

# **ФІЗИКА АТМОСФЕРИ. МЕТЕОРОЛОГІЯ І КЛІМАТОЛОГІЯ**

УДК 551.583

В.Ф. Мартазінова, С.В. Клок

## **СУЧАСНИЙ ТА МАЙБУТНІЙ СТАН СЕРЕДНЬОРІЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ПІВНІЧНОЇ ЧАСТИНИ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА ЗАХІДНОГО СЕКТОРА АНТАРКТИДИ**

Проаналізовано динаміку температури повітря на антарктичних станціях Оркадас, Беллінсгаузен та Есперанса за весь період спостережень, в результаті чого виявлено характерність її розподілу по різних станціях. З використанням статистичної моделі отримано цікаві результати щодо прогнозу приземної температури на найближчі десятиліття.

**Ключові слова:** Антарктида, Українська антарктична станція, глобальне потепління, статистична модель, температура.

### **Вступ**

Західна Антарктида на сьогодні є одним із найбільш «гарячих» місць на планеті в розрізі глобального підвищення температурного режиму, що суттєво підвищує інтерес до цих територій упродовж останніх років [5, 7, 10, 11].

У роботі [8] для антарктичної станції «Академік Вернадський» уперше побудовано статистичну модель приземної середньорічної температури повітря, яка показала хороші результати. У статті реалізовано спробу використати статистичні методи [1, 4, 9] для побудови цієї моделі за даними спостережень на інших станціях регіону. Для проведення аналізу обрано станції, розташовані на Антарктичному півострові з найдовшою тривалістю рядів спостереження за гідрометеорологічними характеристиками погоди, що дає можливість провести їх змістовну оцінку [5].

У ході дослідження використано дані спостережень за температурою повітря на станціях Антарктичного півострова Оркадас,

Беллінсгаузен та Есперанса за різні періоди [13] та порівняння отриманих результатів із даними станції «Фарадей-Академік Вернадський» [8].

### **Аналіз приземної температури повітря на антарктичних станціях**

Усі станції розміщені на порівняно незначній відстані одна від одної (рис. 1), проте їх орографічне положення відрізняється та певним чином впливає на розподіл температури повітря.



Рис. 1. Розташування станцій на Антарктичному півострові

Наприклад, станція Оркадас розміщена у відкритому океані і має стабільніші погодні умови (максимальна температура  $-1,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-5,16\text{ }^{\circ}\text{C}$  – мінімальна) на відміну від решти (табл. 1). Саме тому на інших двох станціях спостерігаються більші річні амплітуди за аналізований відрізок часу, як це видно з таблиці. Водночас треба зазначити дещо підвищений загальний фон температури на станції Беллінсгаузен і значно нижчий на станції Есперанса порівняно з Оркадас.

Часові зміни середньорічної приземної температури повітря по зазначених станціях приведено на рис. 2, аналіз якого свідчить про її

зростання на всіх станціях: більш виражений тренд на станції «Фарадей-Академік Вернадський» і Есперанса, менший – Беллінсгаузен та Оркадас.

Таблиця 1

Дані деяких станцій спостереження в Західній Антарктиді

Дані Станції	Індекс станції	Координати		Ви- сота, м	Загальний період спостережень		Температура			Тренд, °C/10 років
		довгота	широта		початок	кінець	макс.	серед.	мін	
Беллінсгау- зен	89050	62.2S	58.9 W	16	1952	2011	-1,23	-3,1	- 5,16	0,08
Есперанса	88963	63.4S	57.0 W	13	1952	2011	-4,24	-6,69	- 9,26	0,223
Оркадас	88968	60.7S	44.7 W	6	1904	2008	-1,43	-3,96	- 5,77	0,149
Фарадей / Вернадськ.	89063	65.4S	64.4 W	11	1951	2011	-1,18	-3,65	- 8,08	0,538

Неоднорідність зміни приземної температури на станціях Антарктиди виявлено та продемонстровано в роботах [5, 7, 8, 10, 11], де відмічено суттєвіші зміни в бік підвищення температури на станціях Західного сектора щодо Східного.

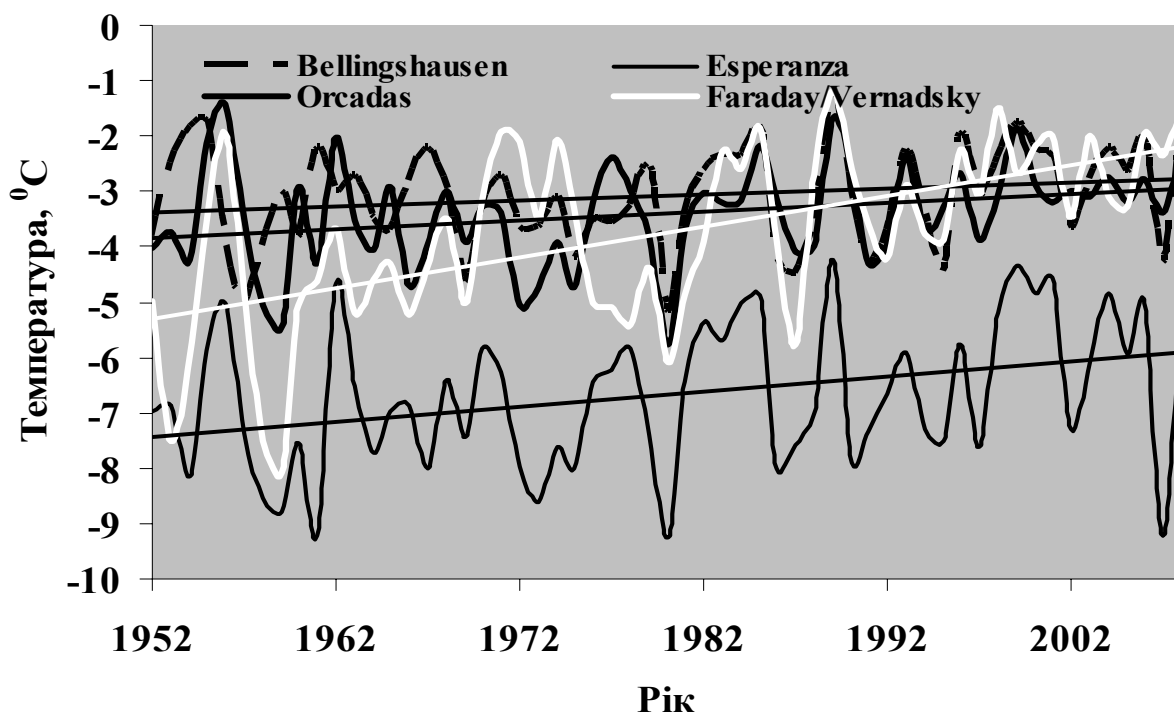


Рис. 2. Зміни середньої річної температури повітря на станціях Антарктичного півострова

Проте деякі автори отримали результати, які свідчать про помітний спад тенденції до потепління на станціях Західного сектора Південної полярної області [10, 11].

Зміни середньої річної температури повітря, що демонструє рис. 2, є досить схожими на цих станціях. Проте детальніший аналіз надасть змогу показати її особливість у кожному окремому випадку.

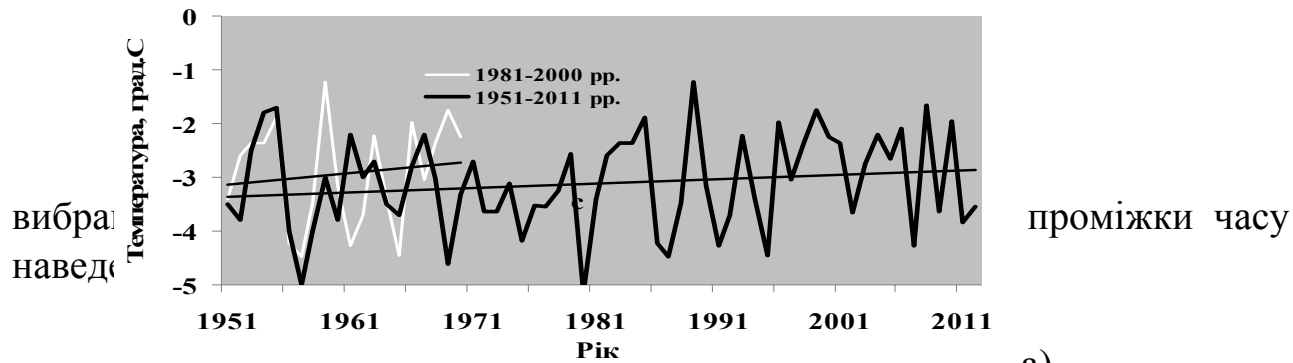
### **Статистична модель прогнозу середньомісячної температури повітря для регіону**

У роботі [8] ми врахували неоднорідність у зміні температури повітря окремих десятиліть по антарктичній станції «Фарадей-Академік Вернадський» (Антарктичний півострів) та побудували модель прогнозу зміни температури повітря з використанням методу класифікації в метеорології [12]. Для підтвердження отриманих результатів під час побудови прогностичної моделі температури на найближчі десятиліття на станції «Академік Вернадський» ми провели аналогічні дослідження по решті вказаних вище станцій. У цій роботі за основу взято такі ж періоди, як і в попередній роботі [8] – 1951-1970 рр. та 1979-1998 рр. (за винятком станції Есперанса, період спостережень якої починається з 1952 р.). У ході аналізу проведено коригування цих періодів у допустимих межах з метою отримання максимально позитивних результатів.

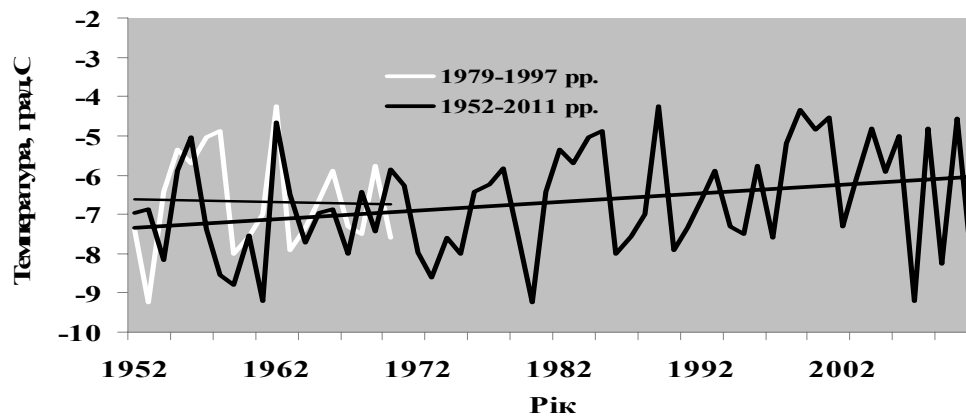
Згадана методика реалізується шляхом знаходження виділеного відрізка зміни річної температури із загального ряду даних аналогічного періоду з цього ряду, як це продемонстровано на рис. 3.

Треба зазначити, що в усіх випадках вихідний період та його аналог добре збіглися. Причому в усіх випадках відмічається періодичність у ході середньорічної температури повітря, яка складає близько 30 років. Тоді як із порівняльного аналізу зі станцією «Фарадей-Академік Вернадський» показано, що амплітуди температурного ходу решти трьох станцій суттєво відрізнялись за абсолютними значеннями, проте для цих трьох станцій амплітуди мали близькі значення. Це є наслідком інтенсивніших змін у приземній температурі повітря на станції «Фарадей-Академік Вернадський», на якій відмічається найбільше підвищення температури на кінець ХХ і початок ХХІ століть порівняно з іншими станціями [10, 11].

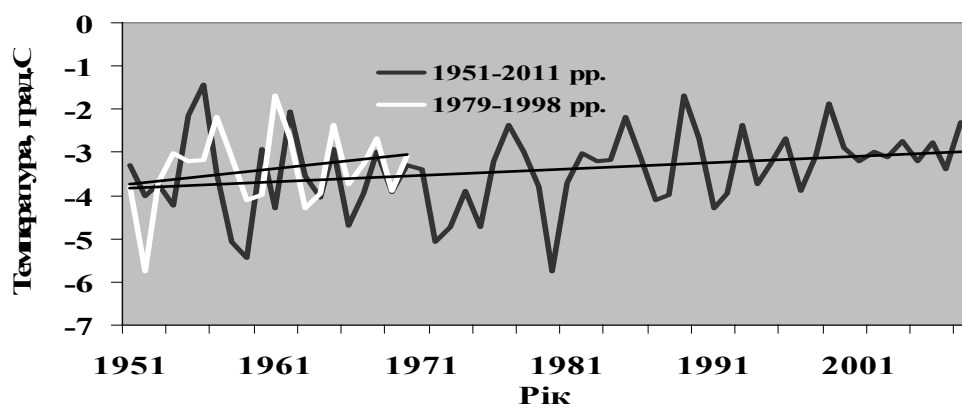
Результати розрахунків за критерієм геометричної подібності  $\rho$  та квадратом відстані  $\eta$  підтверджують високий ступінь аналогічності



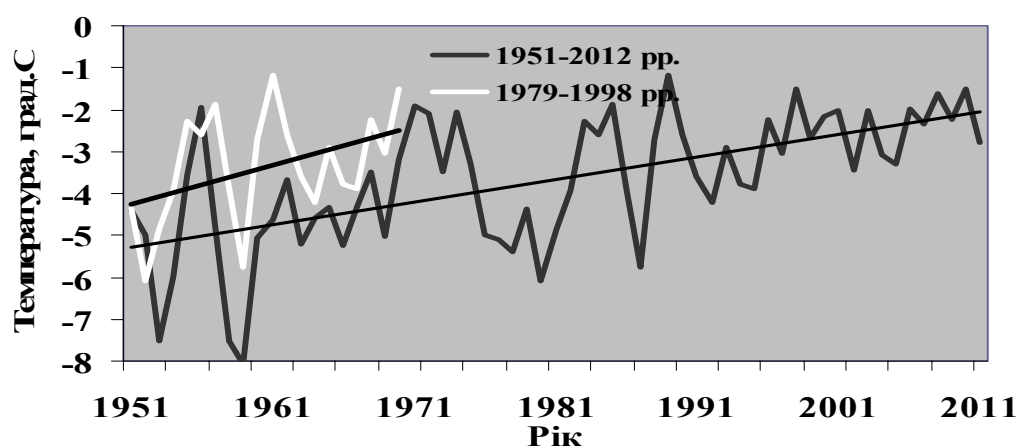
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Підбір аналогів-періодів зміні річної температури із загального ряду даних спостережень на станціях Беллінсгаузен (а), Есперанса (б), Оркадас (в) та порівняння їх з даними аналогів на станції „Фарадей-Академік Вернадський“ (г)

Незалежно від географічного та орографічного положення станцій, для всіх було виділено цілком закономірний період аналогічності зміни приземної температури, який становить близько 30 років. Детально зупинимось на аналізі отриманих трендів, адже, як видно з таблиці, вони не на всіх станціях мають узгоджений знак.

Таблиця 2

Результати підбору аналогів для вибраних періодів спостереження

Дані Станції	Період спостереження		Періоду аналогу		Критерії аналогічності		Тренд	
	початок	кінець	початок	кінець	$\rho$	$\eta$	період, °C/10 років	аналог, °C/10 років
Беллінсгаузен	1951	1969	1981	1999	0.40	0.20	-0,633	-0,386
Есперанса	1955	1971	1982	1998	0.41	0.39	-1,742	0,606
Оркадас	1952	1970	1983	1997	0.36	0.27	-0,143	0,186
Фарадей/ Вернадський	1951	1970	1979	1998	0.48	0.30	0,172	0,051

Передусім треба звернути увагу на те, що за абсолютними значеннями тренди незначні, а тому в цьому разі їх знак на обмеженому проміжку часу не може відобразити загальної тенденції процесу. Крім того, географічне положення станції звичайно впливає на розподіл окремих характеристик погоди навіть у таких регіонах, як Антарктида [5, 6].

Нагадаємо, що критерій геометричної подібності знаходимо за формулою:

$$\rho = \frac{n_+ + n_-}{N}, \quad (1)$$

де  $n_+$ ,  $n_-$  – кількість випадків збігу з відповідним знаком,  $N$  – загальна кількість випадків (довжина ряду).

Квадрат найменшої відстані між двома векторами розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - T_i)^2}. \quad (2)$$

Аналогічність підібрано з часовим кроком  $\Delta t=1$  рік. При цьому трендові зміни та станціях Оркадас, Есперанса та Беллінсгаузен виявились настільки незначними, що врахування різниці на часових відрізках трендів не проводилось.

На наступному етапі, після знаходження аналога відповідному періоду спостережень температурних рядів, розробляли прогнози стану температурного режиму наступних років, який залишався як незалежний матеріал.

Коефіцієнт кореляції між даними прогнозу і фактичними, а також абсолютні похибки наведено в табл. 3, з якої видно, що вагомі результати отримано по всіх станціях, за даними спостережень яких проводився аналіз.

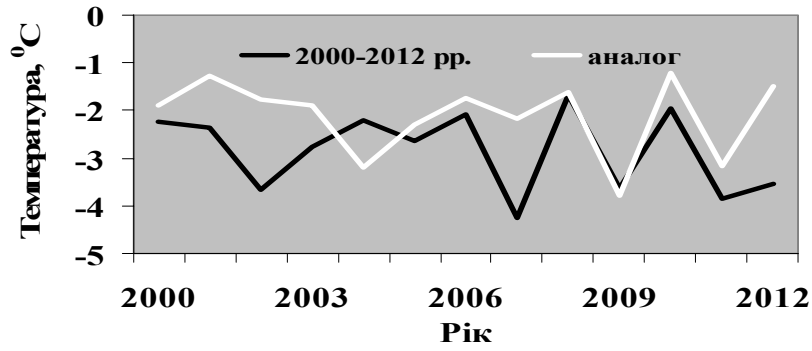
Таблиця 3

Оцінка прогнозу температури повітря на станціях Беллінсгаузен, Есперанса, Оркадас та «Фарадей-Академік Вернадський» на незалежному періоді 1996-2011 рр.

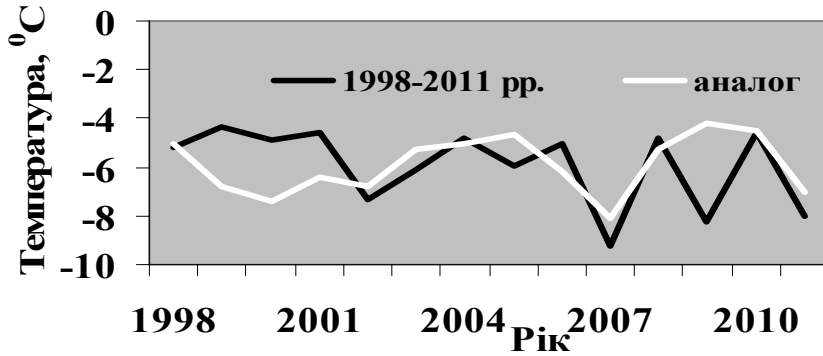
Станції	Результати прогнозу	
	Коефіцієнт кореляції	Абсолютна похибка
Беллінсгаузен	0,40	0,80
Есперанса	0,69	0,12
Оркадас	0,85	0,39
Фарадей / Вернадський	0,89	0,60

З огляду на те, що в ході підбору аналога вихідні періоди дещо незначно зміщувались один щодо одного, а також враховуючи відсутність даних спостережень за окремі періоди на станції Оркадас, об'єм незалежного матеріалу для перевірки не в усіх випадках був максимально можливим. Проте отримані дані свідчать про досить високу ефективність використаного методу (рис. 4).

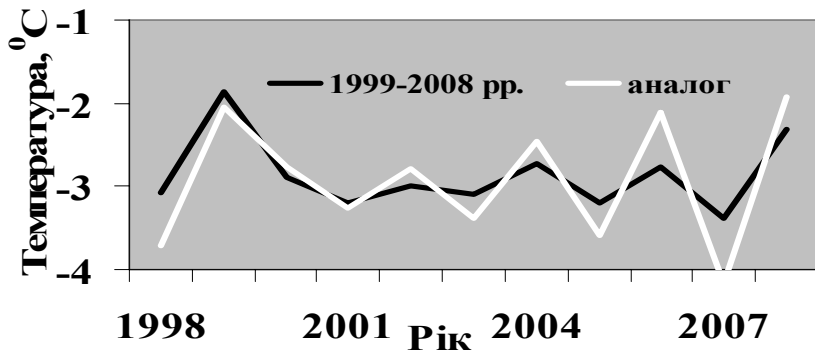
Ураховуючи високі оцінки прогнозу приземної температури повітря, отримані на незалежному матеріалі, надалі ми реалізували схему побудови прогнозу температури повітря для подальших двадцяти п'яти років, як це було зроблено в попередній роботі [8] – (рис. 5). Аналіз цього рисунка демонструє збереження позитивного тренду надалі. Проте амплітуди температури на станціях Беллінсгаузен і Есперанса будуть зберігатись упродовж усього наступного періоду прогнозу, а на станціях Оркадас і «Академік Вернадський» знижуватимуться, за винятком початкового періоду.



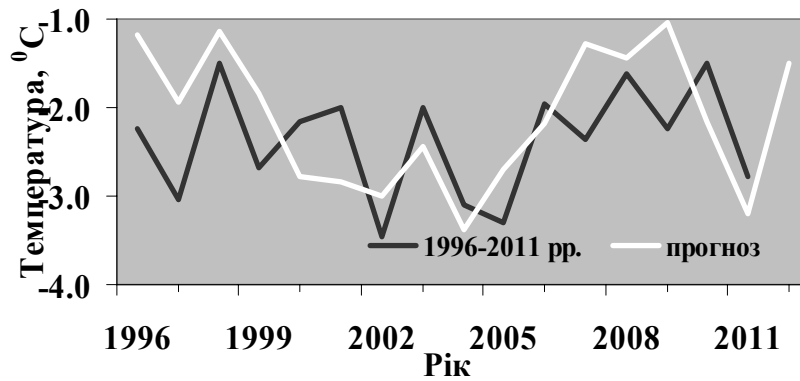
а)



б)



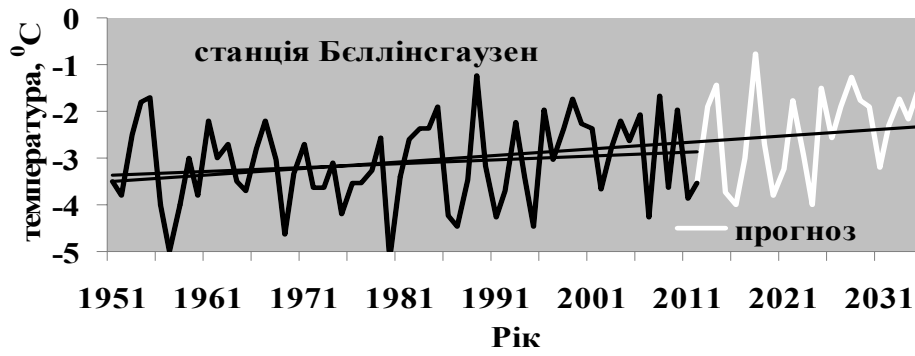
в)



г)

Рис. 4. Прогноз середньорічної температури повітря на станціях Беллінсгаузен (а), Есперанса (б), Оркадас (в) та «Фарадей-Академік Вернадський» (г)

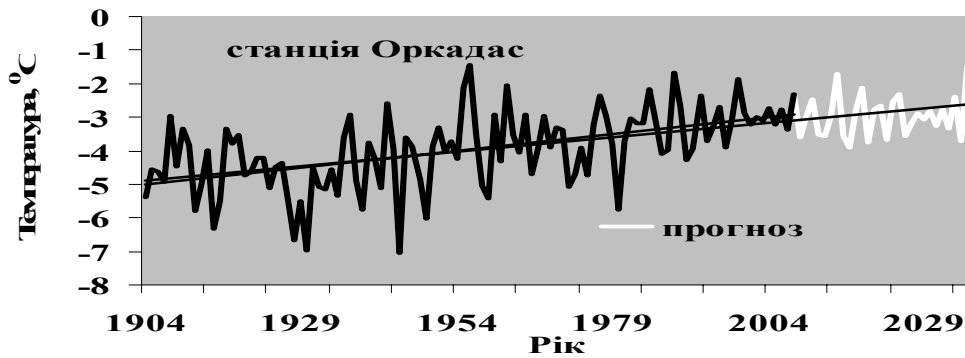




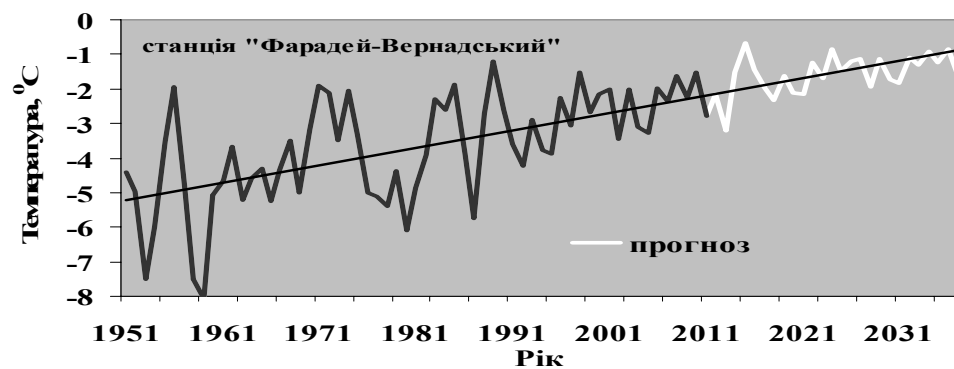
а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Прогноз середньорічної температури повітря на станціях Беллінсгаузен (а), Есперанса (б), Оркадас (в) та «Фарадей-Академік Вернадський» (г)

Таким чином, у цій статті представлено результати застосування статистичної моделі [12] для прогнозу середньорічної приземної температури повітря для станцій Антарктичного півострова. Оцінка прогнозу середньорічної приземної температури повітря для антарктичних станцій Беллінсгаузен, Есперанса, Оркадас на незалежному матеріалі виявилась ефективною і продемонструвала успішні результати.

### **Висновки**

Запропонована статистична модель прогнозу середньорічної температури повітря виявилась цілком ефективною для регіонального масштабу – станцій Антарктичного півострова. Аналогічність періодів середньорічної температури дозволила знайти 30-літню періодичність у зміні приземної температури.

Результати прогнозу показали збереження тенденції до підвищення середньорічної температури на станціях Беллінсгаузен і Оркадас та певну її стабілізацію на станції Есперанса на найближчі десятиліття. Причому, якщо на станції Есперанса амплітуда температури зменшиться щодо минулих років, то на станції Беллінсгаузен вона буде збільшуватися.

\* \*

1. Груза Г.В., Рейтенбах Р.Г. Статистика и анализ гидрометеорологических данных. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 216 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В. Крупномасштабные колебания циркуляции атмосферы в Южном полушарии и их влияние на изменение климата некоторых регионов земного шара в XX веке // Метеорология и гидрология. – 2007. – №7. – С. 5-17.
3. Клок С.В., Крученицкий Г.М. Периодическая и долговременная изменчивость термобарических параметров атмосферы в Антарктическом регионе // Физика атмосферы и океана. – М. – №12.– 2008. – С. 1024-1031.
4. Кобышева Н.В., Гольберг Н.А. Методические указания по статистической обработке метеорологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 86 с.
5. Мартазинова В.Ф., Тимофеев В.Е., Иванова Е.К. Атмосферная циркуляция южной полярной области и климат Антарктического полуострова. – К.: Аверс. 2010. – 92 с.
6. Мартазинова В.Ф., Свердлик Т.О. Зміни великомасштабної циркуляції повітря протягом XX сторіччя та її вплив на погодні і регіональну циркуляцію в Україні // Український географічний журнал. – К., 2001. №2. – С. 28-34.

7. *Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Клок С.В.* Современное и будущее состояние климата Антарктического полуострова, станции «Академик Вернадский» // VI міжнар. Антарктична конф. «Інтернаціоналізація досліджень в Антарктиці – шлях до духовної єдності людства». – К., 15-17 травня, 2013. – С. 260-261.
8. *Мартазинова В.Ф., Клок С.В.* Сучасний та майбутній стан середньорічної температури повітря на Антарктичному півострові в районі станції «Академік Вернадський» // Географія і сучасність – К., 2013. – Вип. 29. – С. 68-78.
9. *Пановский Г.А., Брайер Г.В.* Статистические методы в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 242 с.
10. *Turner J, Colwell S.R., J. Marshall G.J. et al.* Antarctic Climate Change During the Last 50 Years. *Int. J. Climatol.* 2005, v. 25. – P. 279-294.
11. *Turner J, James E. Overland and John E. Walsh.* An Arctic and Antarctic Perspective on recent climate change. Royal Meteorological Society. – 2006.
12. *Martazinova V.* The Classification of Synoptic Patterns by Method of Analogs // *J. Environ. Sci. Eng.*, 7, 2005. – P. 61-65.
13. <http://www.antarctica.ac.uk/met/READER/surface/stationpt.html>.

*Український науково-дослідний  
гідрометеорологічний інститут, Київ*

## **Мартазинова В.Ф., Клок С.В.**

### **Современное и будущее состояние среднегодовой температуры воздуха северной части Антарктического полуострова Западного сектора Антарктиды**

Проведен анализ температуры воздуха на антарктических станциях Оркадас, Беллинсгаузен и Эсперанса за весь период наблюдений, в результате этого выявлена характерность ее распределения по разным станциям. С использованием статистической модели были получены интересные результаты по прогнозу приземной температуры на ближайшие десятилетия.

**Ключевые слова:** Антарктида, Украинская антарктическая станция, глобальное потепление, статистическая модель, температура.

**Martazinova V.F, Klock S.V.**

**The current and future state of the mean annual temperature of the northern Antarctic Peninsula in West sector Antarctica**

The analysis of dynamics of temperature of air at the Antarctic stations Orcadas, Bellingshausen and Esperanza for all period of supervision is lead. As result of this analysis, specificity of her distribution on different stations is revealed. Using a statistical model obtained interesting results forecast temperature for the next decade.

**Keywords:** Antarctica, Ukraine Antarctic station, Global Warming, the statistic model, air temperature.