

*В.Н. Воробьев, С.А. Зарин, Л.Ю. Рыжаков,
Э.И. Саруханян, Н.П. Смирнов*

**МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗОНАЛЬНЫХ
И МЕРИДИОНАЛЬНЫХ ПЕРЕНОСОВ ВОЗДУШНЫХ МАСС
В СРЕДНИХ ШИРОТАХ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ**

*V.N. Vorobyev, S.A. Zarin, L.Y. Ryzhakov,
E.I. Sarukhanyan, N.P. Smirnov*

**INTERANNUAL VARIABILITY OF ZONAL
AND MERIDIONAL AIR-MASS TRANSFERS
IN THE MIDDLE LATITUDES OF THE SOUTHERN
HEMISPHERE**

Выполнено исследование межгодовой изменчивости меридиональных и зональных разностей давления в Южном полушарии на основе результатов реанализа данных по давлению. Анализ выполнен для трех секторов Южного полушария: Атлантического, Индоокеанского и Тихоокеанского.

Установлено, что интенсивность зональной циркуляции в средних широтах Южного полушария от 180 до 300° долготы изменяется по другим законам в отличие от циркуляции атмосферы в Атлантическом и Индоокеанском секторах. Район Антарктического полуострова выпадает даже из общих закономерностей изменчивости Тихоокеанского региона.

Установлено также, что меридиональные переносы воздушных масс на западе и востоке каждого сектора в среднем имеют разное направление: на западе – на север, на востоке – на юг.

Усиление зонального переноса сопровождается одновременным усилением и меридиональных переносов. Таким образом, происходит одновременное усиление или ослабление интенсивности крупномасштабных вихрей над океанами.

A research of interannual variability of meridional and zonal differences of pressure in the Southern Hemisphere based on re-analysis of pressure data is executed. The analysis is carried out for three sectors of the Southern Hemisphere: the Atlantic, Indian-Ocean and Pacific-Ocean ones.

It is established that in the middle latitudes of the Southern Hemisphere in the longitudes from 180 up to 300° intensity of zonal circulation changes according to other rules, as compared to the atmospheric circulation in the Atlantic and Indian sectors. The area of the Antarctic Peninsula drops out even of the general rules of variability in the Pacific region.

Also, it is established that the meridional air-mass transfer in the west and the east of each sector have, on average, different directions: a northward one in the west, and a southward one in the east.

Intensification of zonal transfer is accompanied by simultaneous intensification of meridional transfers. Thus, there is a simultaneous intensification or decrease of large-scale whirlwind intensity above oceans.

Зональные и меридиональные переносы воздушных масс давно принято оценивать по разностям давления или градиентам давления соответственно по меридиану или соответствующей параллели. На этой основе определяется и целый ряд индексов атмосферной циркуляции, в том числе и такой известный и широко используемый индекс, как Северо-Атлантическое колебание (NAO).

Анализ атмосферной циркуляции показал, что при увеличении индекса NAO, т.е. усилении зональной циркуляции над Северной Атлантикой, одновременно усиливаются и меридиональные переносы воздушных масс на востоке и западе Северной Атлантики, которые определяются по разностям давления на параллели 65° с.ш. и между 10° в.д. и 0° на востоке и 50° з.д. и 70° з.д. на западе [Смирнов, 1998].

На рис. 1 приведено сопоставление зонального индекса циркуляции (NAO_{об}) с меридиональными индексами, названными Восточно-Канадским колебанием (ECO) и Северо-Европейским колебанием (NEO), а в табл. 1 приведены соответствующие коэффициенты корреляции между индексом NAO_{об} и меридиональными индексами. Позднее то же самое было показано и для северной части Тихого океана [Смирнов, 2002], то есть для Северо-Тихоокеанского колебания и меридиональных переносов на западе (КО) и востоке (АО) северной части Тихого океана.

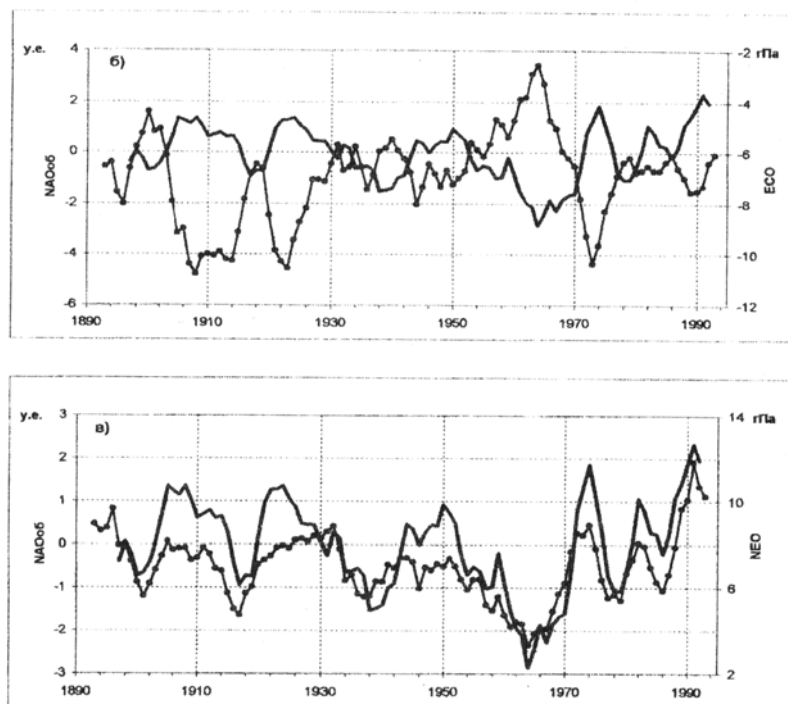


Рис. 1. Сопоставление 5-летних скользящих средних значений индекса NAO_{об} и индексов ECO (а) и NEO (б)

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между значениями индексов NAO₀₆ и NPO со значениями индексов, характеризующих меридиональные переносы над северной Атлантикой и северной частью Тихого океана

Индекс	NAO ₀₆	NPO
ECO	-0,69	-
NEO	0,74	-
КО	-	-0,55
АО	-	0,60

По сути дела, полученные результаты означают, что в Северном полушарии над океанами в средних широтах наблюдаются мощные квазистационарные вихревые структуры, интенсивность которых то усиливается, то ослабевает. С этим связана западно-восточная оппозиция, характерная для обоих океанов, но значительно более ярко выраженная для Северной Атлантики благодаря ее тесной связи с Северным Ледовитым океаном. Таким образом, усиление зонального переноса воздушных масс означает и одновременное усиление меридиональных переносов, т.е. усиление обмена теплом и холодом между высокими и низкими широтами.

В связи со сказанным представляется интересным выполнить подобное исследование для средних и высоких широт Южного полушария. Это тем более важно, что появились высказывания о том, что похолодания Восточной Антарктиды, на фоне «общего глобального потепления», связано с усилением зональной циркуляции. Это усиление действительно наблюдалось в 90-х годах прошлого столетия, [Simmonds, 2003], и оно якобы ослабило меридиональный обмен воздушных масс и привело к похолоданию в восточной Антарктиде.

Для анализа мы использовали данные по атмосферному давлению, приведенные к уровню моря, с сайта Центра диагностики климата (США), представляющего собой результат реанализа натуральных наблюдений по проекту NCED-NCAR Reanalysis Project [L. Kalnay, 1996; Simmonds, 2003], обобщенные в отделе ААНИИ.

Поскольку мы рассматриваем наш анализ как предварительный, на первом этапе нами была выбрана сетка точек через 30° по долготе и 10° по широте. Были определены среднемесячные разности значений давления в узлах сетки между 30° ю.ш. и 60° ю.ш. для каждого меридиана от 0 до 330° через 30° долготы с 1965 по 2005 год. Были определены также средние значения разностей давления за каждый сезон и в среднем за год.

Как и следовало ожидать, максимальные значения разностей давления наблюдаются в зимний и весенний периоды, при этом на большинстве меридианов – в зимний период. Меридианы, на которых максимальными являются весенние разности давления, расположены в основном в Тихоокеанском секторе Южного полушария. Минимальные значения разностей давления наблюдаются в летний период, за исключением меридианов 240 и 270°, расположенных в Ти-

хоокеанском секторе, на которых средние значения разностей давления в осенний период меньше, чем в летний.

Интересно было проанализировать, как связаны между собой многолетние изменения меридиональных разностей давления на рассматриваемых меридианах за 41 год, поскольку они отражают интенсивность зонального переноса в средних широтах Южного полушария.

В табл. 2 приведены корреляции между разностями давления на меридианах от нулевого до 330-го за зимний и весенний периоды, когда зональный перенос в Южном полушарии максимален.

Таблица 2

Матрицы корреляций между изменениями разностей давления между широтами 30° ю.ш. и 60° ю.ш. на меридианах от 0 до 330° ($r_{95\%} = \pm 0,30$, $r_{99\%} = \pm 0,39$)

Меридиан	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
З и м а												
0°	1,0	0,69	0,63	0,61	0,63	0,57	0,46	0,20	0,04	-0,04	0,19	0,82
30°		1,0	0,90	0,70	0,73	0,64	0,50	0,35	0,30	0,18	0,06	0,12
60°			1,0	0,71	0,70	0,67	0,58	0,39	0,30	0,17	0,07	0,12
90°				1,0	0,82	0,69	0,52	0,23	0,02	-0,10	0,07	0,33
120°					1,0	0,83	0,47	0,10	0,02	0,03	0,22	0,36
150°						1,0	0,68	0,18	-0,04	-0,04	0,28	0,34
180°							1,0	0,72	0,26	-0,15	-0,05	0,23
210°								1,0	0,73	0,21	-0,14	0,02
240°									1,0	0,74	0,12	-0,14
270°										1,0	0,50	-0,09
300°											1,0	0,59
330°												1,0
В е с н а												
0°	1,0	0,71	0,41	0,43	0,43	0,29	0,08	0,27	0,24	0,07	0,33	0,74
30°		1,0	0,75	0,66	0,49	0,36	0,14	0,32	0,29	0,19	0,29	0,47
60°			1,0	0,76	0,48	0,26	0,15	0,29	0,22	0,13	0,27	0,30
90°				1,0	0,76	0,40	0,09	0,29	0,20	0,01	0,08	0,22
120°					1,0	0,71	0,13	0,07	-0,05	-0,12	0,13	0,42
150°						1,0	0,55	0,11	-0,12	-0,09	0,21	0,51
180°							1,0	0,65	0,33	0,12	0,12	0,23
210°								1,0	0,86	0,48	0,10	0,10
240°									1,0	0,77	0,19	-0,08
270°										1,0	0,56	-0,09
300°											1,0	0,45
330°												1,0

Из результатов таблицы можно сделать вывод, что в средних широтах Южного полушария, несмотря на значительно большую однородность подстилающей поверхности, интенсивность зонального переноса неодинакова в разных секторах. Интенсивность зональной циркуляции от 180 до 300° изменяется год от года по другим законам, в отличие от циркуляции атмосферы в Атлантическом и Индоокеанском секторах. На этот факт было обращено внимание еще в работе [Смирнов, 2004]. Таким образом, единый индекс циркуляции атмосферы для всего Южного полушария определить трудно. Интересно, что самую высокую связь с изменениями всех других разностей давления в среднем имеет разность давления по 30° в.д. Поэтому, по-видимому, наилучшим индексом, отражающим интенсивность зональной циркуляции, по крайней мере, в Атлантическом и Индоокеанском секторах Южного полушария и основанном на инструментальных наблюдениях, будет разность давления между станциями Порт-Элизабет (ЮАР) и Новолазаревская.

В Тихоокеанском секторе от 210 до 270° можно говорить об идентичности многолетней изменчивости интенсивности зональности циркуляции атмосферы за последние 40 лет. Однако район Антарктического полуострова выпадает даже из общих закономерностей изменчивости Тихоокеанского региона, имея для зимы лишь один значимый коэффициент корреляции с меридианом 270°.

Для исследования наличия крупномасштабных вихревых структур были вычислены разности давления за каждый месяц по 50° ю.ш. между 330 и 300°, а также между 30 и 0° для Атлантического сектора, между 90 и 60°, между 150 и 120° для Индоокеанского сектора, и, наконец, между 210 и 180°, а также 270–240° для Тихоокеанского сектора. Также были определены средние за сезоны значения разностей давления и средние за год, характеризующие меридиональные переносы воздушных масс через 50° ю.ш. Во всех случаях в западных частях секторов средние значения переносов воздушных масс были отрицательны, т.е. направлены к северу от Антарктического континента, на востоке секторов направление переносов было обратное – по направлению к Антарктиде.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между значениями разностей давления в различных секторах Южного полушария для различных сезонов и в среднем за год

Сезон	Атлантический сектор (330–300° и 0–30°)	Индоокеанский сектор (90–60° и 150–120°)	Тихоокеанский сектор (210–180° и 270–240°)
Осень	–0,31	–0,56	–0,57
Зима	–0,39	–0,63	–0,70
Весна	–0,59	–0,67	–0,77
Лето	–0,28	–0,45	–0,39
Год	–0,38	–0,63	–0,70

В табл. 3 приведены коэффициенты корреляции между разностями давления по 50° ю.ш. для всех секторов Южного полушария и всех сезонов. Из таблицы убедительно следует, что меридиональные переносы воздушных масс через 50° ю.ш. одновременно усиливаются или ослабляются. Знак «минус» корре-

лянии указывает как раз на то, что когда усиливаются переносы воздушных масс на север на западе, на востоке секторов усиливаются переносы воздушных масс на юг. Это достаточно наглядно видно на рис. 2.

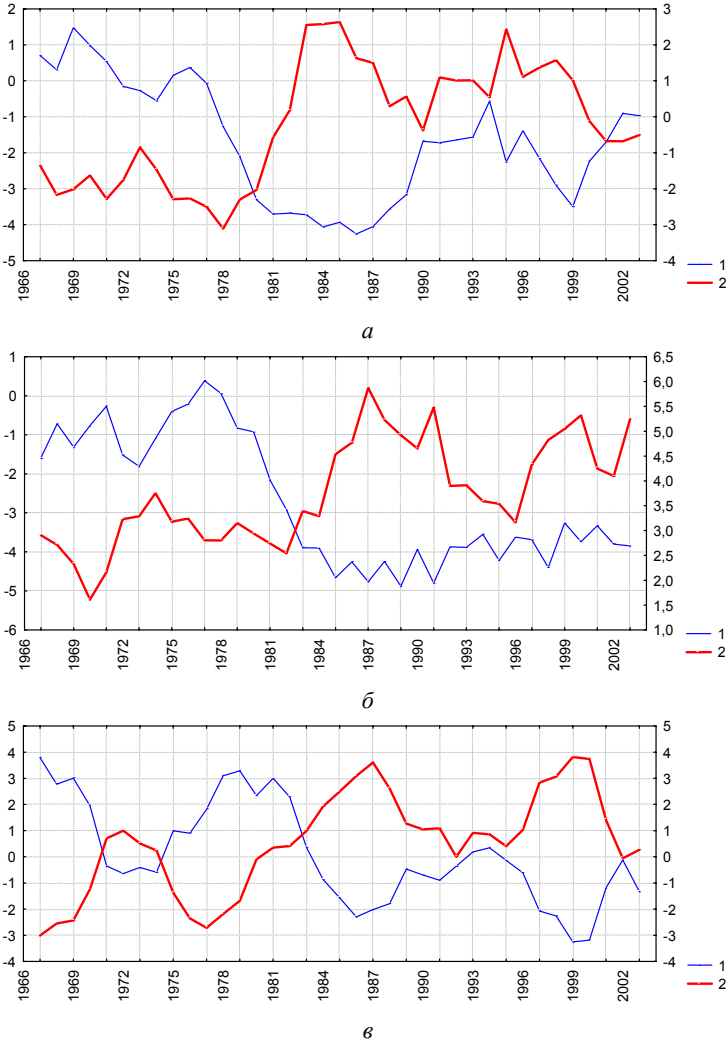


Рис. 2. Сопоставление 5-летних скользящих средних значений разностей давлений по 50° ю.ш. в весенний период на западе (1) и востоке (2) Атлантического (а), Индоокеанского (б) и Тихоокеанского (в) секторов Южного полушария

В табл. 4 представлены коэффициенты корреляции между меридиональными разностями давления по центральным меридианам в каждом из секторов Южного полушария зимой и весной (когда разности давления максимальны) и за год в среднем между зональными разностями давления по 50° ю.ш.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между меридиональными и зональными разностями давления по 50° ю.ш. в каждом из секторов Южного полушария

Сезон	Атлантический сектор, 0°		Индоокеанский сектор, 90°		Тихоокеанский сектор, 210°	
	330–300°	30–0°	90–60°	120–90°	210–180°	270–240°
Зима	-0,51	0,16	0,09	0,69	-0,64	0,51
Весна	-0,30	0,29	-0,20	0,64	-0,68	0,64
Год	-0,54	0,36	-0,12	0,67	-0,67	0,67

Из табл. 4 видно, что усиление зональной циркуляции в Южном полушарии сопровождается усилением и меридиональных переносов. При усилении зональных переносов воздушных масс усиливается перенос холодных воздушных масс с юга на север в западных частях секторов и с севера на юг теплых воздушных масс в восточных частях секторов. При ослаблении зональной циркуляции ослабевают и меридиональные переносы воздушных масс. Особенно ярко это выражено в Тихоокеанском секторе (см. рис. 3, 4) и менее четко в Индоокеанском секторе, в его западной части. Возможно, это связано с тем, что мы выбрали достаточно большой шаг сетки по долготе (30°). В дальнейшем мы планируем выполнить более тонкое исследование с шагом сетки по долготе 10° и широте 5°.

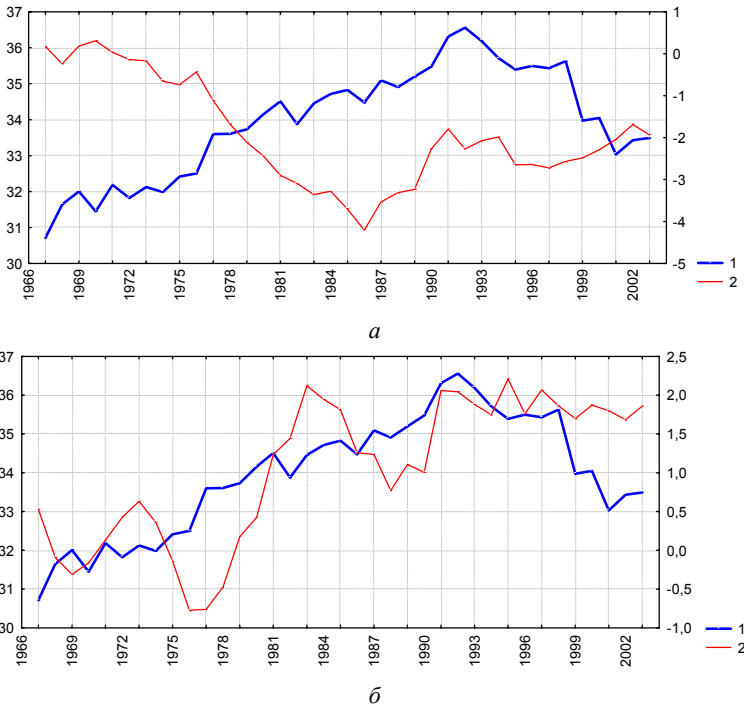


Рис. 3. Сопоставление 5-летних скользящих среднегодовых значений меридиональных разностей давления (1) по меридиану 0° в Атлантическом секторе и зональных разностей давления (2) на западе (330–300°) (а) и востоке (30–0°) (б)

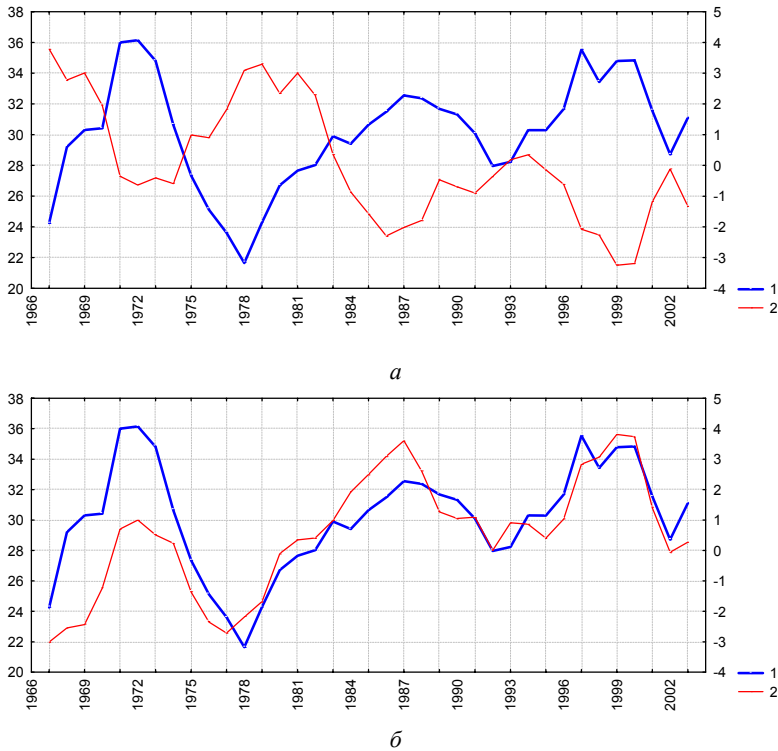


Рис. 4. Сопоставление 5-летних скользящих средних за весну значений меридиональных разностей давления (1) по меридиану 240° в Тихоокеанском секторе и зональных разностей давления (2) на западе (210–180°) (*a*) и востоке (270–240°) (*б*)

Таким образом, на основе анализа меридиональных и зональных разностей давления в средних широтах Южного полушария можно прийти к следующим выводам:

1. Многолетние изменения интенсивности зональной циркуляции в Атлантическом и Индоокеанском секторах происходит достаточно синхронно.
2. Многолетние изменения интенсивности зональной циркуляции в первых двух секторах и структура изменчивости формируется, по-видимому, непосредственно в Тихом океане.
3. Единого индекса, характеризующего интенсивность циркуляции атмосферы, в умеренных широтах Южного полушария определить скорее всего невозможно.
4. Наиболее сложный характер изменчивости циркуляции наблюдается в районе Антарктического полуострова и южной части Южной Америки.
5. Над всеми тремя океаническими секторами наблюдается наличие крупномасштабных вихревых структур. При этом в западных частях океанов направление переноса воздушных масс в среднем наблюдается с юга на север, а в восточных – с севера на юг.

6. Усиление или ослабление интенсивности циркуляции атмосферы наблюдается одновременно как в зональном, так и в меридиональном направлениях. Таким образом, происходит усиление или ослабление интенсивности крупномасштабных барических вихрей над океанами.

Можно предполагать, что наиболее выражены эти вихревые структуры в Тихоокеанском и Атлантическом секторах Южного полушария.

Литература

1. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю.* Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: изд. РГГМУ, 1998. – 121 с.
2. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н.* Северо-Тихоокеанское колебание и климат. – СПб.: изд. РГГМУ, 2002. – 122 с.
3. *Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В.* Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. – СПб.: изд. РГГМУ, 2004. – 217 с.
4. *Kalnay et al.* The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 1996, vol. 77, p. 437–471.
5. *Simmonds J.* Modes of atmospheric variability over the Southern ocean. // *J. Geophys. Res.*, 2003, vol. 108, № 4.

Ключевые слова: атмосферное давление, воздушные массы, зональный перенос, меридиональный перенос, вихревые структуры, многолетняя изменчивость, Южное полушарие Земли.