13, 2000, p. 3412-3434.
22. *Walker G.T., Bliss E.M.* *World Weather*. V. – *Mem. Roy. Meteorology Soc.* № 4b, 1932, p. 53-84.
23. Walker G.T. *Weather*. *Q.J. Roy. Met. Soc.*, 54, № 28, p. 79-87.
24. *Zhang J., Rothrock D. and Steele M.* Recent Changes in Arctic Sea Ice. The Interplay between Ice dynamics and thermodynamics. *J. of Climate*, vol. 13, 2000, p. 3099-3114.