

УДК 551.32:551.58

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА АНТАРКТИЧЕСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

**В.Е. Тимофеев, канд. геогр. наук**

*Национальный антарктический научный центр,  
Одесский государственный экологический университет, e-mail: [tvvlad@mail.ru](mailto:tvvlad@mail.ru)*

Рассмотрены пространственно-временные характеристики потепления в районе Антарктического полуострова

**Просторово-часові особливості регіонального потепління на Антарктичному півострові.** В.С. Тимофеев  
Розглянуто просторово-часові характеристики потепління в районі Антарктичного півострова.

**Spatial and temporal peculiarities of regional warming at the Antarctic peninsula.** V. E. Tymofeyev  
Spatial and temporal characteristics of warming at the region of the Antarctic Peninsula are described

### Введение

Хорошо известно, что Антарктический полуостров является районом наиболее интенсивного роста температуры воздуха в Южной полярной области (ЮПО), причем его временные рамки в целом соответствуют планетарному потеплению второй половины XX столетия [2, 3]. При этом многие авторы считают, что наибольшее возрастание температуры воздуха в этом районе отмечается по данным украинской антарктической станции (УАС) Академик Вернадский [4, 10, 11].

С другой стороны, в плане тенденций климата Антарктический полуостров контрастирует с данными континентальной и Восточной Антарктиды – там средние температуры не изменяются или наблюдаются слабо отрицательные тренды [10]. В немалой степени это связано с физико-географическими особенностями Антарктического полуострова, а именно с его значительной меридиональной вытянутостью (это наиболее удаленная к северу область Антарктики), наличием горной системы и разнообразного оледенения. Такое разнообразие природных объектов обуславливает наличие ряда климатических зон: так, северная часть Антарктического полуострова (Земля Грейама) расположена в зоне влияния тихоокеанских циклонов со значительным потенциалом ветра и осадков, а южная его часть (Земля Палмера) находится под влиянием континентальной антарктической циркуляции. Кроме этого, в пределах одной широтной зоны также наблюдается значительная климатическая неоднородность, связанная с наличием шельфового оледенения у восточного побережья полуострова и отсутствием – у побережья западного.

Цель работы – проанализировать, каким образом во времени происходит процесс потепления на станциях Антарктического полуострова, расположенных в различных физико-географических условиях, в сравнении с климатическими тенденциями соседних районов, и оценить степень аномальности климата посредством анализа отдельных метеорологических величин. Используются данные стандартных измерений станций: Оркадас (с 1903 г. – наиболее длинный ряд в Антарктике, Академик Вернадский (с 1947 г. по настоящее время), Беллинсгаузен, Розера, Эсперанца, Марамбио (1961–2003 гг.), Пунта-Аренас (1951–1999 гг.), Мак-Мердо, Скотт (1958–2003 гг.). Эти данные являются частью международного проекта READER (<http://www.antarctica.ac.uk/met/READER/surface/stationpt.html>), в рамках которого была проведена оценка исходных рядов на однородность. В целях сравнения привлекались результаты статистической обработки метеорологических рядов из [5].

### Результаты работы. Режим температуры воздуха

Соответствие глобальным изменениям прослеживается на примере векового хода температур по ст. Оркадас, в котором присутствуют два периода потепления – в 1930-40-х гг. и с конца 1970-х гг., и периода относительного похолодания между ними (рис. 1). Однако, в рамках вторичного потепления ход температуры воздуха носит колебательный характер. Так, по данным ст. Вернадский, кроме похолодания в 1950-х-начале 1960-х гг., наличествует похолодание с 1975 по 1980 гг., сменившееся фазой современного потепления (рис. 2).

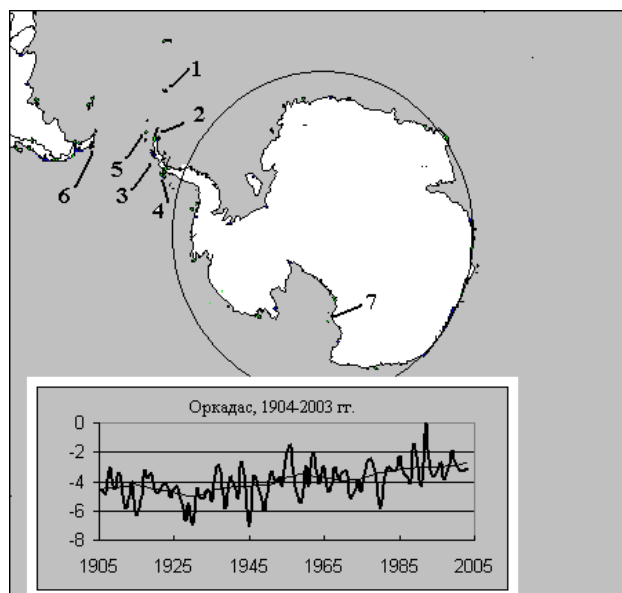


Рис. 1. Расположение отдельных метеорологических станций Антарктиды и Южной Аме-рики: 1 – Оркадас, 2 – Эсперанца, 3 – Академик Вернадский, 4 – Розера, 5 – Беллинсгаузен, 6 – Пунта-Аренас, 7 – МакМердо и Скотт. Врезка: многолетний ход температуры воздуха на ст. Оркадас, 1904–2003 гг.

По данным ст. Академик Вернадский, рост температуры воздуха регистрируется во все сезоны, сопровождаясь снижением амплитуд межгодовых, межсезонных и межсуточных температур воздуха и ростом минимальных температур. Так, наибольшее сглаживание межгодовых амплитуд средней температуры воздуха отмечено для осени и зимы: если в апреле-мае 1950-х и 1960- х гг. (рис. 3) они достигали 6–8°C, то в последнее десятилетие снизились до 2–4°C. Таким образом, характер распределения температур осенних месяцев в 1950-е годы был близок к зимнему режиму. В меньшей степени сглаживание межгодовых амплитуд температур коснулось весенних и летних месяцев, а зимой оно проявилось только с середины 1980-х гг.

Кроме этого, потепление сопровождается также снижением внутрирядной изменчивости и характеристик вариации температуры воздуха (см. таблицу). Значительно снизилась вероятность наступления сильных и продолжительных похолоданий в зимнее время по

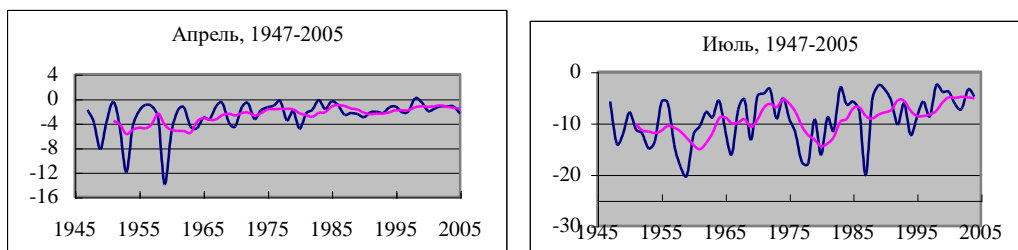


Рис. 2. Ход средних температуры воздуха по отдельным месяцам, с 5-летними сглаживающими средними: апрель, июль, станция Академик Вернадский.

Таблица

**Сводка статистических характеристик по отдельным десятилетиям, ст. Академик Вернадский (числитель – январь, знаменатель – июль). СКО – среднее квадратическое отклонение, ВНРИ – внутрирядная изменчивость (изменение среднесуточной температуры со дня на день)**

Десятилетия	среднее	СКО	Асимметрия	Экссесс	ВНРИ
1951-1960	<u>0,3</u>	<u>2,3</u>	<u>0,32</u>	<u>1,8</u>	<u>1,7</u>
	-11,7	8,4	<u>-0,5</u>	2,4	5,3
1961-1970	<u>0,5</u>	<u>2,1</u>	<u>0,37</u>	<u>2,1</u>	<u>1,5</u>
	-10,4	7,3	0,45	2,6	4,4
1971-1980	<u>0,8</u>	<u>1,8</u>	<u>0,45</u>	<u>2,3</u>	<u>1,3</u>
	-10,2	7,8	0,82	3,1	3,8
1981-1990	<u>1,1</u>	<u>1,6</u>	<u>0,32</u>	<u>2,1</u>	<u>1,2</u>
	-7,8	6,5	1,03	3,6	3,2
1991-2000	<u>1,0</u>	<u>1,5</u>	<u>0,27</u>	<u>2,7</u>	<u>1,2</u>
	-6,8	5,6	0,88	3,3	3,1
2001-2005	<u>1,2</u>	<u>1,2</u>	=	=	<u>1,1</u>
	-6,0	5,3	<u>0,75</u>	3,2	3,0

сравнению с периодом 1951–1960 гг. Возросли значения абсолютных минимумов, и в целом сузился интервал регистрации температур, прежде всего в зимний период. Соответственно значительно снизилась вероятность наступления сильных похолоданий (ниже –30, –35°C и т.д.).

Если многолетний ход средней годовой температуры воздуха на других станциях исследуемого района в общем согласуется с данными УАС – на них также отмечается потепление, то сезонный ход имеет различия. Наиболее равномерно между десятилетиями рост температуры воздуха (потепление) происходит на станциях западного побережья полуострова – Академик Вернадский, Розера и Беллинсгаузен. При этом, по отношению к УАС, наилучшая связь изменений средней месячной температуры воздуха отмечена для зимнего сезона со станциями Розера и Беллинсгаузен (коэффициенты корреляции 0,92 и 0,78), а в летнее время связь ослабевает (0,71 и 0,26 соответственно).

Наименее равномерно между десятилетиями потепление происходит на станциях крайнего северо-востока Антарктического полуострова (Эсперанца, Марамбио), по данным которых потепление в течение осенних месяцев последнего десятилетия превышает норму зимнего потепления. По отношению к ст. Академик Вернадский коэффициенты корреляции температуры с этими станциями, а также со станцией Оркадас, наименьшие в летнее время, причем со ст. Эсперанца связь практически отсутствует (коэффициент корреляции –0,08).

Немаловажно то, что в течение последнего пятилетия для большинства станций исследуемого района характерным явилось снижение нарастания температуры воздуха, в частности после наиболее теплой зимы 1998 г.

Для детализации регионального потепления представляет интерес провести сопоставление изменений температуры воздуха в районах, соседних с Антарктическим полуостровом. Так, временной ход температуры воздуха на ст. Пунта-Аренас контрастирует с тенденциями климата Антарктического полуострова: на крайнем юге Южной Америки наблюдается слабое похолодание с 1960-х гг. (рис. 3). С другой стороны, обнаружено различие с данными станций района моря Росса. Если до середины 1970-х в обоих районах происходил рост температур, то в течение последних 30 лет намечилось похолодание в зимние месяцы, по данным станций Мак-Мердо (рис. 3) и Скотт (в контраст усилившемуся потеплению в районе Антарктического полуострова).

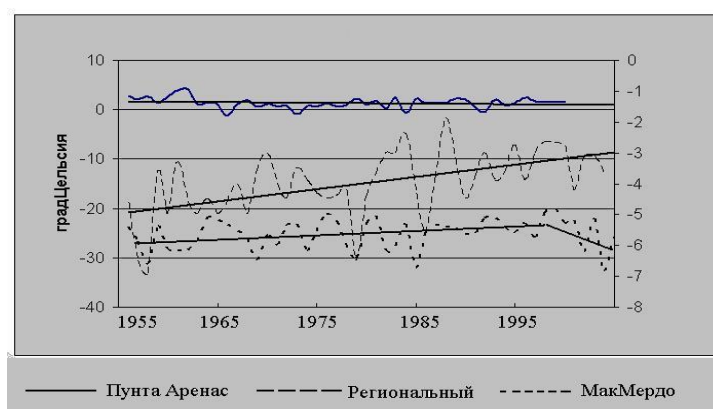


Рис. 3. Многолетний ход температуры воздуха в июле на станциях Пунта-Аренас, Мак-Мердо, и региональный тренд, вычисленный по данным 4-х станций Антарктического полуострова с наиболее продолжительными рядами наблюдений).

По данным ст. Скотт, с середины 1980-х гг. по настоящее время отмечается понижение температуры воздуха в течение года ( $-0,45^{\circ}\text{C}$  за 10 лет). При этом сезонные изменения температур существенно различаются: наибольшее похолодание происходит осенью (март-апрель-май),  $-1,8^{\circ}\text{C}$  за 10 лет, а наибольшее потепление – зимой,  $+0,61^{\circ}\text{C}$  за 10 лет. Величины и знаки зимних и весенних трендов подобны тем, что наблюдаются в районе Антарктического полуострова, а наибольшее различие обнаружено для осенних и летних сезонов. Таким образом, современное потепление в районе Антарктического полуострова является региональным явлением в пределах ЮПО.

#### Режим отдельных метеорологических величин по данным станции Академик Вернадский

Скорость приземного ветра в течение последних двух десятилетий в целом растет, хотя имеются значительные межгодовые колебания. Число дней с сильным ветром (более 20 м/с) также возрастает, в том числе и по сравнению с первыми десятилетиями наблюдений. Суммарная продолжительность слабых ветров снижается, особенно после наиболее теплого на станции 1998 года. Число зарегистрированных метелей также растет в течение последнего десятилетия. Ветровой режим существенно изменяется между отдельными аномальными годами и десятилетиями. Так, если в аномально холодном 1959 г. преобладающей была градация 0–4 м/с, то в теплом 1953 г. – 4–8 м/с, причем штилевые условия более характерны для холодных лет (около 25% сроков наблюдений в 1959 г.). В целом для наиболее теплого пятилетия 1996–2000 гг. доля штилей значительно снижается и составляет 7–8%, а распределение средней скорости ветра характеризуется выраженным максимумом в интервале скоростей ветра 0–4 м/с (рис. 4).



Рис. 4. Интервалы изменений скорости ветра по градациям, 1953–1960, 1996–2000 гг., станция Академик Вернадский.

Кроме этого, изменилась направленность розы ветров – от 1950-х к 1990-м гг. произошел «правый поворот» – от меридионально вытянутой розы к преобладанию северо-восточных ветров в современную эпоху. При этом сила СВ ветра уменьшилась, а средние скорости ветров южных румбов практически не изменились, однако произошло усиление В и ЮЗ ветров. Необходимо отметить, что общий вид розы ветров обусловлен направленностью горной системы Антарктического полуострова, а преобладание СВ ветров в течение 1996–2000 гг. – учащением формирования региональных циркуляций в результате преобладания циклоничности. Известно, что при усилении ветра в интервале 50–90° в районе УАС развиваются феновые ветры, являющиеся дополнительным фактором повышения температуры [6].

По данным ст. Академик Вернадский, число дней с осадками, как жидкими, так и твердыми, возрастает с 1947 г., суммарное годовое количество осадков в целом возрастает с 1986 г. до 1998 года, а затем убывает (к сожалению, нет данных с начала периода измерений по ст. Фарадей), с характерными 3–5-летними колебаниями, в общем согласии с фазой Эль-Ниньо-Южного Колебания (ЭНЮК). Так, пик количества осадков 1998 г. отмечен на фоне холодной фазы явления, а их снижение после 2000 г. – сменой знака ЭНЮК в связи с переходом в теплую фазу. В годовом ходе осадков преобладают два максимума – осенний (февраль–март, с месячными суммами более 800 мм) и зимний (июль, сентябрь – несколько чуть менее 800 мм). Наименьшее количество осадков наблюдается с ноября по январь (400–450 мм и менее).

В целом на УАС преобладает облачная погода (в среднем 7–9 баллов), хотя существенные отличия отмечаются между отдельными годами и сезонами. Наиболее облачным сезоном является осень (март–май), а наименее облачным – зима (июнь–август). В течение всего периода наблюдений отмечено увеличение суммарного количества облачности. Так, в течение холодных зим, характерных для первых десятилетий наблюдений, среднее месячное количество облачности снижается и составляет 5-6 баллов. Интересно, что продолжительность солнечного сияния колеблется в противофазе с ходом температуры воздуха: она растет к середине 1970-х гг., ослабевает к середине 1990-х гг, и вновь растет в течение последних 5–7 лет.

## Выводы

1. Рост приземной температуры воздуха в районе Антарктического полуострова имеет региональный характер в пределах Южной полярной области, но его временные рамки соответствуют ходу глобального потепления. Наибольший рост температуры воздуха происходит с середины 1970-х по конец 1990-х гг., к настоящему времени отмечается некоторая стабилизация потепления, а на отдельных станциях – незначительное похолодание.

2. По данным станции Академик Вернадский, потепление сопровождается сужением интервала регистрируемых температур за счет роста их минимальных значений, снижением межгодовых амплитуд температуры воздуха, уменьшением частоты значительных похолоданий. Вместе с этим на фоне общего возрастания скорости приземного ветра между десятилетиями изменяются преобладающие направления ветра, а также распределения скорости ветра по градациям, увеличивается количество осадков.

3. Потепление в районе Антарктического полуострова происходит неравномерно, как во времени, так и в пространстве, с наибольшим отличием характеристик сезонных трендов между станциями, расположенными в различных физико-географических условиях. Наиболее ощутимо различие температуры по отдельным сезонам на станциях крайнего северо-востока полуострова Эсперанца, Марамбио.

4. Состояние климата и аномалии погодных условий в рассматриваемом районе находятся в существенной зависимости от фазы явления Эль-Ниньо-Южное Колебание.

## Список сокращений:

УАС – украинская антарктическая станция

ЮПО – Южная полярная область

ЭНЮК – Эль-Ниньо-Южное Колебание

### Обсуждение

Современное потепление в районе Антарктического полуострова сопровождается снижением степени аномальности климата по характеристикам температуры воздуха и увеличением аномальности – по данным приземной скорости ветра. Оба эффекта являются следствием усиления зональности в ЮПО в целом. Изменение направления и силы преобладающих ветров с изменениями преобладающих градаций скоростей важно для учета ветроэнергетического потенциала района.

Наилучшая степень пространственных связей температуры воздуха между станциями западного побережья Антарктического полуострова в зимнее время объясняется более однородным циркуляционным режимом в регионе. Кроме того, значительный контраст пространственных корреляций со станциями крайнего северо-востока полуострова, особенно летом, свидетельствует о том, что на станциях Эсперанца и Марамбио большую роль в формировании температурного режима играют местные особенности (близость шельфового ледника и ледовых массивов моря Уэдделла).

### Литература

1. **Аверьянов В.Г.** Гляциоклиматология Антарктиды. – Л.: Гидрометеиздат. – 1990. – 198 с.
2. **Алексеев Г.В.** Исследования климата Арктики в XX столетии // С.-П. –Тр. ААНИИ.– 2003. – Т. 446. – С. 6–21.
3. **Говоруха Л.С., Тимофеев В.Е.** О состоянии гляциоклиматической системы Антарктического полуострова // Бюлл. УАЦ. – 1998. – N 2. – С. 70–76.
4. **Кошельков Д.П.** Температурные тренды в Антарктике и смежных районах // Метеорология и гидрология. – 1990. – N 5. – С. 111–116.
5. **Справочник по климату Антарктиды.** Том III. – Л.: Гидрометеиздат. – 1981. – 272 с.
6. **Тимофеев В.Е., Гордиенко С.И.** Местные циркуляции в районе украинской антарктической станции. – Бюлл. УАЦ. – 1996. – N 1. – С. 66–67.
7. **Comiso, J.C.** Variability and trends in Antarctic surface temperatures from in situ and satellite infrared measurements // – J. Clim. – 2000. – N 13. – P. 1674–1696.
8. **van den Broeke, M.** On the interpretation of Antarctic Temperature trends // J. of Climate. 2000. – V. 13. – P. 3885 – 3891.
9. **Kejna M.** Przebieg Roczny temperatury powietrza na Antarktydzie // Problemy Klimatologii Polarnej. – Torun University, Poland. – 2002. – N 12. – P. 5–20.
10. **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.
11. **Thompson D.W.J., Solomon S.** Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change // Science. – 296. – 2002. – P. 895–899.
12. **Orheim O., Govorukha L.S.** Present - day glaciation in South Shetland Islands // Annals of Glaciology. – 1982. – Vol. 3. – P. 233–238.