

В.Е. Тимофеев

ДИНАМИКА СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ В РАЙОНЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Рассмотрены пространственно-временные особенности процесса современного потепления на станциях Субантарктических островов и Антарктического полуострова путем сравнения междесятилетних колебаний температуры воздуха, квантилей распределений и взаимных корреляций. Установлено, что наиболее равномерно во времени потепление происходит на станциях западного побережья полуострова, в том числе Украинской антарктической станции Академик Вернадский, а наименее равномерно – на крайнем северо-востоке региона, где влияние орографии наиболее велико. Характерной особенностью является стабилизация роста зимних температур воздуха в течение последнего десятилетия.

Введение

В Южной полярной области (ЮПО) наиболее обеспеченным метеорологической информацией является Антарктический полуостров. Данный район характеризуется существенной неоднородностью подстилающей поверхности, наличием горного рельефа, значительной изрезанностью береговой линии, многочисленными островами, а также разным типом оледенения. В результате микроклиматических особенностей формируются существенные температурные различия на небольших пространственных масштабах [2, 3]. Одна из особенностей - зональный контраст в исследуемом районе, обусловленный режимом ледовитости в морях Беллинсгаузена и Уэдделла. В результате, средняя многолетняя температура воздуха на западном побережье Антарктического полуострова примерно на 4-6° С выше, чем на восточном, в зимний сезон разница еще больше [3].

Известно, что в последние десятилетия на станциях Антарктического полуострова отмечается рост температуры воздуха [4, 7-9, 12]; этому способствует удаленность полуострова к северу от основного континента. Региональное потепление уже привело к деградации объектов гляциосферы (например, шельфового ледника

Ларсена) и к определенным изменениям окружающей среды региона [3]. Положительные тренды температуры воздуха в рассматриваемом районе согласуются во времени с потеплением во внетропических районах Северного полушария, в частности, в Сибири, Аляске, Европе [1, 10], однако находятся в противофазе с данными континентальной Антарктиды, где отмечены незначительные или слабые отрицательные тенденции в многолетнем ходе температур [8].

В литературе последних лет имеются также многочисленные сведения о долговременных изменениях крупномасштабной циркуляции в ЮПО, однако детально не изучено, какие синоптические процессы вызывают изменение климата.

Основная цель работы – проанализировать, каким образом происходит процесс потепления на станциях Антарктического полуострова, расположенных в различных физико-географических условиях, и полученные результаты сравнить с изменениями, происходящими в циркуляции тропосферы.

В работе использованы данные наблюдений на станциях Антарктического полуострова с наиболее продолжительными рядами: Академик Вернадский ($65,2^{\circ}$ ю. ш., $64,2^{\circ}$ з. д., за период 1951-2005 гг.), Беллинсгаузен ($62,2^{\circ}$ ю. ш., $58,9^{\circ}$ з. д., 1961-2005 гг.), Оркадас ($60,7^{\circ}$ ю. ш., $44,7^{\circ}$ з. д., 1951-2003 гг.), Розера ($67,3^{\circ}$ ю. ш., $68,1^{\circ}$ з. д., 1957-2004 гг.), Эсперанца ($63,3^{\circ}$ ю. ш., $56,8^{\circ}$ з. д., 1953-2004 гг.), Марамбио ($64,2^{\circ}$ ю. ш., $56,7^{\circ}$ з. д., 1971-2004 гг.) (рис. 1).

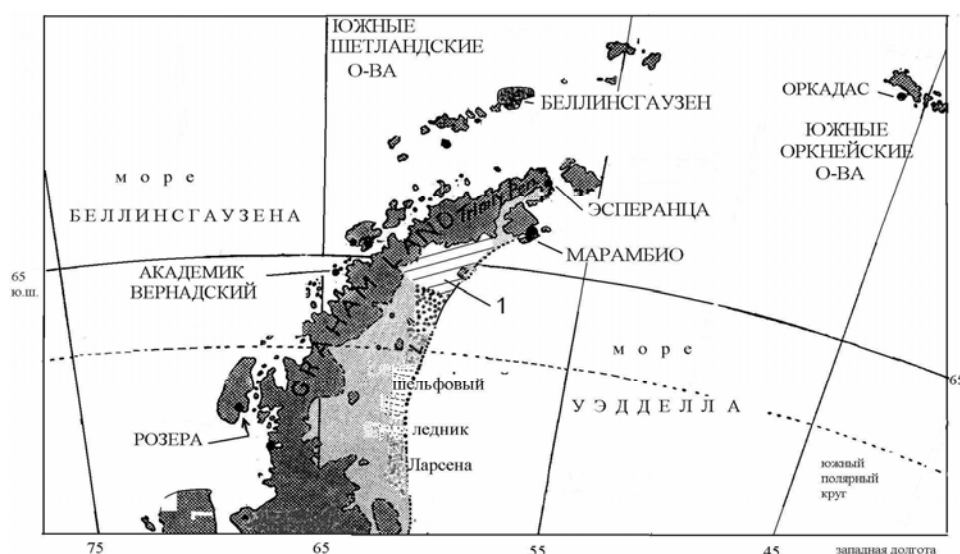


Рис. 1. Антарктический полуостров с положениями отдельных станций (1 – часть шельфового ледника Ларсена, отколовшаяся в 2002 году)

Эта информация является частью международного проекта READER (<http://www.antarctica.ac.uk/met/READER/surface/stationpt.html>), в рамках которого была проведена оценка исходных рядов на однородность [12].

Результаты работы

Значения трендов температуры воздуха для станций региона таковы ($^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, на уровне значимости не менее 95%): Оркадас $0,11\pm 0,07$, (1895-2000 гг.), Беллинсгаузен $0,19\pm 0,06$ (1951-2003 гг.), Фарадей-Вернадский $0,52\pm 0,28$ (1947-2003 гг.), Розера $0,49\pm 0,21$ (1975-2003 гг.). Таким образом, максимум потепления отмечен на Украинской антарктической станции (УАС) Академик Вернадский.

Для пространственно-временной детализации процесса потепления на станциях региона были рассчитаны значения отклонений температуры воздуха по отдельным десятилетиям, по отношению к периоду осреднения 1961-1990 гг. (рис. 2). Хотя на ст. Вернадский и Беллинсгаузен потепление в течение года происходило равномерно между десятилетиями, однако можно выделить смены знака тенденции зимних температур между десятилетиями к незначительному потеплению между десятилетиями 1951-1960 и 1961-1970 гг., похолоданию в 1971-1980 гг., и, в дальнейшем, - вновь к потеплению, но более интенсивному (более 2°C на УАС). Отметим дополнительно, что в течение 1991-2000 гг. на станции Вернадский было 9 самых теплых месяцев за период наблюдений.

Некоторое ослабление роста зимних температур отмечено к десятилетию (1991-2000 гг.) на всех станциях, кроме ст. Вернадский: здесь оно замедлилось в течение 2001-2005 гг. На ст. Оркадас зимнее потепление между 1951-1960 и 1961-1970 гг. более выражено и даже превышает значение роста температур за период с 1981-1990 по 1991-2000 гг. В целом, наиболее равномерное сезонное изменение температуры между десятилетиями происходили на ст. Вернадский, а наиболее разнообразные колебания - на ст. Оркадас и Эсперанца. Так, на ст. Эсперанца наибольшее зимнее потепление и весеннее похолодание отмечено между 1981-1990 и 1991-2000 гг., однако к 1991-2000 гг. наблюдается зимнее похолодание на фоне осеннего потепления. Общей чертой для всех станций, кроме ст. Вернадский, явилось снижение температур весенних месяцев в последние два десятилетия.

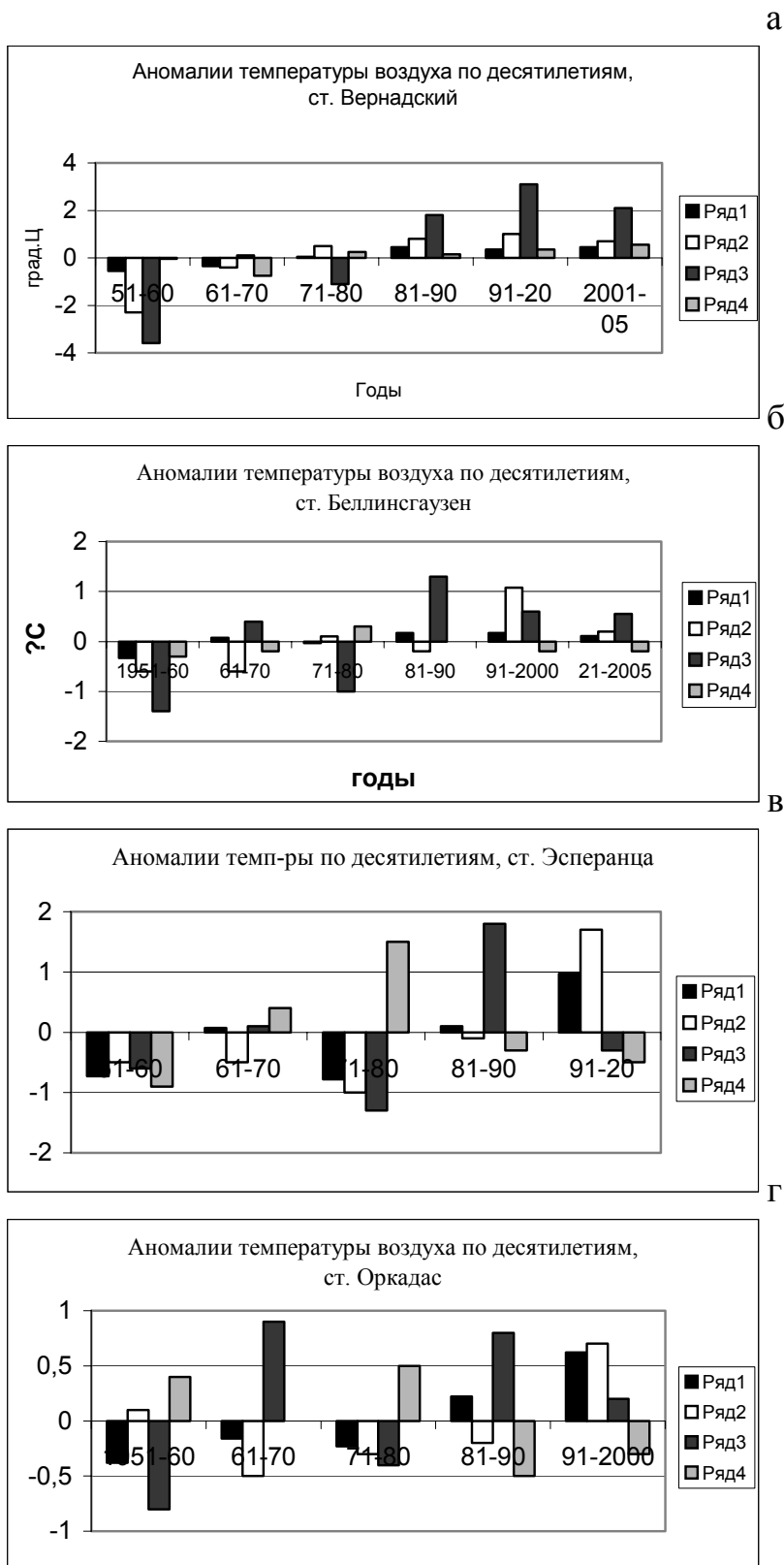


Рис. 2. Сезонные аномалии температуры воздуха ($^{\circ}$ C) по отдельным десятилетиям по отношению к климатическому стандартному периоду 1961-1990 гг. Станции Антарктического полуострова: Академик Вернадский (а), Беллинсгаузен (б), Эсперанца (в), Оркадас (г): 1 – январь, 2 – апрель, 3 – июль, 4 – октябрь

Напротив, максимальное потепление отмечено в осенние месяцы (март-май) на всех станциях, превышающее $1,5^{\circ}\text{C}$ на ст. Эсперанца в течение 1991-2000 гг.

Таким образом, за период с 1951 по 2000 гг. наблюдаются две смены знака тенденций зимних температур: с наиболее холодным десятилетием 1951-1960 гг. и наиболее теплым 1991-2000 гг. Зимний рост температуры несколько снизился в 2001-2005 гг. на станции Вернадский и в 1991-2000 гг. – на остальных станциях, однако усилилось потепление в течение осенних месяцев.

Учитывая значительный контраст свойств подстилающей поверхности региона, важно выяснить особенности колебаний температуры на разных станциях региона, которые оценивались путем расчета значений температуры воздуха, соответствующих квантилям 0,25 ($q_{0.25}$) и 0,75 ($q_{0.75}$) эмпирического распределения. Наибольшие значения обоих квантилей отмечено для ст. Беллинсгаузен, причем $q_{0.75}$ летом положительны на всех станциях, кроме Марамбио (табл. 1). Район ст. Марамбио оказался наиболее холодным, причем в зимнее время здесь в 25% случаев температура ниже -16°C , а в 75% случаев – ниже $-12,1^{\circ}\text{C}$. Однако, на соседней ст. Эсперанца значения температур обоих квантилей выше (теплее) на $3-4^{\circ}\text{C}$. Очевидно, большое значение имеет близкое расположение ст. Марамбио к шельфовому леднику.

Таблица 1

Температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), соответствующая квантилям распределения $q_{0.25}$ и $q_{0.75}$, для станций района Антарктического полуострова

Станция	Квантили распределения (%)									
	$q_{0.25}$					$q_{0.75}$				
	осень	зима	весна	лето	год	осень	зима	весна	лето	год
Беллинсгаузен	-2,4	-7,3	-3,4	+0,9	-2,8	-1,1	-4,4	-2,4	+1,6	-1,7
Марамбио	-12,5	-16,1	-8,3	-2,5	-9,2	-8,2	-12,8	-6,1	-1,2	-7,6
Вернадский	-3,1	-10,5	-6,0	-0,1	-5,0	-1,5	-5,9	-3,9	+0,8	-2,6
Оркадас	-4,1	-10,8	-4,8	-0,2	-4,8	-1,8	-8,0	-2,5	+0,9	-3,2
Розера	-4,2	-12,1	-6,6	+0,5	-5,5	-2,1	-8,0	-4,6	+1,2	-3,7
Эсперанца	-8,0	-12,5	-5,5	-0,6	-6,0	-4,8	-9,1	-3,5	+1,1	-4,6

С другой стороны, разница между значениями обеих квантилей на удаленных друг от друга станциях Розера и Оркадас не превышает 1,5-2°С. Станция Оркадас расположена намного севернее, однако лежит в окраинной зоне распространения морских льдов моря Уэдделла, что способствует формированию более прохладного климата, чем на других станциях этих широт, в частности, ст. Беллинсгаузен.

Используя данные [6], можно сравнить, как изменились значения $q_{0.25}$ и $q_{0.75}$ между периодом 1956-1970 гг., соответствующим стабилизации многолетнего хода температур, и общим периодом измерений на станциях Беллинсгаузен и Вернадский. Наибольшему росту подверглось значение $q_{0.25}$ для зимних месяцев, которое равно 3,5° С на ст. Беллинсгаузен, и 4,5° С на ст. Вернадский. Менее значителен рост $q_{0.75}$ на ст. Беллинсгаузен – 2,1° С и на ст. Вернадский – 3,2° С. Общим для других сезонов является больший рост $q_{0.25}$, чем $q_{0.75}$, что соответствует снижению частоты регистрации значений температуры ниже значения квантиля $q_{0.75}$ (уменьшения вероятности левого хвоста распределения) в процессе современного потепления.

Таблица 2

Корреляционная матрица средней месячной температуры воздуха между станциями района Антарктического полуострова (числитель – январь, знаменатель – июль)

Станция	Вернадский	Беллинсгаузен	Эсперанца	Оркадас	Розера	Марамбио
Вернадский	1,00 1,00	<u>0,16</u> 0,78	<u>-0,08</u> 0,56	<u>0,17</u> 0,60	<u>0,71</u> 0,92	<u>0,03</u> 0,45
Беллинсгаузен	<u>0,16</u> 0,78	1,00 1,00	<u>0,10</u> 0,85	<u>0,20</u> 0,73	<u>0,30</u> 0,83	<u>0,29</u> 0,76
Эсперанца	<u>-0,08</u> <u>0,56</u>	<u>0,10</u> 0,85	1,00 1,00	<u>0,58</u> 0,68	0,15 0,68	<u>0,63</u> 0,93
Оркадас	<u>0,17</u> 0,60	<u>0,20</u> 0,73	<u>0,58</u> 0,68	1,00 1,00	<u>0,22</u> 0,70	<u>0,51</u> 0,60
Розера	<u>0,71</u> 0,92	<u>0,30</u> 0,83	0,15 0,68	<u>0,22</u> 0,70	1,00 1,00	<u>0,11</u> 0,58
Марамбио	<u>0,03</u> 0,45	<u>0,29</u> 0,76	<u>0,63</u> 0,93	<u>0,51</u> 0,60	<u>0,11</u> 0,58	1,00 1,00

Примечание: для всех станций, кроме Марамбио, расчеты велись за период с 1963 по 2002 гг., для ст. Марамбио – с 1971 по 2002 гг.

Таким образом, обнаружены существенные различия температурного режима, а также разнообразие знаков и значений сезонных трендов температур между различными станциями исследуемого региона. Поэтому для выяснения вопроса о синхронности климатических изменений далее анализировались взаимные корреляции средней месячной температуры воздуха между станциями Антарктического полуострова и Субантарктических островов (табл. 2).

Наилучшая степень пространственных связей в целом отмечается для зимнего сезона. По отношению к ст. Вернадский, наибольший радиус корреляции направлен в меридиональном направлении, с максимумом корреляции 0,92 со ст. Розера (300 км к югу). Со станцией Беллинсгаузен, удаленной к северу на 500 км, коэффициент корреляции также высок - 0,78. Наибольшее уменьшение коэффициента корреляции от УАС отмечается в северо-восточном направлении, к ст. Эсперанца и Марамбио, вплоть до небольших отрицательных значений коэффициентов корреляции в летний сезон.

Подобные особенности распределения пространственных коэффициентов корреляции связаны с наличием орографических особенностей и региональной циркуляции рассматриваемого района. Так, ст. Марамбио и Эсперанца расположены недалеко от северного окончания шельфового ледника Ларсена (рис. 1), тогда как в районе ст. Вернадского и Розера шельфовое оледенение отсутствует. Кроме того, станции западного побережья полуострова (Вернадский, Розера) находятся под влиянием передней части климатического циклона с центром над морем Беллинсгаузена (наветренное побережье полуострова), а станции на крайнем северо-востоке – в основном под влиянием тыловой части циклона над морем Уэдделла (подветренная часть полуострова). Станции Беллинсгаузен и Оркадас расположены в зоне антарктической конвергенции, с преобладающим западным ветром, где степень орографического влияния наименьшая.

Таким образом, в зимнее время подтверждается наличие значительной корреляции температуры воздуха между станциями региона в меридиональном направлении. К сожалению, небольшой ряд наблюдений на ст. Палмер, являющейся ближайшей к ст. Вернадский (75 км к северу), не позволяет использовать его для более детального анализа.

Выводы

1. Для большинства станций Антарктического полуострова в многолетнем тренде приземной температуры воздуха выделяются отрицательные аномалии в период с 1951 по 1970 гг. с дальнейшим потеплением в 1981-2000 гг., что соответствует глобальному изменению температуры. В последние годы тенденция к потеплению сменилась стабилизацией повышения температуры, а на отдельных станциях – незначительным похолоданием.

2. В пределах отдельных сезонов процесс потепления проходит по-разному: наибольшие отличия величин и знаков сезонных трендов характерны для станций крайнего северо-востока полуострова и Субантарктических островов (ст. Эсперанца и Марамбио), с одной стороны, и тех, что расположены близ западного побережья Антарктического полуострова (ст. Вернадского, Розера, Беллинсгаузена).

3. Наиболее выраженная пространственная связь между данными о температуре воздуха на станциях исследуемого района отмечена для зимнего сезона, наиболее слабая – для летнего. Радиус корреляции сильно зависит от орографических условий и режима региональной циркуляции. По отношению к ст. Вернадского, значительное уменьшение коэффициента корреляции отмечено в северо-восточном направлении, где степень орографической неоднородности максимальна (пересечение горной системы), а наименьшее – в южном направлении, вдоль западного побережья Антарктического полуострова.

* *

Розглядаються просторово-часові особливості процесу потепління на станціях Субантарктичних островів і Антарктичного півострова шляхом порівняння міждесятилітніх коливань температури повітря, квантілей емпіричних розподілень і взаємних кореляцій. Встановлено, що найбільш рівномірно у часі потепління відбувається на станціях західного узбережжя півострова, у тому числі на Українській антарктичній станції Академік Вернадський, а найменш рівномірно – на крайньому північному сході регіону, де орографічний вплив максимальний. Характерною особливістю є стабілізація зростання зимових температур повітря впродовж останнього десятиліття.

* *

1. Алексеев Г.В. Исследования климата Арктики в XX столетии // С.-Пб.: Тр.

- ААНИИ. – 2003. – Т. 446. – С. 6-21.
2. *Говоруха Л.С.* Гляциоклиматологическая характеристика Земли Грейама // Инф. бюлл. Укр. антаркт. экспед., № 1. – К. – 1998. – С. 5-9.
 3. *Говоруха Л.С., Тимофеев В.Е.* Антарктический ледниковый щит – уникальный физико-географический и гидрометеорологический феномен планеты и его роль в глобальном массоэнергообмене. Од.: Сб. Юбил. Конфер. к 70-летию ОГНИ. – 2003. – Ч. 2. – С. 166-176.
 4. *Кошельков Д.П.* Температурные тренды в Антарктике и смежных районах // Метеорология и гидрология. – 1990. – № 5. – С. 111-116.
 5. Клімат України / За ред. *В.М. Лінінського, В.А. Дячука, В.Н. Бабіченко.* – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 344 с.
 6. Справочник по климату Антарктиды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – С. 272.
 7. *Van den Broeke M.* On the interpretation of Antarctic Temperature trends // J. of Climate, 2000. - № 13. – P. 3885 – 3891.
 8. *Kejna M.* Przebieg Roczny temperatury powietrza na Antarktydzie. Problemy Klimatologii Polarnej, Torun Poland, 2002, № 12. - P. 5-20.
 9. *Marshall G.J., Lagun V., Lachlan-Cope N.A.* Changes in Antarctic Peninsula Tropospheric Temperatures from 1956 to 1999: a Synthesis of Observations and Reanalysis Data. Int. J. Climatolgy, 2002, № 22. – P. 291-310.
 10. *Rogers J.C., Mosley-Thompson E.* Atlantic Arctic cyclones and the mild Siberian winters of the 1980s. Geoph. Res. Letters, 1995, vol. 22, № 7. – P. 799-802.
 11. *Santer B.D., T.M.L. Wigley, J.S. Boyle, D. J. Gaffen, J.J. Hnilo, D. Nychka, D.E. Parker and K.E. Taylor.* Statistical significance of trends and trend differences in layer-average temperature time series. Journal of Geophysical Research, 2000, № 105. – P. 7337-7356.
 12. *Turner J., Colwell S., Marshall G., Lachlan-Cope T., Carleton A., Jones P., Lagun V., Reid F., Iagovkina S.* Antarctic climate during the last 50 years. Int. J. Climatol., 2005, № 25. – P. 279-294.

*Український науково-дослідницький
гідрометеорологічний інститут, Київ*