

УДК 551.581

ВИКОРИСТАННЯ ВЗАЄМНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНКИ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ВОЛОГОВМІСТУ ТА ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ АНТАРКТИЧНОГО ПОВІТРЯ

*Прокоф'єв О.М.**Одеський державний екологічний університет*

Подано результати дослідження взаємозв'язку вологовмісту та приземної температури антарктичного повітря. Вологовміст атмосфери розрахований методом О.О. Дроздова.

Для дослідження використані методи взаємного спектрального аналізу. Отримані статистичні оцінки взаємної спектральної щільності досліджуваних величин, виявлено та проаналізовано значущими періоди коливань.

Використання взаємного спектрального аналізу дозволило довести існування тісного кореляційного зв'язку між періодичними складовими в часових рядах середньомісячних значень вологовмісту та приземної температури антарктичного повітря. Виявлено, що для спектральної щільності середньомісячних значень вологовмісту та приземної температури повітря властиві річні, піврічні та сезонні коливання.

Ключові слова: Антарктида, вологовміст, температура повітря, спектральна щільність.

Постановка проблеми. Глобальні зміни клімату та їх регіональні особливості дедалі частіше привертають увагу вчених. Загально відомий факт, що в останні роки як Арктичний, так і Антарктичний регіони виявляють найбільші ознаки глобального потепління [1]. Як приклад можна навести Антарктичний півострів: він характеризується високими темпами потепління, які в декілька разів перевищують глобальне середнє значення [2]. З моменту початку систематичних спостережень на півострові фіксується швидкий ріст середньорічних температур (ст. Vernadsky – збільшення на 2,5°C) [3]. Посилення танення снігу та льоду може призвести до масштабних наслідків для оточуючого середовища та екосистем Антарктичного півострова [4;5]. Продовження потепління буде мати суттєві наслідки – відступання берегового льоду та скорочення снігового покриву призведе до оголення порід та багаторічних мерзлих ґрунтів. Скорочення площі морського льоду в районі Антарктичного півострова є ймовірною причиною різкої зміни балансу між основними споживачами фітопланктону – крилем та сальпами, що може вплинути на потенціал поглинання CO₂ в деяких частинах Південного океану [6; 7].

Найбільш достовірний матеріал для моніторингу клімату високих широт - температурно-вологості характеристики. Процеси вологообігу являють собою продукт загальних кліматоутворюючих факторів: радіації, циркуляції, властивостей підстильної поверхні [8]. Методи оцінок змін елементів екологічної системи (у тому числі й вологовмісту) дозволяють оцінити їх природні коливання в роки екстремальних ситуацій: мінімальної та максимальної льодовитості морів, крупних аномалій температури повітря, посушливих та перезволожених років. Невеликий вміст

водяної пари в полярній атмосфері, її нерівномірний просторово-часовий розподіл в умовах стійкої стратифікації має велике значення для формування потоків ефективного випромінювання та проти-випромінювання атмосфери, що в значному ступені визначає умови формування радіаційного клімату високих широт.

Відомо, що одним із важливих методів статистичного дослідження випадкових часових рядів, до яких належить приземна температура та вологовміст повітря, є спектральний аналіз. Він усебічно використовується в різних галузях науки та дозволяє детально визначити особливості розвитку атмосферних процесів, установити важливі взаємозв'язки між різними їх складовими.

Матеріали та методика досліджень. У статті використовуються середньомісячні значення приземної температури та вологовмісту антарктичного повітря за період з 1973 по 2010 рр. Вихідна інформація отримана з бази даних Вайомінського університету (www.uwyo.edu). Для проведення розрахунків вологовмісту використовувались дані радіозондування (відношення суміші) по 13 антарктичних станціях.

Вологовміст розраховувався за методом О.О. Дроздова [9]. Нижче наведена адаптована для Південної полярної області формула розрахунку вологовмісту атмосфери, який визначається з урахуванням даних на головних поверхах гПа:

$$W = \frac{1}{q_0} \int_{p_0}^p q dp$$

$$W = 10(0,150r_{850} + 0,175r_{700} + 0,10r_{500} + r_{300})$$

де W – вологовміст стовпа атмосфери в шарі 850-300 гПа, кг/м²;

r – відношення суміші, г/кг;

0,075; 0,150; 0,175; 0,10 – коефіцієнти, які характеризують частку маси атмосфери між головними поверхнями гПа для району Антарктиди.

Результати дослідження. Для виявлення характеристик енергетичного спектру приземної температури та характеристик вологості антарктичного повітря використовується алгоритм Фур'є-аналізу [10]. Для цього на ПЕОМ реалізовано алгоритм дослідження стосовно стаціонарних випадкових процесів. Це дало можливість отримати статистичні оцінки взаємної спектральної щільності середньомісячних значень вологовмісту шару 850-300 гПа антарктичного повітря [процес $X_i(t)$] та приземної температури повітря [процес $X_j(t)$], які мають дискретність 1 місяць. За даними проведених розрахунків побудовані графіки функцій: ко-спектра $S_{X_i X_j}(w)$ (рис. 1 а), квадратурного спектра $Q_{X_i X_j}(w)$ (рис. 1б), амплітудного спектра $A(w)=|S_{X_i X_j}(w)|$ (рис. 1в) та когерентності $y(w)$ (рис. 2а).

Як приклад наведені графіки функцій, які характеризують взаємозв'язок приземного вологовмісту та температури антарктичного повітря на ст. Bellingshausen (рис. 1-2).

Вірогідність статистичних оцінок взаємної спектральної щільності визначається по когерентності (яка являє собою спектральний коефіцієнт взаємної кореляції процесів $X_i(t)$ та $X_j(t)$) за умови $y(w) > 0,90$. За допомогою методики, яка викладена у [10], розраховані спектральні щільності середньомісячних значень вологовмісту шару 850-300 гПа та приземної температури антарктичного повітря (рис. 2б-2в, табл. 1).

Аналіз табл.1 показав, що в спектральній щільності як середньомісячних значень вологовмісту шару 850-300 гПа так і приземної температури повітря максимальні за амплітудою квазірічні (з періодом 10,7-11,6 місяця) та піврічні (з періодом 5,6-6,1 місяця) коливання [11;12].

Розрахунки когерентності дали змогу визначити статистичний зв'язок квазірічних та піврічних гармонік, наявних в обох процесах. Це дозволило порівняти взаємну енергію процесів $X_i(t)$ (вологовміст шару 850-300 гПа), та $X_j(t)$, (приземна температура повітря) на фіксованій частоті з енергією кожного з цих процесів на тій же частоті.

Визначений початок фази кожного процесу. Як показали розрахунки по станціях, для гармонік усіх періодів, взаємозв'язок спостерігається у фазі з незначним (менше «частоти Найквіста», яка дорівнює подвійному інтервалу дискретності [10]) випередженням процесу $X_i(t)$ (характеризує

вологовміст шару 850-300 гПа), відносно процесу $X_j(t)$, (характеризує температуру повітря). Це свідчить про наявність крупномасштабного процесу, який одночасно впливає на зміну і приземної температури, і вологовмісту антарктичного повітря.

Висновки. Використання взаємного спектрального аналізу дозволило довести існування тісного кореляційного зв'язку між періодичними складовими в часових рядах середньомісячних значень вологовмісту шару 850-300 гПа та приземної температури антарктичного повітря

За допомогою взаємного спектрального аналізу виявлено, що для спектральної щільності середньомісячних значень вологовмісту та приземної температури повітря характерні річні, піврічні та сезонні коливання.

Розрахунки початку фази кожного процесу та його аналіз свідчать про наявність крупномасштабного процесу, який одночасно впливає на зміну і приземної температури, і вологовмісту антарктичного повітря.

Одержані результати щодо взаємозв'язку вологовмісту та приземної температури антарктичного повітря викликають безумовний науковий інтерес з точки зору моніторингу сучасного кліматичного стану високих широт Південної півкулі та можуть бути використані для прогнозу майбутніх кліматичних змін.

Список літератури

1. Convey P. Antarctic climate change and the environment / P. Convey [et al.] // *Antarctic Science*. – 2009. – V. 21, № 06. – P. 541-563.
2. Vaughan D.G. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula / D.G. Vaughan [et al.] // *Climatic change*. – 2003. – V. 60, № 3. – P. 243-274.
3. Мартазинова В.Ф. Климатический режим ст. Академик Вернадский / В.Ф. Мартазинова, В.Е. Тимофеев, Е.К. Иванова // III міжнародний полярний рік 2007–2008: результати та перспективи. IV Міжн. Антарктична конф., 12-14 трав. 2009р.: тез. допов. – Київ, 2009. – С. 72-74.
4. Cook A.J. Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century / A.J. Cook [et al.] // *Science*. – 2005. – V. 308. – № 5721. – P. 541-544.
5. Orr J.C. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms / J.C. Orr [et al.] // *Nature*. – 2005. – V. 437, № 7059. – P. 681-686.
6. Данова Т.Е. Статистические характеристики приземной температуры воздуха прибрежных станций Антарктиды и Антарктического полуострова / Т.Е. Данова, О.М. Прокофьев // *Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей*. – 2009. – №1. – С. 189-196.
7. Clarke A. Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula / A. Clarke [et al.] // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*:

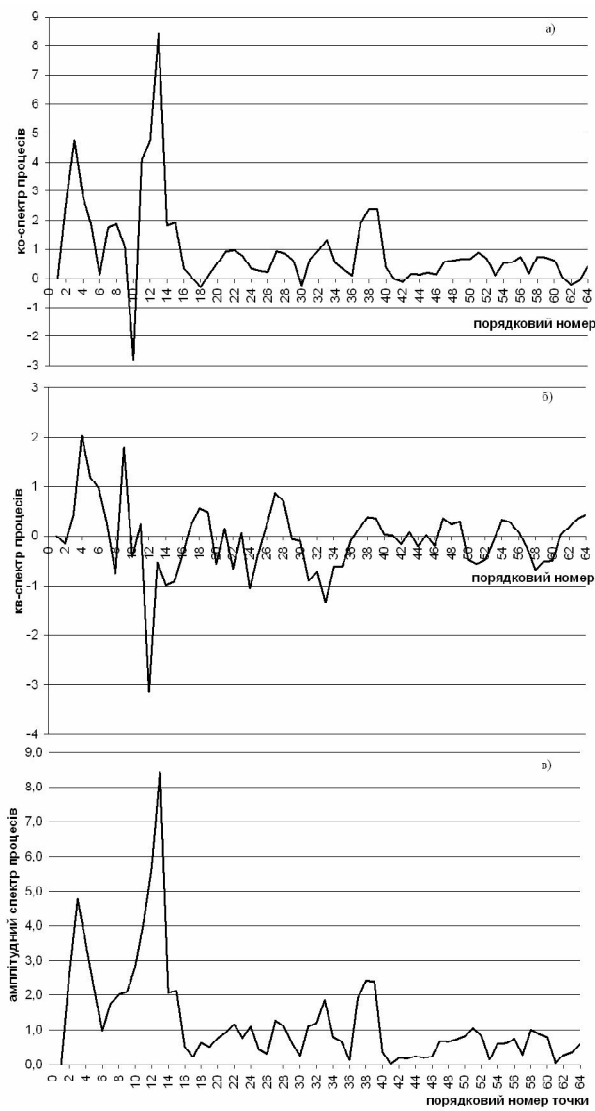


Рис. 1 Ко-спектр (а), кв-спектр (б), амплітудний спектр (в) середньомісячних значень вологовмісту та середньомісячних значень приземної температури повітря (ст. Bellingshausen)

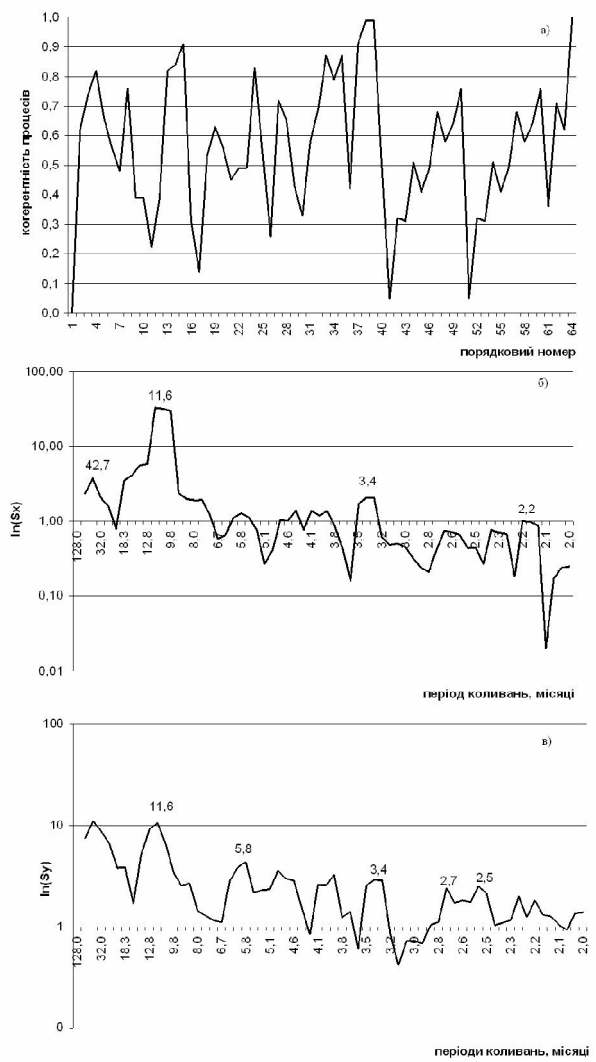


Рис. 2 Когерентність (а), спектрограми середньомісячних значень вологовмісту (б) та приземної температури повітря (в) (ст. Bellingshausen)

Biological Sciences. –2007. –V. 362, №. 1477. –P. 149-166.
 8. Циркуляция атмосферы в Антарктике в конце XX – начале XXI веков / Н.К. Кононова [и др.] // Материалы гляциологических исследований. – 2007. – Т. 103. – С. 142-147.
 9. Дроздов О.А. Влагодобор в атмосфере / О.А. Дроздов, А.С. Григорьева. – Л.: Гидрометеоздат, 1963. – 315 с.
 10. Гончарова Л.Д. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ): навчальний посібник / Л.Д. Гончарова, Є.П. Шкільний. – Одеса: Екологія, 2007. – 454 с.

11. Прокоф'єв О.М. Вологовміст тропосфери над Антарктидою / О.М. Прокоф'єв // Матеріали конференції молодих вчених ОДЕКУ. – Одеса: ОДЕКУ, 2011. – С. 143-144.
 12. Danova T. Description of temperature and regime of humidity of troposphere above Antarctic Continent / T. Danova, O. Prokofev // Тези доповідей міжнародної антарктичної конференції ІАС2008: “Україна в Антарктиці – національні пріоритети і глобальна інтеграція”. – Київ, 2008. – С. 77.

Прокоф'єв О.М. Использование взаимного спектрального анализа для оценки взаимосвязи влагосодержания и приземной температуры антарктического воздуха. В работе представлены результаты исследования взаимосвязи влагосодержания и приземной температуры антарктического воздуха. Влагосодержание атмосферы рассчитывалось по методу О.А. Дроздова.

Для исследования использовались методы взаимного спектрального анализа. Получены статистические оценки взаимной спектральной плотности исследуемых величин, выявлены и проанализированы значимые периоды колебаний.

**Статистичні оцінки взаємної спектральної щільності вологовмісту
та приземної температури повітря станцій Антарктиди**

№ з/п	$S_{x_i}(\omega)$	$S_{x_j}(\omega)$	$A(\omega)$	$C_{x_i x_j}(\omega)$	$Q_{x_i x_j}(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$T_k, i^3 \ddot{H}$	$\psi_{xy}(\omega),$ град.
Bellingshausen								
15	1,99	2,72	2,12	1,92	-0,91	0,91	8,5	334,60
37	1,72	2,58	1,92	1,91	0,16	0,91	3,5	4,80
Neumayer								
7	6,57	381,89	49,81	48,88	9,60	0,99	9,1	11,10
13	0,80	51,20	6,06	5,68	2,12	0,95	4,9	20,50
Sanae								
12	11,04	283,51	55,27	55,22	2,33	0,99	10,7	2,42
36	0,24	3,52	0,91	0,75	0,51	0,99	3,6	34,23
Halley								
12	10,78	1209,73	113,72	109,51	30,64	1,00	10,7	15,64
23	0,89	91,03	8,60	8,22	2,54	0,96	5,6	17,18
McMurdo								
12	8,02	1130,13	93,84	92,65	14,91	0,99	10,7	9,15
23	1,31	182,65	15,03	11,78	9,34	0,97	5,6	38,43
Casey								
22	20,81	962,45	137,52	131,75	39,43	0,97	11,6	16,67
43	4,89	110,44	22,32	21,64	5,45	0,96	6,0	14,14
Mirny								
22	38,79	799,00	175,06	170,66	39,00	0,99	11,6	12,90
43	6,57	127,58	28,76	28,57	3,33	0,99	6,0	6,70
Dumont d'Urville								
22	19,57	1222,38	153,67	146,40	46,72	0,99	11,6	17,71
43	5,75	108,81	24,95	21,22	13,12	1,00	6,0	31,74
Mawson								
12	13,06	565,60	85,50	83,84	16,75	0,99	10,7	11,30
23	2,31	96,29	14,76	14,09	4,40	0,99	5,6	17,35
Molodezhnaya								
12	23,80	547,03	113,98	112,82	16,24	1,00	10,7	8,20
23	2,43	49,40	10,59	8,95	5,67	0,97	5,6	32,37
Davis								
11	13,54	657,36	94,17	92,33	18,53	1,00	11,6	11,35
23	3,05	100,66	17,36	16,12	6,44	0,99	5,6	21,79
Novolazarevskaya								
12	18,58	581,43	103,72	103,52	6,47	1,00	10,7	3,58
21	3,15	50,62	12,26	11,46	4,35	0,97	6,1	20,80
Amundsen Scott								
22	0,30	43,58	3,34	2,96	1,55	0,92	11,6	27,65
42	0,04	1,72	0,22	0,19	0,12	0,92	6,1	32,29

Использование взаимного спектрального анализа позволило доказать существование тесной корреляционной зависимости между периодическими составляющими во временных рядах среднемесячных значений влагосодержания и приземной температуры воздуха. Выявлено, что для спектральной плотности среднемесячных значений влагосодержания и приземной температуры свойственны годовые, полугодовые и сезонные колебания.

Ключевые слова: Антарктида, влагосодержание, температура воздуха, спектральная плотность.

Prokofiev O. Using a cross-spectral analysis to estimate interaction of moisture content and surface air temperature in the Anrartica. In the contribution the results of studies on the relationship of moisture content and surface temperature of the Antarctic air are presented. Atmospheric moisture content was calculated by the method of O. A. Drozdov.

In the investigation the methods of a cross-spectral analysis are used. Statistical characteristics of a cross-spectral density of parameters under study are identified and analyzed by mean of significant oscillation periods.

Using cross-spectral analysis made it to be possible to prove the existence of the close correlation between the periodic component in the temporal series of monthly averages of the moisture content and the average monthly values of surface temperature. It is revealed that for the spectral density of monthly averages of surface air temperature and moisture content the annual, semi-annual and seasonal oscillations of characteristics are intrinsic.

Key words: Antarctica, moisture content, temperature, spectral density