

УДК 551.524.33

**СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА  
АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА****MODERN CHANGES OF THE TEMPERATURE REGIME  
OF THE ANTARCTIC PENINSULA**

©Прокофьев О. М.

*канд. геогр. наук, Одесский государственный экологический университет  
г. Одесса, Украина, leggg0707@rambler.ru*

©Prokofiev O.

*Ph.D., Odessa State Environmental University  
Odessa, Ukraine, leggg0707@rambler.ru*

©Сущенко А. И.

*канд. геогр. наук, Одесский государственный экологический университет  
г. Одесса, Украина, 249\_Andre@mail.ru*

©Sushchenko A.

*Ph.D., Odessa State Environmental University  
Odessa, Ukraine, 249\_Andre@mail.ru*

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследования термического режима Антарктического полуострова. В качестве материала исследования использовались среднемесячные значения приземной температуры воздуха для всех месяцев года за период с 1952 по 2013 г. г. для 12 станций.

Анализ приземной температуры воздуха в районе Антарктического полуострова позволяет утверждать о наличии определенных изменений, которые происходят в термическом режиме региона, а именно влияния общепланетарного повышения температуры. За последние тридцать лет фиксируется устойчивая тенденция к увеличению приземной температуры воздуха в течение большинства месяцев года, что может свидетельствовать о нарушении стабильности термического режима Антарктического полуострова.

*Abstract.* The article presents the results of a study of the thermal regime of the Antarctic Peninsula. The material of the study used monthly averages of surface air temperature for all months of the year for the period from 1952 to 2013 for 12 stations.

Analysis of surface air temperature in the Antarctic Peninsula indicates the presence of certain changes that occur in the thermal regime in the region, namely the influence of planetary temperature increase. Over the past thirty years recorded a steady trend to an increase in surface air temperature during most months of the year, which may indicate a violation of the stability of the thermal regime of the Antarctic Peninsula.

*Ключевые слова:* приземная температура воздуха, Антарктический полуостров, периодичность.

*Keywords:* surface temperature, Antarctic Peninsula, periodicity.

### *Материал и методика*

В последние годы в полярных районах Земли — Арктике и Антарктике, наблюдаются явные признаки влияния процессов, вызванных изменениями климата — глобальным потеплением [1–4].

В антарктических регионах зафиксированы наибольшие уровни выявления признаков глобального потепления. Реальное влияние связанных с изменениями климата процессов показывает глубокое региональное различие как в самых полярных регионах, так и между ними — при значительной сложности этих взаимодействий [5, 6].

Изучение динамики термического режима является одним из важнейших вопросов климатических изменений, которые происходят в Южном полушарии.

В качестве материалов исследования были использованы данные приземной температуры воздуха 12 станций Антарктического полуострова, полученные из базы данных Британского антарктического центра.

### *Результаты исследования*

Ранее уже проводились исследования составляющих метеорологического режима Антарктического полуострова [7–13].

Данная статья является продолжением этих исследований.

Систематизация, расчеты и анализ приземной температуры были проведены для всех месяцев года за период с 1952 по 2013 гг. На отдельных станциях период исследования уменьшено из-за отсутствия данных. Были выявлены периоды устойчивого увеличения или уменьшения температуры, были определены качественные и количественные характеристики трендовых составляющих приземной температуры воздуха, которые являются фоновыми для всего исследуемого района. Для Антарктического полуострова можно выделить периоды устойчивого повышения (снижения) температуры:

- период умеренного повышения температуры — 1946–1980 г. г. (1,7 °C);
- период более резкого повышения температуры — 1980–2002 гг. (1,8 °C);
- период снижения температуры — 2002–2013 г. г. (0,3 °C).

Как видим, в последние годы фиксируется уменьшение значений температуры на всех исследуемых станциях Антарктического полуострова.

Для оценки колебаний приземной температуры воздуха станций Антарктического полуострова, были рассчитаны основные статистические характеристики среднегодовых значений приземной температуры воздуха. Отметим, что некоторые ряды, которые исследовались, не превышают 25 лет, но, тем не менее, могут служить характеристикой климатических изменений в данном районе (Таблица 1).

Анализ полученных результатов показал, что по степени скошенности кривых распределения, то есть по величине коэффициента  $A_s$ , в рядах приземной температуры воздуха станций Антарктического полуострова встречается как правосторонняя, так и левосторонняя асимметрии. Это означает существенное отличие процесса изменений климата в южных полярных широтах от нормального и его не стационарность.

Обращаясь к анализу коэффициентов эксцесса в табл. 1, надо отметить, преобладание плосковершинного ( $E < 0$ ) распределения над вытянутым ( $E > 0$ ). То есть приземная температура воздуха абсолютно на всех станциях Антарктического полуострова изменяется в широком диапазоне. Учитывая выше изложенное, можно сделать вывод о том, что в исследуемом районе наблюдаются резкие колебания температуры, которые характеризуются большими значениями амплитуды и уменьшением периода колебаний.

При анализе средних значений приземной температуры воздуха, следует отметить, что максимальные среднегодовые значения температуры фиксируются на станции Jubany (–1,9 °C). Также на станции Jubany фиксируется самое высокое среди минимального среднегодового значения температуры.

Таблица 1.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Станции	Широта	Долгота	$x_{cp}$	$x_{min}$	$x_{max}$	$A_s$	$E$
Jubany	62,2S	58,6 W	-1,9	-3,1	-0,4	0,13	0,62
King_Sejong	62,2S	58,7 W	-2,9	-4,6	-1,0	0,14	-1,57
Bellingshausen	62,2S	58,9 W	-2,4	-4,0	-0,7	-0,16	-1,01
Marsh	62,2S	58,9 W	-8,5	-10,9	-6,2	-0,61	-0,99
Great_Wall	62,2S	59,0 W	-2,2	-3,4	-0,7	0,04	-1,31
Arturo_Pratt	62,5S	59,7 W	-2,3	-4,2	-0,5	-0,08	-0,87
O_Higgins	63,3S	57,9 W	-3,8	-5,4	-2,3	0,12	-1,09
Esperanza	63,4S	57,0 W	-5,3	-7,7	-3,0	0,14	-0,97
Marambio	64,2S	56,7 W	-8,5	-10,9	-6,2	-0,05	-0,99
Faraday\ Vernadsky	65,4S	64,4 W	-3,8	-8,1	-1,2	-0,69	-0,28
Rothera	67,5S	68,1 W	-4,4	-8,6	-1,8	-0,77	0,35
San_Martin	68,1S	67,1 W	-4,7	-6,8	-2,6	0,02	-1,11

Были проанализированы средние многолетние значения приземной температуры воздуха на исследуемых станциях Антарктического полуострова за двенадцать месяцев и за год (Таблица 2). Анализ позволяет утверждать, что минимальные значения приземной температуры воздуха наблюдаются в период антарктической зимы, максимальные — летом. Самый холодный месяц — июль (осредненное по территории значение приземной температуры составляет  $-8,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), Самый теплый — январь ( $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Также максимальными значениями температуры воздуха характеризуются станции, находящиеся на максимальном удалении от Антарктического материка — Bellingshausen, Marsh, Great\_Wall и Arturo Pratt они в таблице обозначены жирным шрифтом (Таблица 2).

Таблица 2.

СРЕДНИЕ МНОГОЛЕТНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ( $^{\circ}\text{C}$ )

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Marambio	-0,8	-1,4	-5,2	-11,4	-13,0	-15,6	-15,1	-13,3	-10,9	-8,2	-3,7	-1,0	-8,3
Esperanza	1,1	0,4	-1,3	-6,0	-8,1	-10,7	-10,7	-9,2	-6,9	-4,5	-1,5	0,6	-4,7
O Higgins	0,6	0,3	0,7	-3,1	-4,4	-6,9	-7,7	-7,3	-5,8	-3,9	-1,9	-0,1	-3,3
Jubany	1,9	1,8	0,6	-2,0	-2,6	-4,6	-5,9	-5,5	-3,9	-2,2	-0,3	0,9	-1,8
King Sejong	1,6	1,6	0,6	-1,6	-2,9	-5,0	-5,3	-5,3	-3,7	-2,1	-0,4	0,8	-1,8
Bellingshausen	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>0,3</b>	<b>-1,7</b>	<b>-3,5</b>	<b>-5,4</b>	<b>-6,3</b>	<b>-5,9</b>	<b>-4,4</b>	<b>-2,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>0,4</b>	<b>-2,3</b>
Marsh	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	<b>-1,6</b>	<b>-3,0</b>	<b>-4,7</b>	<b>-5,9</b>	<b>-5,6</b>	<b>-4,3</b>	<b>-2,8</b>	<b>-1,1</b>	<b>0,1</b>	<b>-2,2</b>
Great Wall	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>0,4</b>	<b>-1,8</b>	<b>-2,6</b>	<b>-4,6</b>	<b>-6,6</b>	<b>-5,8</b>	<b>-4,5</b>	<b>-2,7</b>	<b>-1,0</b>	<b>0,3</b>	<b>-2,2</b>
Arturo Pratt	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,5</b>	<b>-1,8</b>	<b>-2,4</b>	<b>-4,4</b>	<b>-6,1</b>	<b>-5,7</b>	<b>-4,6</b>	<b>-2,6</b>	<b>-1,0</b>	<b>0,4</b>	<b>-2,1</b>
Faraday\ Vernadsky	0,8	0,6	-0,4	-2,0	-3,6	-5,5	-7,1	-7,9	-7,3	-5,0	-2,0	-0,2	-3,3
San Martin	1,4	0,8	-1,4	-3,4	-4,9	-9,3	-11,7	-12,7	-9,4	-6,4	-2,4	0,5	-4,9
Rothera	0,9	0,4	-1,5	-3,2	-5,1	-8,5	-10,3	-10,5	-8,6	-5,9	-2,6	0,1	-4,6

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

Выявлено, что для станций Антарктического полуострова наиболее характерны колебания с периодом 2 и 3 года. Также довольно часто наблюдаются колебания с периодами от четырех до десяти лет. На станциях Great\_Wall и Faraday зафиксированы также квазидвенадцатилетние колебания.

По данным значений приземной температуры воздуха были построены графики межгодовой изменчивости температуры для всех месяцев года по всем станциям. Результаты анализа скрытых периодичностей использовались при сглаживании осредненных рядов приземной температуры воздуха. В Таблице 3 представлены характеристики трендовой составляющей, жирным шрифтом выделены наибольшие положительные значения тренда, а жирным шрифтом и курсивом — наибольшие отрицательные.

Установлено, что для большинства исследуемых станций характерен рост приземной температуры воздуха за исследуемый период в течение большинства месяцев года (Таблица 3). Наибольшие положительные тренды наблюдаются в период антарктической зимы. Максимум зафиксирован на станциях Faraday\ Vernadsky и San\_Martin (8,2 и 4,5°C соответственно). Отрицательные значения тренда фиксируются преимущественно в летний период (декабрь–январь). Следует отметить, что на станции King\_Sejong наблюдается устойчивое снижение температуры в течение всех месяцев года.

Таблица 3.

ЗНАЧЕНИЯ ТРЕНДОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА (°C)

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

Для облегчения анализа пространственного распределения многолетних изменений приземной температуры, полученные результаты были визуализированы. Анализ полученных картосхем показал пятнистость в пространственном распределении значений приземной температуры воздуха (Рисунок 1).

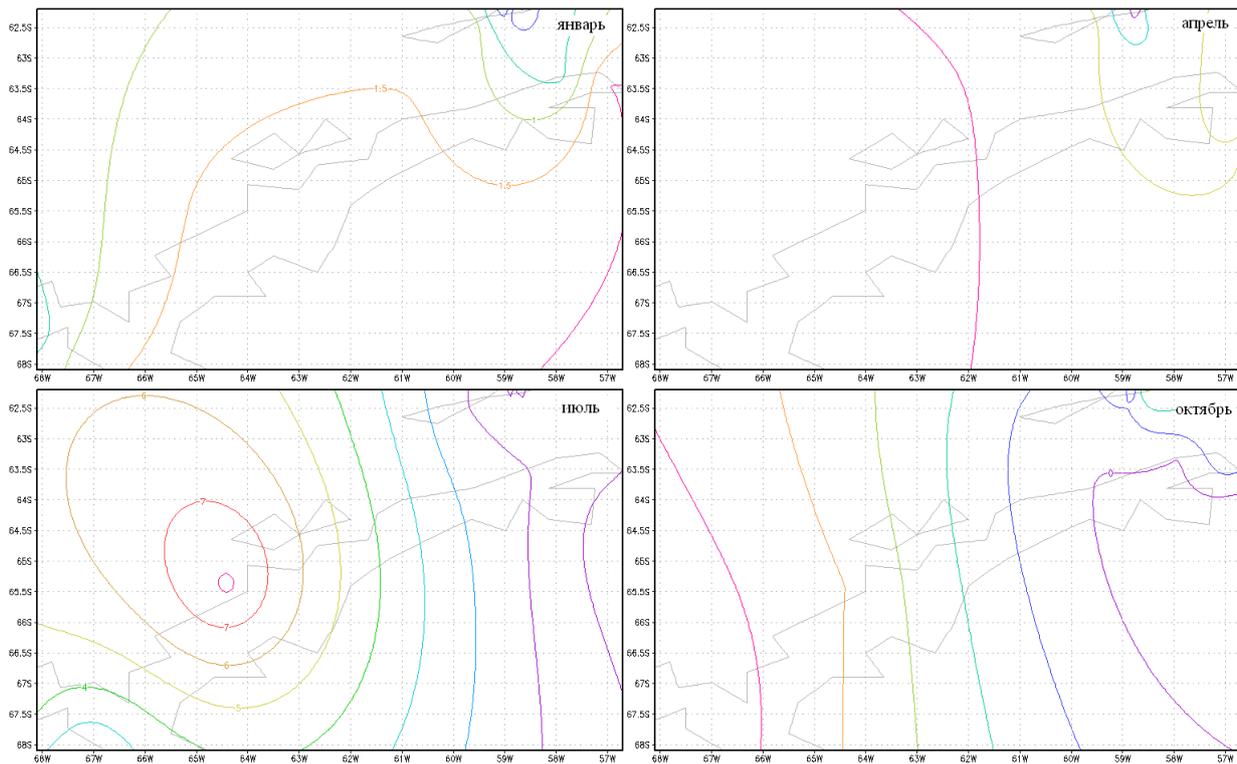


Рисунок 1. Картограммы трендовой составляющей приземной температуры воздуха для центральных месяцев сезонов.

В качестве примера на Рисунке 1 представлены картограммы трендовой составляющей приземной температуры воздуха для центральных месяцев сезонов. Как видим, в летний период (декабрь–январь) для большинства исследуемой территории характерны положительные значения тренда в пределах 1–1,5 °С. Снижение температуры наблюдается только на севере исследуемой территории: станции Jubanu и King\_Sejong.

В апреле–месяце сохраняется такая же тенденция. Максимальный рост температуры фиксируется на станции Faraday\ Vernadsky (1,8 °С). Наибольшие положительные значения тренда фиксируются в июле и охватывают практически всю территорию Антарктического полуострова (максимум Faraday \ Vernadsky 8,2 °С). Осенью наблюдается такая же картина: для всей территории характерно повышение приземной температуры воздуха на величину до 3,0 °С.

### Выводы

Проведенные исследования динамики и пространственно–временного распределения приземной температуры воздуха на основе метеорологических данных двенадцати станций Антарктического полуострова, позволили сделать следующие выводы:

1. Для Антарктического полуострова можно выделить периоды устойчивого повышения (снижения) температуры: период умеренного повышения температуры — 1946–1980 г. г. (1,7 °С) период более резкого повышения температуры — 1980–2002 г. г. (1,8 °С) период снижения температуры — 2002–2013 г. г. (0,3 °С).

2. Станциям, которые расположены на Антарктическом полуострове, наиболее характерные периодические колебания приземной температуры воздуха с периодом 2 и 3 года.

3. Большинство исследуемых станций характеризуется ростом приземной температуры воздуха за исследуемый период в течение большинства месяцев года. Наибольшие положительные тренды наблюдается в период антарктической зимы.

Анализ приземной температуры воздуха в районе Антарктического полуострова свидетельствует о наличии определенных изменений, которые происходят в термическом

режиме региона, а именно влияния общепланетарного повышения температуры. За последние тридцать лет фиксируется устойчивая тенденция к увеличению приземной температуры воздуха в течение большинства месяцев года, что может свидетельствовать о нарушении стабильности термического режима Антарктического полуострова.

*Список литературы:*

1. Гавреленя Е., Прокофьев О. Статистические характеристики приземной температуры воздуха Антарктического полуострова // Конференція молодих вчених ОДЕКУ, 11–16 трав. 2009 р.: тез. доп. Одеса, 2009. С. 83.
2. Карпишин В. Ю., Прокофьев О. М. Багаторічні зміни аномалій температури повітря високих широт Південної півкулі // Матеріали VII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ОДЕКУ, 2008. С. 90.
3. Прокофьев О. М. Взаємний спектральний аналіз глобальних кліматичних індексів та приземної температури повітря станцій Антарктиди // Український гідрометеорологічний журнал. 2010. Вип. 6. С. 93–101.
4. Zhengqiu Z. Recent variations of Antarctic temperature, sea-ice and ozone // Chinese Journal of Polar Science. 1999. V. 10. №1. P. 1–9.
5. Anisimov O. A. et al. Polar regions (Arctic and Antarctic) // Climate change. Cambridge, 2007. V. 15. P. 653–685.
6. 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. №4. P. 502–518.
7. Данова Т. Е., Прокофьев О. М. Ветровой режим антарктического побережья // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2008. Вип. 50. С. 88–93.
8. Данова Т. Е., Прокофьев О. М. Динамика температуры воздуха прибрежных станций Антарктиды и Антарктического полуострова // Український гідрометеорологічний журнал. 2009. Вип. 5. С. 107–112.
9. Прокофьев О. М. Взаємний спектральний аналіз глобальних кліматичних індексів та приземної температури повітря станцій Антарктиди // Український гідрометеорологічний журнал. 2010. Вип. 6. С. 93–101.
10. Данова Т. Е., Прокофьев О. М. Кореляційний зв'язок між приземною температурою повітря станцій Антарктиди та теплими (холодними) епізодами Південного коливання // Український гідрометеорологічний журнал. 2011. Вип. 8. С. 149–160.
11. Прокофьев О. М., Шаменкова О. И. Многолетняя изменчивость атмосферного давления Антарктического полуострова // Символ науки. 2015. №8. С. 316–320.
12. Прокофьев О. М., Боровская Г. А., Сущенко А. И. Современные изменения ветрового режима Антарктического полуострова // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2016. №7 (8). С. 26–34. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/prokofiev> (дата обращения 15.07.2016). DOI: 10.5281/zenodo.58044.
13. Прокофьев О. М., Сущенко А. И. Динамика аномалий приземной скорости ветра Антарктического полуострова // Бюллетень науки практики. Электрон. журн. 2016. №8 (9). С. 80–91. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/prokofitv-sushchenko> (дата обращения 15.08.2016). DOI: 10.5281/zenodo.60244.

*References:*

1. Gavrelenya E., Prokofiev O. Statisticheskie kharakteristiki prizemnoi temperatury vozdukha Antarkticheskogo poluostrova. Konferentsiya molodikh vchenikh ODEKU, 11–16 trav. 2009 r.: tez. dop. Odessa, 2009, p. 83.
2. Karpishin V. Yu., Prokofiev O. M. Bagatorichni zmini anomalii temperaturi povitrya visokikh shirot Pivdennoi pivkuli. Materiali VII naukovoї konferentsii molodikh vchenikh ODEKU. Odessa: ODEKU, 2008, p. 90.

3. Prokofiev O. M. Vzaemniy spektralnyi analiz globalnikh klimatichnikh indeksiv ta prizemnoi temperaturi povitrya stantsii Antarktidi. Ukrainskii gidrometeorologichnii zhurnal, 2010, Vip. 6, pp. 93–101.
4. Zhengqiu Z. Recent variations of Antarctic temperature, sea-ice and ozone. Chinese Journal of Polar Science, 1999, v. 10, no.1, pp. 1–9.
5. Anisimov O. A. et al. Polar regions (Arctic and Antarctic). Climate change. Cambridge, 2007, v. 15, pp. 653–685.
6. 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.
7. Danova T. E., Prokofiev O. M. Vetrovoi rezhim antarkticheskogo poberezhya. Meteorologiya, klimatologiya ta gidrologiya, 2008, Vip, 50, pp. 88–93.
8. Danova T. E., Prokofiev O. M. Dinamika temperatury vozdukha pribrezhnykh stantsii Antarktidi i Antarkticheskogo poluostrova. Ukrainskii gidrometeorologichnii zhurnal, 2009, vip. 5, pp. 107–112.
9. Prokofiev O. M. Vzaemniy spektralnyi analiz globalnikh klimatichnikh indeksiv ta prizemnoi temperaturi povitrya stantsii Antarktidi. Ukrainskii gidrometeorologichnii zhurnal, 2010, vip. 6, pp. 93–101.
10. Danova T. E., Prokofiev O. M. Korelyatsiyni zv'yazok mizh prizemnoyu temperaturoyu povitrya stantsii Antarktidi ta teplimi (kholodnimi) epizodami Pivdenного kolivannya. Ukrainskii gidrometeorologichnii zhurnal, 2011, vip. 8, pp. 149–160.
11. Prokofiev O. M., Shamenkova O. I. Mnogoletnyaya izmenchivost atmosfernogo davleniya Antarkticheskogo poluostrova. Simvol nauki, 2015, no. 8, pp. 316–320.
12. Prokofiev O., Borovskaya G., Suchenko A. Modern changes of the wind mode Antarctic peninsula. Bulletin of Science and Practice. Electronic Journal, 2016, no. 7 (8), pp. 26–34. Available at: <http://www.bulletennauki.com/prokofiev>, accessed 15.07.2016. (In Russian). DOI: 10.5281/zenodo.58044.
13. Prokofiev O., Sushchenko A. Dynamics of ground speed wind anomalies Antarctic peninsula. Bulletin of Science and Practice. Electronic Journal, 2016, no. 8 (9), pp. 80–91. Available at: <http://www.bulletennauki.com/prokofitv-sushchenko>, accessed 15.08.2016. (In Russian). DOI: 10.5281/zenodo.60244.

*Работа поступила  
в редакцию 25.11.2016 г.*

*Принята к публикации  
28.11.2016 г.*