

УДК 551.555.9

**СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА
АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА****MODERN CHANGES OF THE WIND MODE ANTARCTIC PENINSULA**©**Прокофьев О. М.**

канд. геогр. наук

Одесский государственный экологический университет

Одесса, Украина, leggg0707@rambler.ru

©**Prokofiev O.**

PhD, Odessa State Environmental University

Odessa, Ukraine, leggg0707@rambler.ru

©**Боровская Г. А.**

канд. геогр. наук

Одесский государственный экологический университет

Одесса, Украина, gallina-b@yandex.ru

©**Borovskaya G.**

PhD, Odessa State Environmental University

Odessa, Ukraine, gallina-b@yandex.ru

©**Сущенко А. И.**

канд. геогр. наук

Одесский государственный экологический университет

Одесса, Украина, 249_Andre@mail.ru

©**Suchenko A.**

PhD, Odessa State Environmental University

Odessa, Ukraine, 249_Andre@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования ветрового режима Антарктического полуострова. В качестве материала исследования использовались среднемесячные значения приземной скорости ветра на 11 станциях Антарктического материка.

Проведенное исследование приземной скорости ветра в районе Антарктического полуострова свидетельствует о наличии определенных изменений, которые происходят в ветровом режиме региона, а именно усиление роли циклонов северо-западных траекторий в летний период года, и ослабление их в зимний.

За последние тридцать лет фиксируется устойчивая тенденция к уменьшению приземной скорости ветра в течение большинства месяцев года, что может свидетельствовать о нарушении стабильности ветрового режима Антарктического полуострова и ослабление роли Восточно-Тихоокеанской и Южно-Американской ветвей перемещения циклонов, с которыми связаны значительные скорости ветра.

Abstract. The article presents the results of a study of the wind regime of the Antarctic Peninsula. As the material of the study we used monthly mean values of surface wind speed for 11 stations in the Antarctic continent.

A study of surface wind speed in the vicinity of the Antarctic Peninsula indicates the presence of certain changes in the wind regime of the region, namely the strengthening of the role of cyclones in the North-Western trajectories in summer and decrease in winter.

Over the last thirty years recorded a steady downward trend in surface wind speed for most months of the year, which may indicate a violation of the stability of the wind regime of the

Antarctic Peninsula and the weakening of the role of the East–Pacific branch and South American branches of the movement of cyclones, which are associated with significant wind speed.

Ключевые слова: скорость ветра, Антарктический полуостров, траектории перемещения циклонов.

Keywords: wind speed, Antarctic Peninsula, path of cyclones.

Материал и методика

Ни для кого не секрет, что полярные регионы являются основными индикаторами климатических изменений [1–2]. Они представляют собою глобальные холодильники, которые острее всего реагируют на флуктуации температуры. В наше время изучение полярных районов приобретает огромное значение, существует мнение, что метеорология и климатология именно полярных районов помогут понять механизм изменения климата на нашей планете [3–4].

Таким образом, изучение динамики ветрового режима Антарктического полуострова является одним из важнейших вопросов климатических изменений, происходящих в Южном полушарии.

В ходе выполнения исследования реализованы следующие задания:

–рассчитаны и проанализированы статистические характеристики приземной скорости ветра Антарктического полуострова;

–выявлены значимые периоды колебаний приземной скорости ветра Антарктического полуострова;

–выявлены и проанализированы трендовые составляющие приземной скорости ветра Антарктического полуострова;

–проанализированы тенденции многолетних изменений приземной скорости ветра.

В качестве исходных данных использовались среднемесячные значения приземной скорости ветра, полученные из базы данных Британского антарктического центра. Для выявления характерных тенденций, присущих ветровому режиму Антарктического полуострова, использовались данные по 11 антарктическим станциям (Таблица 1), расположенным в этом районе. Систематизация, расчеты и анализ приземной скорости ветра были проведены для всех месяцев года за период с 1960 по 2013 г. г. На отдельных станциях период исследования уменьшен ввиду отсутствия данных.

Таблица 1.

ИССЛЕДУЕМЫЕ СТАНЦИИ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА

№ n/n	Название станции	Широта	Долгота	Высота над уровнем моря
1	Jubany	62,2S	58,6 W	4m
2	King_Sejong	62,2S	58,7 W	11m
3	Bellingshausen	62,2S	58,9 W	16m
4	Marsh	62,2S	58,9 W	10m
5	Great_Wall	62,2S	59,0 W	10m
6	O_Higgins	63,3S	57,9 W	10m

Окончание Таблицы 1.

7	Esperanza	63,4S	57,0 W	13m
8	Marambio	64,2S	56,7 W	198m
9	Faraday\ Vernadsky	65,4S	64,4 W	11m
10	Rothera	67,5S	68,1 W	32m
11	San_Martin	68,1S	67,1 W	4m

В Таблице 1 представлены все станции, которые были использованы, а также основные характеристики этих станций: географическая широта, долгота и высота на уровне моря. Как видим, выбранные для исследования станции имеют небольшие высоты над уровнем моря, за исключением станции Marambio (198 м). Касаемо периодов наблюдений: продолжительность большинства рядов составила от 20 до 60 лет, период исследования по всем станциям заканчивается 2013 годом.

Результаты исследования

В начале исследования были выявлены периоды устойчивого увеличения скорости ветра, были определены качественные и количественные характеристики трендовых составляющих приземной скорости ветра, которые являются фоновыми для исследуемого района. Для характеристики фонового режима скорости ветра построены графики межгодовой изменчивости среднегодовых значений приземной скорости ветра (Рисунок 1). Для Антарктического полуострова можно выделить следующие периоды изменений скорости ветра:

- период стремительного роста приземной скорости ветра — 1960–1985 г. г. (3,2 м/с);
- период умеренного роста приземной скорости ветра — 1985–2004 г. г. (1,5 м/с);
- период слабого роста приземной скорости ветра — 2004–2013 г. г. (0,3 м/с).

Анализ графика позволяет утверждать, что в последние годы фиксируется снижение скорости роста приземной скорости ветра всеми станциями Антарктического полуострова.

Как известно, климат любого места обычно определяется статистическими показателями, вычисленными на основании длинных рядов наблюдений метеорологических величин, характеризующих режим погоды в данном регионе. В Таблице 2 представлены результаты расчетов статистических характеристик среднегодовых значений приземной скорости ветра Антарктического полуострова.

Анализ полученных результатов показал, что по степени скошенности кривых распределения, то есть по величине коэффициента асимметрии (A_s), в рядах приземной скорости ветра станций Антарктического полуострова заметное преобладание сильной ($|A_s| \geq 0,5$) и умеренной ($0,25 \leq |A_s| \leq 0,50$) правосторонней асимметрии. Это может означать существенное отличие процесса изменений климата в южных полярных широтах от нормального и его нестационарность.

Обращаясь к анализу коэффициентов эксцесса в Таблице 2, следует отметить преобладание плосковершинного ($E < 0$) распределения над вытянутым ($E > 0$), то есть приземная скорость ветра абсолютно на всех станциях Антарктического полуострова изменяется в широком диапазоне. Максимальными значениями дисперсии характеризуются ст. Marambio и Marsh.

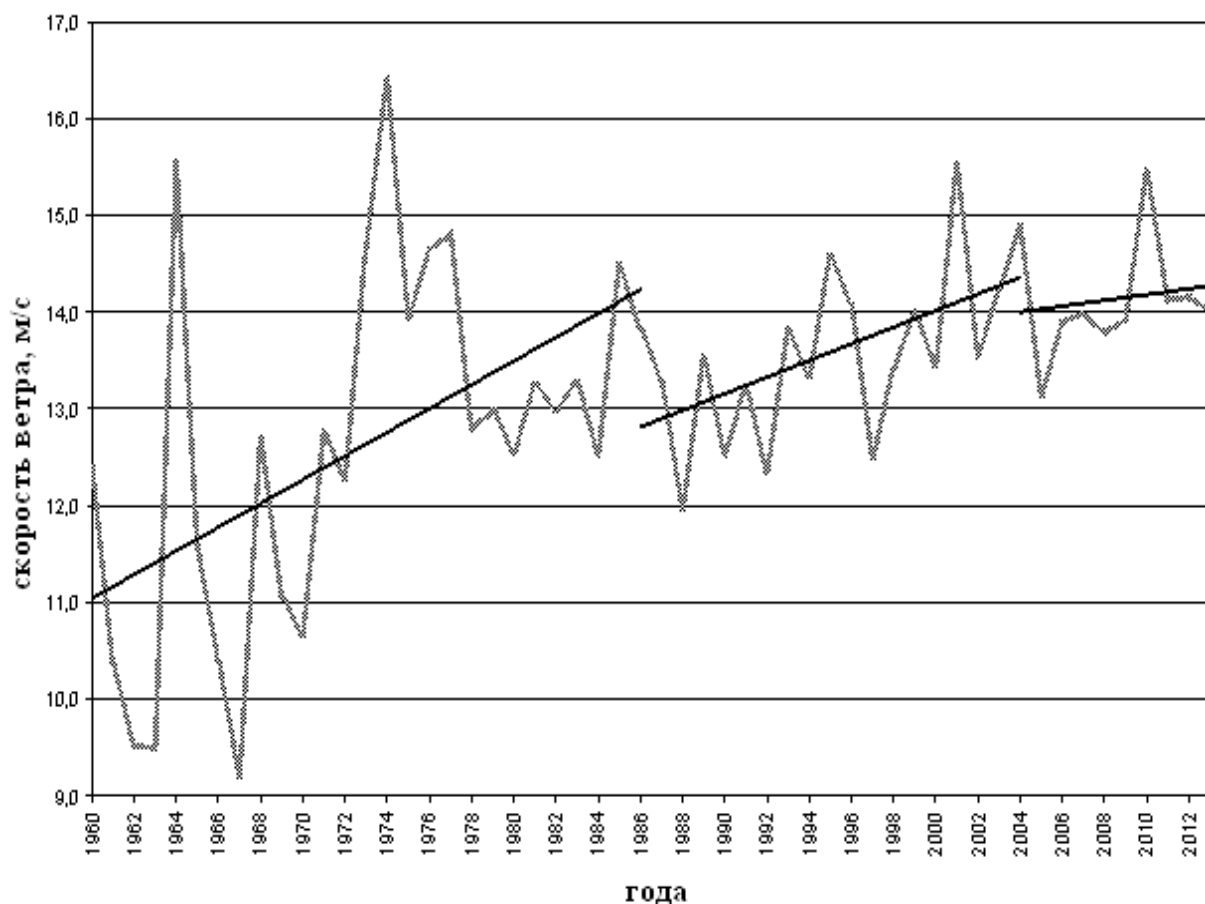


Рисунок 1. Межгодовая изменчивость приземной скорости ветра, по данным 11 станций Антарктического полуострова.

Таблица 2.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЗЕМНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА

Название станции	$x_{ср.}$	x_{min}	x_{max}	Mo	Sx^2	Sx	As	E
Jubany	18,2	13,0	23,2	17,4	4,25	2,06	0,17	-0,35
Bellingshausen	14,3	11,7	15,9	14,5	0,74	0,86	-0,36	-0,26
Marsh	17,6	12,4	22,9	15,8	5,99	2,45	0,59	-0,80
Great_Wall	14,5	12,7	16,7	14,6	1,08	1,04	0,36	-0,83
O_Higgins	13,0	10,6	15,6	11,3	2,12	1,46	0,10	-1,41
Esperanza	14,4	11,3	21,0	13,3	4,49	2,12	0,84	-0,07
Marambio	17,6	12,4	22,9	15,8	5,99	2,45	0,59	-0,80
Faraday\ Vernadsky	8,3	6,2	11,6	7,8	1,57	1,25	0,33	-0,80
Rothera	11,9	8,4	14,2	11,6	1,47	1,21	-0,27	-0,33
San_Martin	9,5	5,0	14,6	9,5	3,17	1,78	0,11	0,27

Учитывая это, можно сделать вывод, что в исследуемом районе наблюдаются резкие колебания скорости ветра, которые характеризуются большими значениями амплитуды и уменьшением периода колебаний.

Если анализировать средние значения приземной скорости ветра, следует отметить, что максимальные среднегодовые значения скорости ветра фиксируются на станции Jubany (18,2 м/с). Это объясняется расположением станции в районе, находящимся на периферии

зоны влияния Южно–Американской ветки перемещения циклонов. Именно этим можно объяснить тот факт, что на станции Jubany фиксируется самое высокое среди минимальных значений среднегодовое значение скорости ветра

Проанализируем средние многолетние значения приземной скорости ветра на исследованных станциях Антарктического полуострова за двенадцать месяцев и за год. Анализ Рисунка 2 и Таблицы 3 позволяет утверждать, что минимальные значения скорости ветра наблюдаются в период антарктического лета (январь), максимальные — весной (октябрь). Также максимальными значениями скорости ветра характеризуются станции, находящиеся на максимальном удалении от Антарктического материка — Jubany, Marsh, King Sejong и Marambio они в таблице выделены жирным шрифтом.

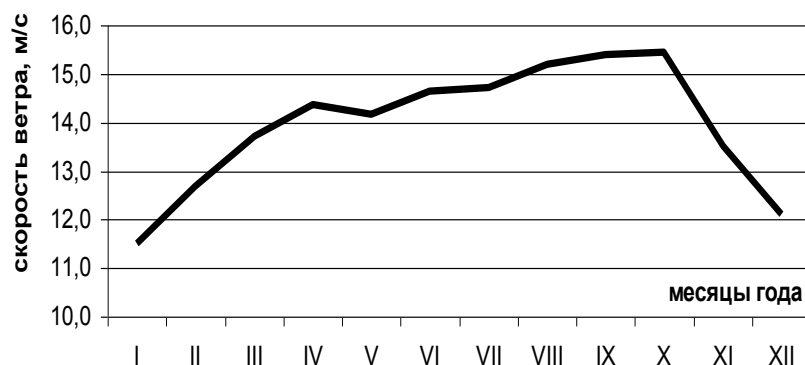


Рисунок 2. Годовой ход осредненных по территории среднемесячных значений приземной скорости ветра.

Таблица 3.

СРЕДНИЕ МНОГОЛЕТНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА (м\с)

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рiк
Jubany	15,3	17,2	18,3	18,0	18,2	18,4	18,8	20,0	20,6	21,0	17,9	15,8	18,3
King_Sejong	13,5	14,8	15,4	16,3	16,4	16,9	16,8	17,6	17,1	17,6	15,1	14,0	16,0
Bellingshausen	12,8	13,4	14,1	14,6	14,8	15,0	14,6	15,2	15,5	16,3	14,2	13,0	14,5
Marsh	13,4	14,0	14,9	15,9	16,0	16,5	16,2	17,0	16,7	17,6	15,0	14,0	15,6
Great_Wall	12,3	13,1	13,9	14,8	14,9	15,0	14,8	15,6	15,6	16,8	14,3	13,0	14,5
O_Higgins	10,4	10,9	12,9	14,2	12,8	15,0	14,6	14,2	13,8	13,6	12,7	11,4	13,0
Esperanza	10,6	13,0	13,7	15,1	14,2	15,6	16,2	15,8	16,4	15,2	13,2	11,8	14,2
Marambio	12,7	14,6	16,0	17,4	16,7	18,9	18,3	18,0	19,0	17,7	15,5	13,8	16,5
Faraday\ Vernadsky	7,0	8,1	9,2	9,0	9,3	9,2	9,7	10,5	10,8	10,4	8,8	7,4	9,1
Rothera	9,4	10,9	12,0	12,7	12,9	11,8	12,8	13,8	14,6	13,9	12,5	10,3	12,3
San_Martin	9,4	9,6	10,4	10,1	9,4	8,8	9,2	9,5	9,3	9,9	9,4	8,9	9,5
Среднее значение	11,5	12,7	13,7	14,4	14,2	14,6	14,7	15,2	15,4	15,5	13,5	12,1	14,0

Наименьшие значения скорости ветра в течение года наблюдаются на станциях Faraday\ Vernadsky и San_Martin, что может быть связано с географическим расположением станций.

Все данные были проанализированы с целью выявления скрытых периодичностей, которое проводилось с помощью быстрого преобразования Фурье с вероятностью 68% (Таблица 4).

Таблица 4.

ЗНАЧИМЫЕ ПЕРИОДЫ КОЛЕБАНИЙ (ГОДА) ПРИЗЕМНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА ДЛЯ СТАНЦИЙ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Станции	Период наблюдений												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Jubany	2,9	3,4	2,0	2,9	2,5	2,3	2,0	3,4	2,9	5,3	2,9	2,9	3,4
King_Sejong	1,9	2,9	2,9	1,9	1,9	3,2	1,9	4,9	1,9	2,5	2,5	2,5	2,5
Bellingshausen	2,1	2,0	3,7	2,8	3,3	3,3	3,3	2,8	2,2	2,0	2,0	3,2	3,2
Marsh	2,7	4,4	7,9	4,4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	5,2	2,5	4,4	5,2
Great_Wall	3,4	1,8	3,4	3,4	2,9	4,2	2,0	3,4	3,4	3,4	3,4	2,0	3,4
O_Higgins	2,0	2,9	2,9	1,8	1,8	2,0	3,4	2,0	3,4	2,3	2,9	2,5	2,7
Esperanza	2,3	2,1	3,7	1,9	4,2	5,2	4,5	4,7	9,8	3,3	2,6	4,5	2,8
Marambio	2,7	4,4	7,9	4,4	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	5,2	2,5	4,4	5,2
Faraday\ Vernadskiy	2,0	5,6	2,0	2,8	6,5	6,5	5,6	7,6	7,6	11,7	7,6	9,2	7,6
Rothera	2,0	3,8	2,0	6,8	2,0	2,0	2,4	2,4	2,4	2,4	6,8	3,3	2,5
San_Martin	3,8	2,2	2,2	4,4	5,4	5,1	4,2	3,8	4,4	2,0	2,4	2,0	2,9

Для станций Антарктического полуострова наиболее характерны колебания с периодом 2 и 3 года. На станциях Bellingshausen, Marsh, Esperanza, Faraday\ Vernadsky и Marambio наблюдаются также четырех–семилетние периодичности.

По данным значений приземной скорости ветра были построены графики. Результаты анализа скрытых периодичностей использовались при сглаживании осредненных рядов приземной скорости ветра.

В Таблице 5 представлены характеристики трендовой составляющей, жирным шрифтом выделены наибольшие положительные значения тренда, а жирным шрифтом и курсивом — наибольшие отрицательные.

Анализ табличного материала показал, что для большинства исследуемых станций характерен рост приземной скорости ветра за исследуемый период в течение большинства месяцев года (Рисунок 3). Максимальные увеличения зафиксированы в начале зимы на станциях Marsh и O_Higgins (9,8 и 9,5, м/с соответственно). Наибольшие положительные значения тренда на большинстве станций фиксируются в зимние месяцы, наименьшие положительные весной.

Наибольшие отрицательные значения тренда наблюдаются на станциях Esperanza (−7,6 м/с, май) и Marambio (−9,3 м/с, март). Следует отметить, что на указанных станциях наблюдается стойкое уменьшение скорости ветра во все месяцы года за исследуемый период.

Полученные результаты были картированы с целью облегчения анализа пространственного распределения многолетних изменений приземной скорости ветра. Анализ полученных результатов показал однотипность распределения изменений приземной скорости ветра в разные месяцы года за весь исследуемый период.

Таблица 5.

ЗНАЧЕНИЕ ТРЕНДОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИЗЕМНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА (м\с)

Станция	значения тренда												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Jubany	2,0	1,6	1,1	3,5	4,5	3,5	1,6	1,5	0,1	2,5	0,5	3,8	1,9
King_Sejong	3,0	1,3	1,1	3,3	4,6	3,4	1,5	1,5	0,0	2,2	0,2	3,3	1,8
Bellingshausen	0,0	-0,3	0,8	-0,7	1,4	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	0,2
Marsh	7,6	6,9	8,2	6,8	7,6	9,8	8,8	7,9	6,2	9,4	7,6	7,4	7,5
Great_Wall	0,4	1,9	-0,6	0,3	0,2	1,1	0,2	0,5	-0,9	0,0	-0,2	1,6	0,3
Marambio	-5,6	-7,7	-9,3	-7,0	-8,4	-2,2	-4,9	-5,5	-5,5	-2,9	-2,8	-3,6	-6,0
Faraday\ Vernadsky	2,9	4,5	1,9	3,8	3,8	2,0	3,0	4,5	1,5	1,5	1,5	4,2	2,9
Rothera	0,3	2,4	1,5	-0,1	3,1	0,8	1,2	0,5	1,9	2,0	0,2	1,8	1,5
San_Martin	-0,5	-1,1	1,8	2,7	1,8	3,3	-1,6	1,2	1,4	2,0	-4,1	0,0	-0,2
O_Higgins	6,2	7,3	4,2	9,5	4,2	2,6	2,9	0,2	0,2	1,4	3,0	3,4	3,6
Esperanza	-2,0	-2,6	-0,6	-4,1	-7,6	-2,7	-7,1	-4,6	-5,5	-1,7	-0,9	-0,5	-3,7

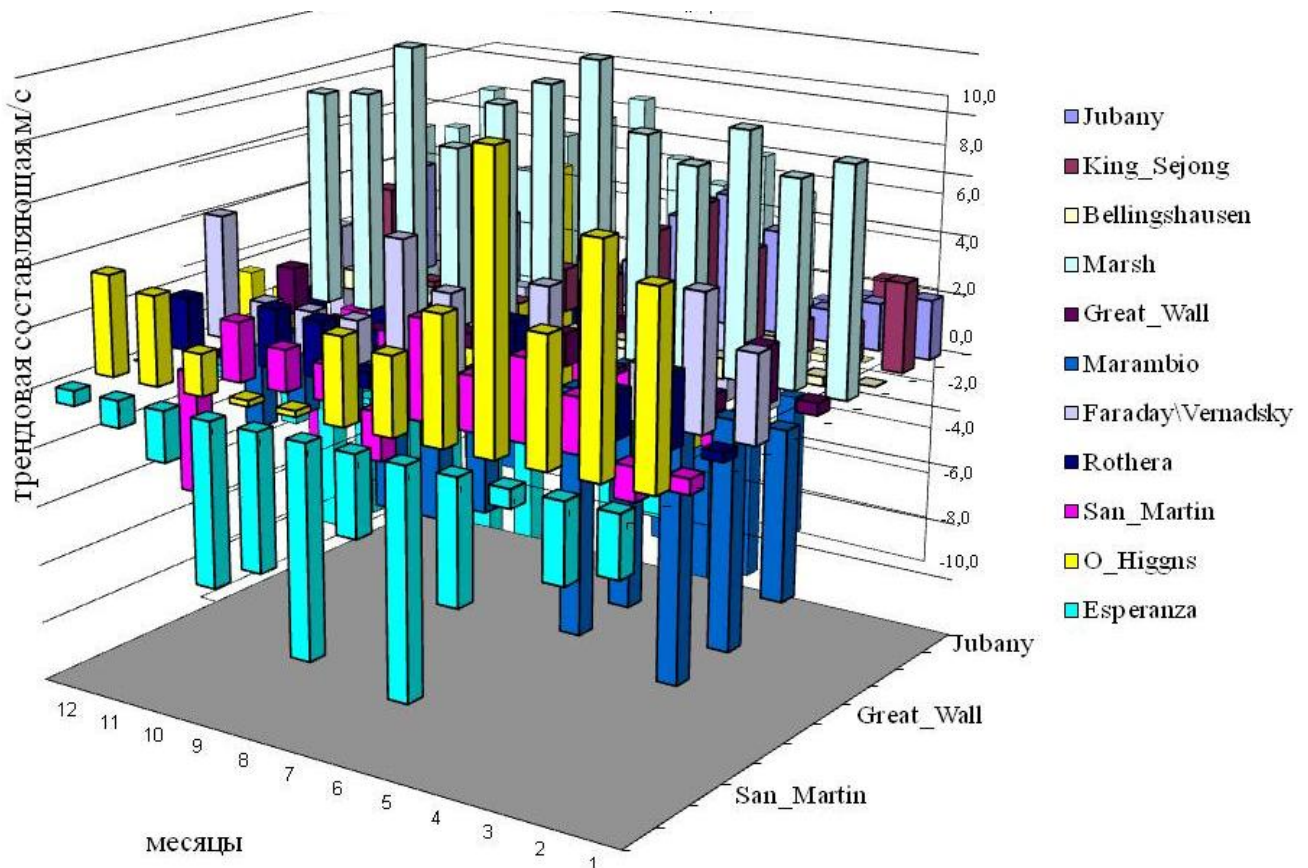


Рисунок 3. Гистограмма трендовой составляющей приземной скорости ветра для всех месяцев года по станциям.

На Рисунке 4 представлены картосхемы трендовой составляющей приземной скорости ветра для центральных месяцев сезонов.

Как видим, во все сезоны года для Антарктического полуострова характерны положительные значения тренда, только на крайнем севере полуострова наблюдается зона отрицательных значений. Наибольшие градиенты наблюдаются летом и осенью, наименьшие — зимой.

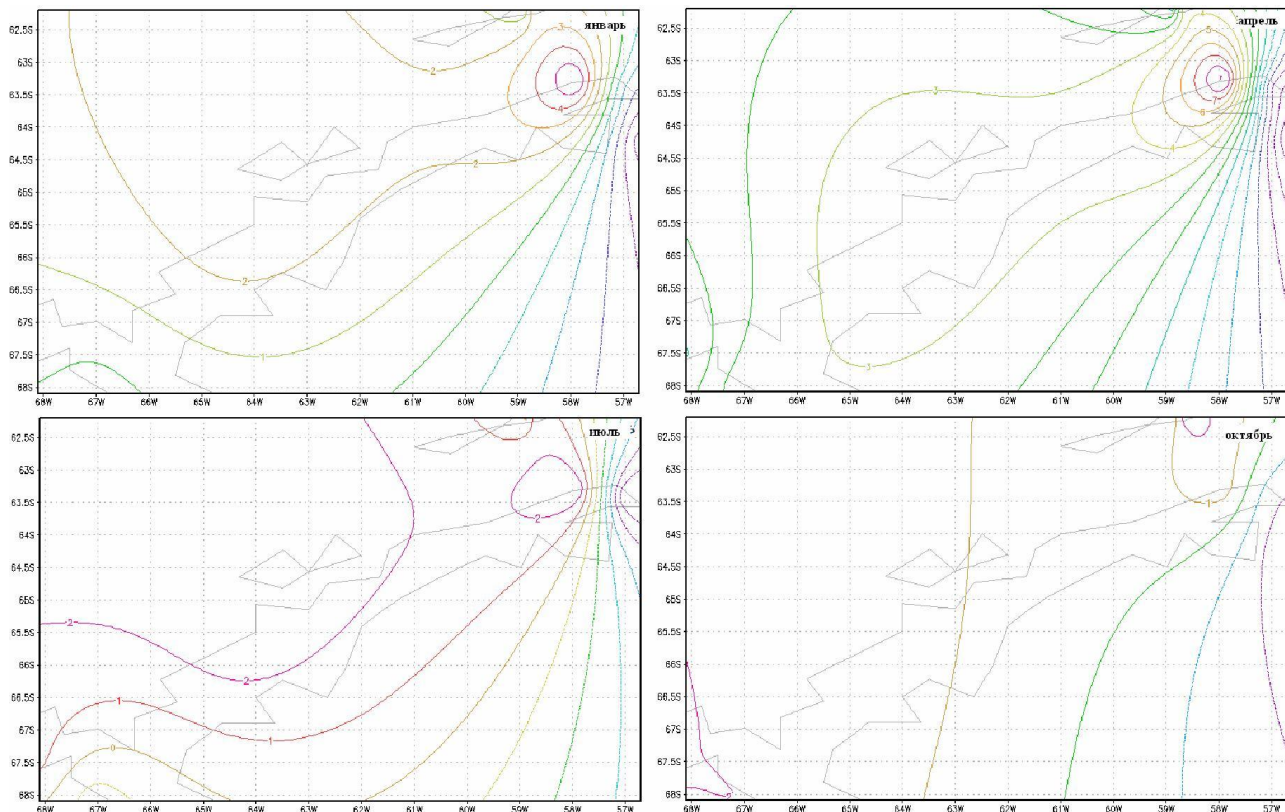


Рисунок 4. Картосхемы трендовой составляющей приземной скорости ветра для центральных месяцев сезонов.

Анализ пространственного распределения трендовой составляющей скорости ветра позволяет утверждать, что почти для всей территории Антарктического полуострова характерен рост приземной скорости ветра за исследуемый период в пределах 2–3 м/с.

Выводы

Проведенные исследования динамики и пространственно–временного распределения приземной скорости ветра на основе метеорологических данных одиннадцати станций Антарктического полуострова, позволили сделать следующие выводы:

- для Антарктического полуострова можно выделить следующие периоды изменений скорости ветра: период стремительного роста приземной скорости ветра — 1960–1985г. г. (3,2 м/с); период умеренного роста приземной скорости ветра — 1985–2004 г. г. (1,5 м/с); период слабого роста приземной скорости ветра — 2004–2013 г. г. (0,3 м/с);

- по величине коэффициента асимметрии, в рядах приземной скорости ветра станций Антарктического полуострова заметно преобладание сильной и умеренной правосторонней асимметрии, что означает существенное отличие процесса изменений климата в южных полярных широтах от нормального и его не стационарность;

- преобладание плосковершинного распределения над вытянутым свидетельствует, что приземная скорость ветра абсолютно на всех станциях Антарктического полуострова изменяется в широком диапазоне;

–минимальные значения скорости ветра наблюдаются в период антарктического лета (январь), максимальные — весной (октябрь). Также максимальными значениями скорости ветра характеризуются станции, находящиеся на максимальном удалении от Антарктического материка — Jubany, Marsh, King Sejong и Marambio. Наименьшие значения скорости ветра в течение года наблюдаются на станции Faraday\ Vernadsky и San_Martin, что может быть связано с географическим расположением станции;

–для станций Антарктического материка наиболее характерные колебания с периодом 2 и 3 года. На станциях Bellingshausen, Marsh, Esperanza, Faraday\ Vernadsky и Marambio наблюдаются также четырех — семилетние периодичности;

–анализ трендовых составляющих приземной скорости ветра показал, что для большинства исследуемых станций характерно рост приземной скорости ветра за исследуемый период в течение большинства месяцев года. Наибольшие положительные значения тренда фиксируются в начале зимы на станциях Marsh и O_Higgins (9,8 и 9,5, м\с соответственно), наибольшие отрицательные значения тренда наблюдаются на станциях Esperanza (–7,6 м/с, май) и Marambio (–9,3 м/с, март). Следует отметить, что на указанных станциях наблюдается стойкое уменьшение скорости ветра во все месяцы года за исследуемый период.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что почти для всей территории Антарктического полуострова характерен рост приземной скорости ветра за исследуемый период в пределах 2–3 м/с.

Список литературы:

1. Прокоф'ев О. М. Взаємний спектральний аналіз глобальних кліматичних індексів та приземної температури повітря станцій Антарктиди // Український гідрометеорологічний журнал. 2010. Вип. 6. С. 93–101.
2. Zhengqiu Z. Recent variations of Antarctic temperature, sea-ice and ozone. Chinese Journal of Polar Science, 1999, v. 10, no. 1, pp. 1–9.
3. Anisimov O. A. Polar regions (Arctic and Antarctic). Climate change. Cambridge, 2007, v. 15, pp. 653–685.
4. Rogers J. C. Spatial variability of Antarctic temperature anomalies and their association with the Southern Hemisphere atmospheric circulation. Annals of the Association of American Geographers, 1983, v. 73, no. 4, pp. 502–518.

References:

1. Prokofyev O. M. Vzaemniy spektralnyi analiz globalnikh klimatichnikh indeksiv ta prizemnoi temperaturi povitrya stantsii Antarktidi. Ukraïnskii gidrometeorologichnii zhurnal, 2010, issue 6, pp. 93–101.
2. Zhengqiu Z. Recent variations of Antarctic temperature, sea-ice and ozone. Chinese Journal of Polar Science, 1999, v. 10, no. 1, pp. 1–9.
3. Anisimov O. A. Polar regions (Arctic and Antarctic). Climate change. Cambridge, 2007, v. 15, pp. 653–685.
4. Rogers J. C. Spatial variability of Antarctic temperature anomalies and their association with the Southern Hemisphere atmospheric circulation. Annals of the Association of American Geographers, 1983, v. 73, no. 4, pp. 502–518.

*Работа поступила
в редакцию 25.06.2016 г.*

*Принята к публикации
28.06.2016 г.*