

## АНАЛІЗ РЕЖИМУ ХМАРНОСТІ АНТАРКТИДИ

Розглядається загальна хмарність Антарктиди, хмарність нижнього ярусу та відношення середньої кількості хмар нижнього ярусу до загальної кількості хмар. З'ясований просторово-часовий розподіл загальної хмарності та хмарності нижнього ярусу. Найбільша кількість хмарності характерна для станції *Bellingshausen*, яка знаходиться на шляху переміщення циклонів Східно-Тихоокеанської та Південно-Американської гілок. Показана сучасна динаміка кількості хмарності різних ярусів.

**Ключові слова:** загальна хмарність, хмарність нижнього ярусу, Антарктида

**О.М. Прокоф'єв. АНАЛІЗ РЕЖИМА ОБЛАЧНОСТІ АНТАРКТИДИ.** Рассматривается общая облачность Антарктиды, облачность нижнего яруса и отношение среднего количества облаков нижнего яруса к общему количеству облаков. Выясненное пространственно-временное распределение общей облачности и облачности нижнего яруса. Наибольшее количество облачности характерна для станции *Bellingshausen*, которая находится на пути перемещения циклонов Восточно-Тихоокеанской и Южно-Американской ветвей. Показанная современная динамика количества облачности разных ярусов.

**Ключевые слова:** общая облачность, облачность нижнего яруса, Антарктида.

**Постановка проблеми.** Антарктичний лід представляє собою куполоподібний льодовик, який покриває відносно рівне ложе, тому його ще називають льодовиковим щитом з товщиною приблизно 1000 м, в деяких районах Антарктиди до 4000 м. Для утворення купольного льодовика необхідне поєднання певних кліматичних умов та рельєфу, при яких на окремих ділянках річні кількість твердих опадів, які відкладаються з урахуванням вітрового снігопереносу та снігових лавин, перевищують зменшення за рахунок танення та випаровування [1, 2]. Інакше кажучи, льодовиковий купол, яким являється Антарктида, утворився за рахунок акумуляції твердих опадів протягом тривалого періоду. За оцінками багатьох кліматологів цей період тривав від 17 до 35 млн. років. Відомо, що останні перетворення на льодовиковому куполі відбувалися 5 млн. років тому, і вже приблизно 2 млн. років він практично не змінює свої масу та форму [3, 4]. Протягом цього часу відбувалися зміни поширювання країв льодовика внаслідок танення, пов'язаного з кліматичними змінами. Можна припустити, що температурні флуктуації можуть призвести до змін системи снігонакопичення на материк [5-7].

Безумовно, накопичення твердих опадів в Антарктиді пов'язане з формуванням хмарності, циркулярний пояс максимальної хмарності, як за місячними, так і за сезонними даними, знаходиться помітно на північ від поясу мінімального атмосферного тиску на рівні моря та на південь від поясу найсильніших західних вітрів [4]. Головним завданням цієї статті є оцінка кількості опадів та їх просторово-часового розподілу на Антарктичному материк.

**Матеріали та методика досліджень.** Для виявлення характерних тенденцій, властивих режиму хмарності Антарктичного материка, з якою пов'язані всі атмосферні опади, викорис-

товувалися дані про загальну хмарність та хмарність нижнього ярусу на 7 російських станціях за період 1973-2010рр. [8]. Всі середньорічні багаторічні ряди були проаналізовані для виявлення прихованих періодичностей. Результати цього аналізу використовувалися при згладжуванні осереднених рядів. Виявлення прихованих періодичностей проводилося за допомогою інтегрального перетворення Фур'є у вікні Гіббса з імовірністю 68% [9]. Приховані періодичності були виявлені для кожної станції окремо, оскільки осереднений ряд не може достовірно характеризувати окремо взятий район Антарктичного материка.

На метеорологічних станціях одночасно ведуться спостереження як за загальною кількістю хмар  $N$ , так і за кількістю хмар нижнього ярусу  $N_H$ . Значення  $N_H$  вказується і в синоптичних телеграмах, оскільки воно має першорядне значення для роботи авіації – для діагностування та прогнозу умов зльоту і посадки. На жаль, за рубежом в кліматологічних довідниках досить рідко вказується значення  $N_H$ , хоча спостереження за  $N_H$  ведуться скрізь. Тому в роботі аналізується також відношення середньої кількості хмар нижнього ярусу до середньої загальної кількості хмар:  $S = \frac{\bar{N}_H}{\bar{N}}$ .

**Результати дослідження.** Для загальної хмарності, яка спостерігається на станціях Антарктичного материка, найбільш характерні періоди коливань – 2; 3,5; 4 і 5 років, причому, чим меншу південну широту має станція, тим більший період коливань для неї характерний (ст. Mirny та *Bellingshausen*), для нижньої хмарності найбільш характерні трирічні періоди коливань. Розраховані періоди коливань були використані при побудові згладжених рядів. На рисунку 1 представлена сезонна мінливість кількості нижньої хмарності (рис. 1, а) та загаль-

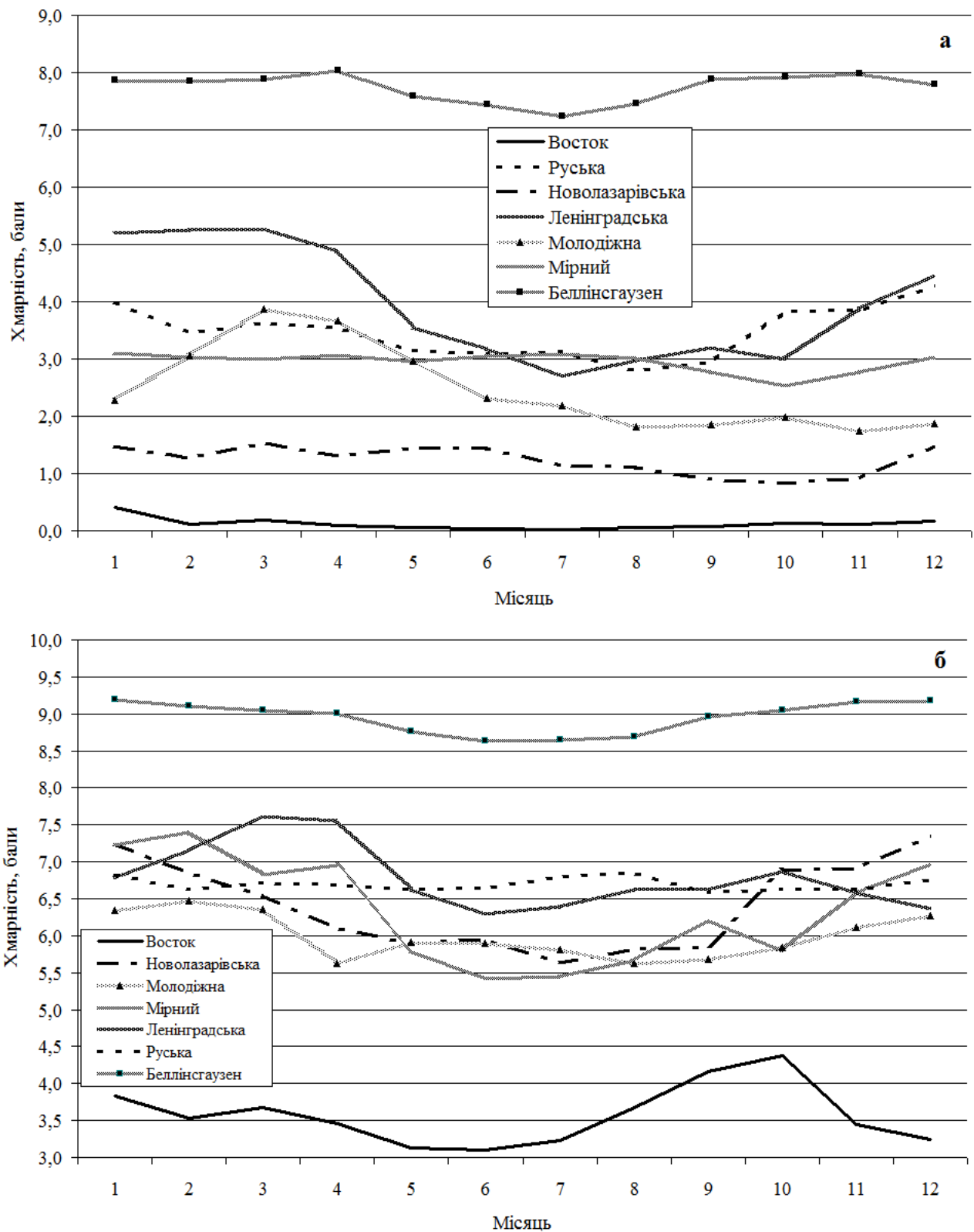
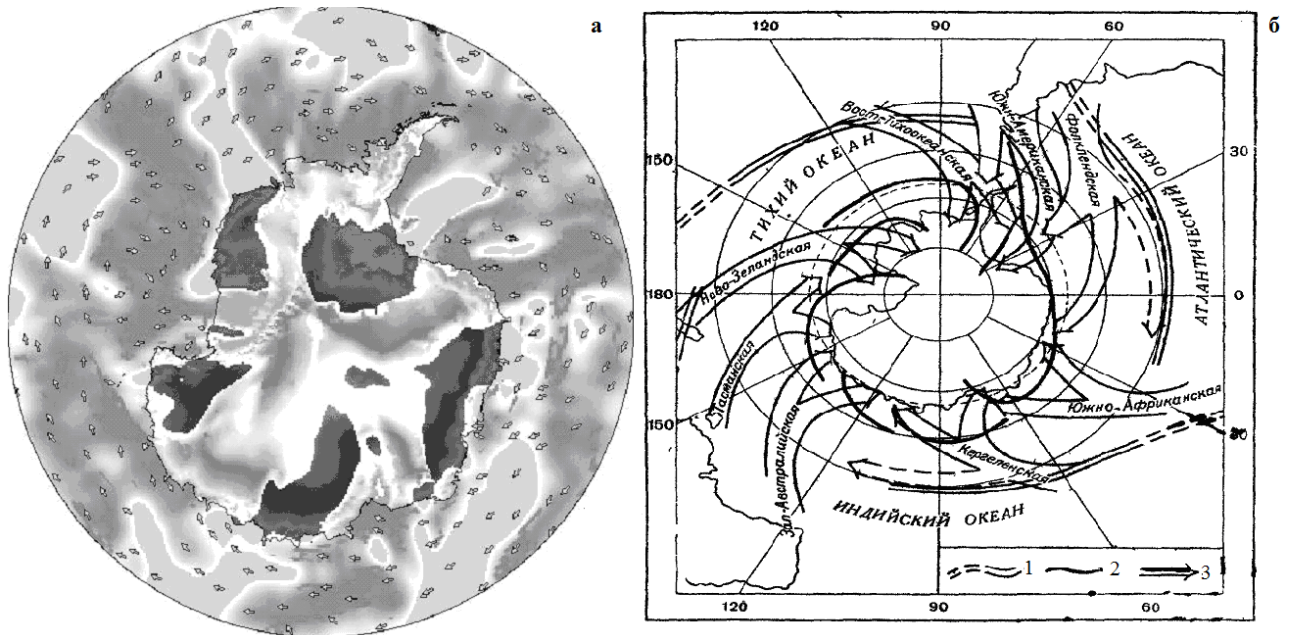


Рис. 1. Сезонна мінливість середньомісячної кількості нижньої (а) загальної (б) хмарності (бали) на досліджених станціях.



- 1 – полярний фронт;
- 2 – Антарктичний фронт;
- 3 – меридіональні траєкторії циклонів;

Рис. 2. Поле хмарності (а) та шляхи переміщення циклонів (літній період) в Антарктиці (б) (за П.Д. Астапенко).

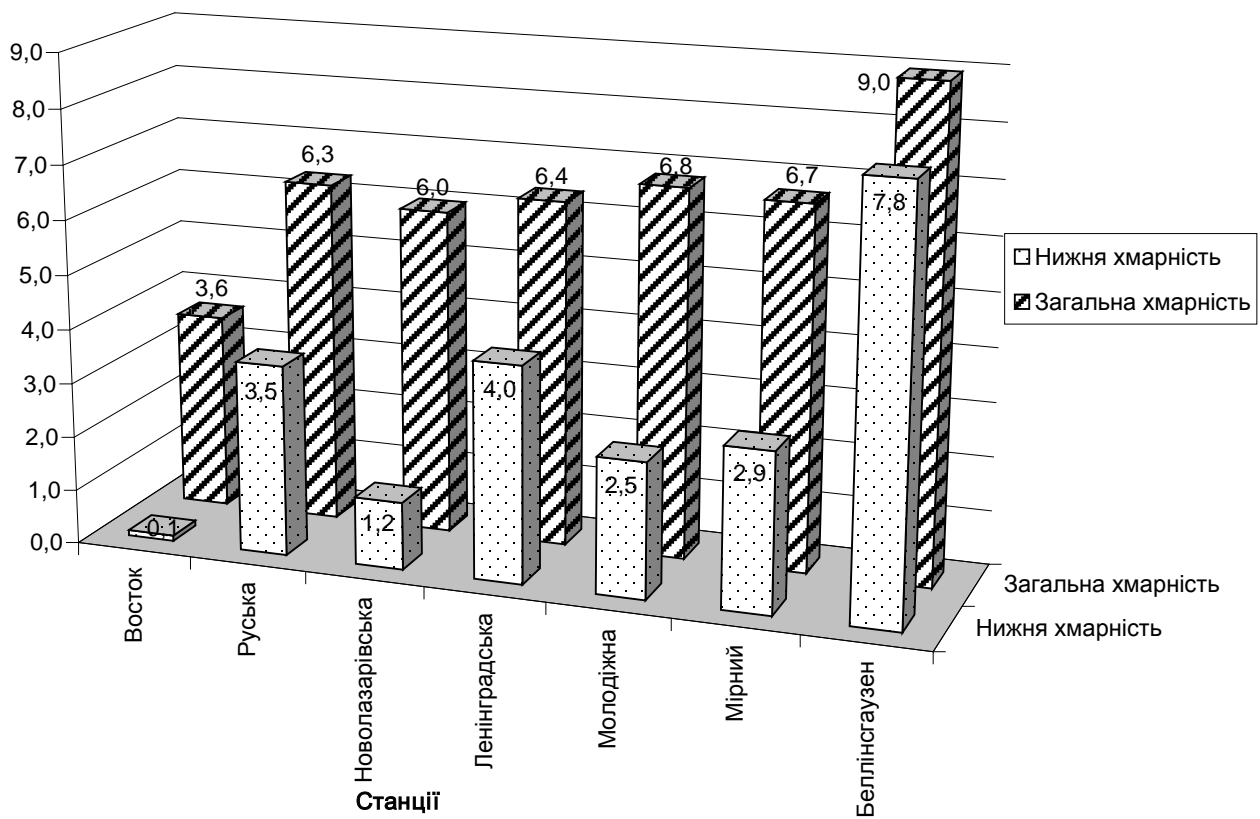


Рис. 3. Діаграма середньорічної кількості загальної і нижньої хмарності на досліджених станціях Антарктиди

ної хмарності (рис. 1, б) для досліджуваних станцій в балах. Як бачимо, для хмарності властивий виражений сезонний хід: з максимумами в літній та перехідні сезони та з мінімумами – взимку (з травня по серпень).

Мінімальними значеннями як хмарності нижнього ярусу так й загальної хмарності характеризується станція Vostok, що знаходиться на Антарктичному плато (цей район характеризується мінімальними значеннями вологовмісту в атмосфері), а максимальними – станція Bellingshausen, яка знаходиться на острові, поблизу північної частини Антарктичного півострова та знаходиться на шляху переміщення циклонів Східно-Тихоокеанської та Південно-Американської гілок, які є причиною великої кількості хмар в даному прибережному районі (рис. 2).

Для аналізу нижньої хмарності також велике значення має режим вітру, відомо, що станція Novolazarevskaya знаходиться в зоні сильних стокових вітрів, мабуть, саме це призводить до низьких показників нижньої хмарності. Аналіз отриманих результатів показав, що на всіх станціях за досліджений період зменшення або збільшення кількості загальної хмарності (бали) носить плямистий характер.

Проведемо порівняльний аналіз середньорічної кількості загальної та нижньої хмарності представлений на рисунку 3.

Максимальні значення загальної та нижньої хмарності характерні для станцій Bellingshausen, Leningradskaja та Russkaya, саме на цих станціях спостерігається максимальна кількість опадів. Більш різке розмежування досліджуваних станцій Антарктичного материка спостерігається за середньорічною кількістю нижньої хмарності. Максимум середньорічної кількості нижньої хмарності спостерігається на ст. Bellingshausen – близько 8 балів, а мінімум кількості нижньої хмарності, як і будь-якої іншої, характерний для ст. Vostok (від 0 до 1 бала).

Досить високі значення середньорічної кількості нижньої хмарності, що спостерігається на станціях Leningradskaja та Russkaya пояснюються впливом циклонів Новозеландської, Західно-Австралійської і Тасманської гілок. Як бачимо, географічне положення досліджуваних станцій та їх кліматичні характеристики безумовно впливають на співвідношення кількості загальної і нижньої хмарності.

Так, наприклад, на станції Bellingshausen, практично вся спостережувана хмарність відноситься до нижнього ярусу, що, безумовно, є результатом впливу морського клімату та збільшеного вологовмісту повітря. На решті станцій основна частка хмарності, що спостеріга-

ється, відноситься до середнього та верхнього ярусів, з якими пов'язана найменша частина опадів. Особливо яскраво це помітно при порівнянні кількості загальної та нижньої хмарності на станціях Vostok, Novolazarevskaya, Molodezhnaya і Mirny. Частина з цих станцій відноситься до станцій, що знаходяться в зоні дії стокових вітрів.

Аналіз динаміки кількості хмарності показав, що зменшення кількості загальної хмарності виділяється на станціях Vostok (-1,0), Leningradskaja (-1,5) та Molodezhnaya (-0,6), а на всій решті станцій – Russkaya, Novolazarevskaya, Mirny і Bellingshausen спостерігається зростання кількості загальної хмарності. Максимальне зростання кількості загальної хмарності спостерігається на станції Novolazarevskaya (табл. 1).

Відмітимо, що за досліджений період збільшення кількості нижньої хмарності спостерігається тільки на станціях Bellingshausen і Novolazarevskaya, а на всій решті станцій фіксується зменшення кількості нижньої хмарності. Зміна кількості нижньої хмарності (бали) також носить плямистий характер. Зменшення кількості нижньої хмарності спостерігається на станціях Vostok (-0,5) та Leningradskaja (-2,0), Molodezhnaya (-0,2), Russkaya (-2,5), Mirny (-0,1) а на станціях – Bellingshausen, Novolazarevskaya, спостерігається зростання кількості нижньої хмарності. Причому, максимальне зростання кількості нижньої хмарності спостерігається на станції Novolazarevskaya (+0,5). Таким чином, виявлена плямистість в розподілі змін кількості хмарності різних ярусів, очевидно, залежить від динаміки температурно-вологісного режиму.

Далі, проаналізуємо розрахунки  $S = \frac{\bar{N}_n}{\bar{N}}$

для досліджуваних станцій Антарктичного материка, які представлені в таблиці 2. Так, на станції Bellingshausen, для якої характерні риси морського клімату, значення  $S$  загалом великі (більше 0,84), що вказує на велику повторюваність хмарності нижнього ярусу. Величина  $S$  досягає максимуму (середнє місячне значення  $S$  на станції Bellingshausen досягає 0,89) в кінці осені або на початку Антарктичної зими. Так само великими значеннями  $S$  характеризуються станції Leningradskaja (від 0,50 в центральний місяць зими – липень, до 0,77 – в березні – місяць перехідного сезону) та Russkaya (від 0,48 – зимовий місяць серпень і до 0,58 – в період літнього та перехідного сезону). Обидві ці станції знаходяться під впливом циклонів Новозеландської, Західно-Австралійської і Тасманської гілок. Мінімум  $S$

Таблиця 1

Періоди коливань і характеристики трендів кількості хмарності на досліджуваних станціях Антарктичного материка

Станції	Vostok	Russkaya	Novolazarevskaya	Leningradskaja	Molodezhnaya	Mirny	Bellingshausen
Загальна хмарність							
Періоди коливань, роки	1,9	2,1	3,7	3,4	2,5	4,0	4,9
Характеристика трендів	-1,0	+0,4	+0,7	-1,5	-0,6	+0,4	+0,2
Хмарність нижнього ярусу							
Періоди коливань, роки	4,2	3,3	3,3	1,8	2,7	3,1	3,2
Характеристика трендів	-0,5	-2,5	+0,5	-2,0	-0,2	-0,1	+0,1

Таблиця 2

Відношення  $S$  (%) середньої кількості нижньої до загальної хмарності над досліджуваними станціями Антарктичного материка

Станції	Місяць												Рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vostok	11	3	5	3	2	1	0	2	2	3	3	5	3
Russkaya	55	50	56	58	53	52	55	48	50	56	56	58	51
Novolazarevskaya	23	20	24	23	24	24	20	20	16	14	15	24	21
Leningradskaja	72	71	77	70	61	59	50	53	52	52	59	64	63
Molodezhnaya	34	43	51	49	45	37	34	27	28	29	26	29	37
Mirny	46	46	45	46	45	46	45	44	42	38	42	45	44
Bellingshausen	86	86	87	89	87	86	84	86	88	88	87	85	87

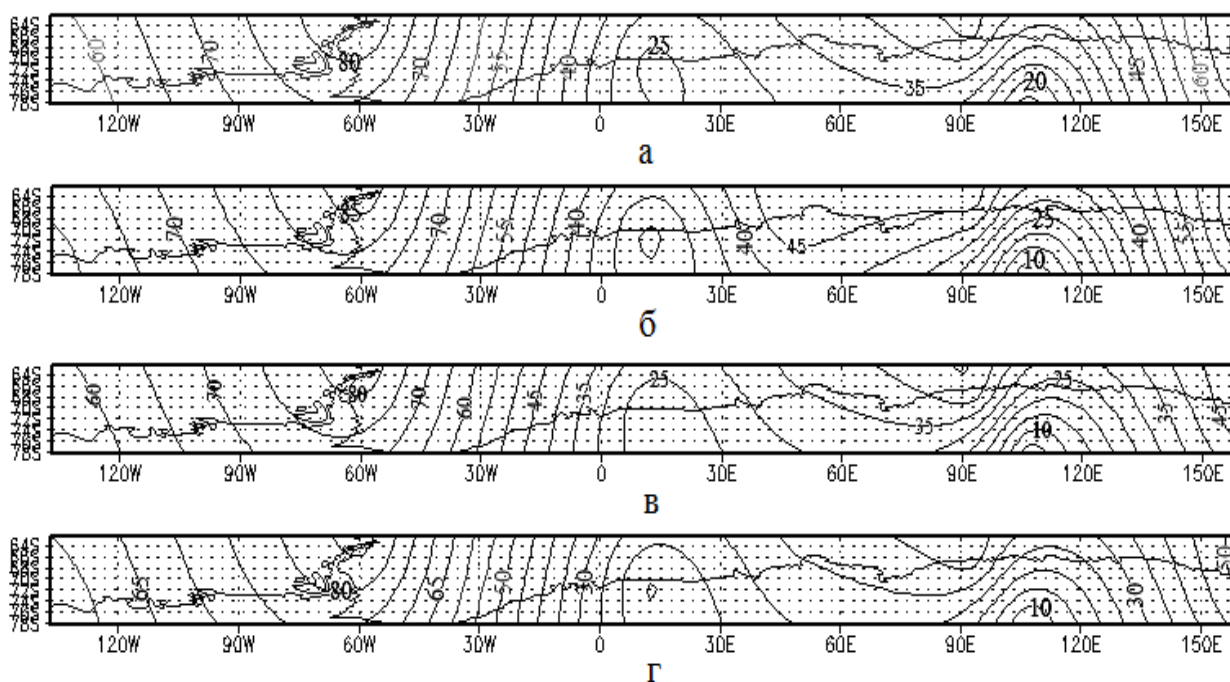


Рис. 3. Просторовий розподіл відношення  $S$  (%): а) січень, б) квітень, в) липень, г) жовтень.

спостерігається в липні, на купольній станції Vostok. Проте, сезонні відмінності  $S$  на купольній станції Vostok невеликі (0,00-0,11).

Результати розрахунків були візуалізовані та представлені у вигляді карт відношення  $S$  (%) середньої кількості нижньої до загальної хмарності над досліджуваними станціями Антарктиди. Нижче наведені карти просторового розподілу відношення  $S$  (%) для центральних місяців року (рис. 4). Аналіз рисунку показав, що сезонна мінливість дуже слабка: максимальні значення  $S$  (%) характерні для Антарктичного півострова, а мінімальними характеризується район Антарктичного плато та Східна Антарктида.

Практично всі статистичні дані повинні розглядатися з умовою обов'язково урахування можливого впливу вітру, локальних умов на місцевості та особливостей рельєфу поверхні.

Тому, в даній роботі виділили додаткову зону – зона стокових вітрів, оскільки вона характеризується специфічними кліматичними характеристиками. Яскравим прикладом необхідності подібного розподілу служить станція Novolazarevskaya, де, не дивлячись на постійну дію циклонів Фолклендської гілки спостерігається зовсім мала кількість хмарності нижнього ярусу. Причина цього криється в специфічних вітрових характеристиках даної станції – в наявності тут стокових вітрів.

**Висновки.** Накопичення твердих опадів на материк пов'язане з формуванням хмарності,

для якої характерна сезонна мінливість, для нижньої хмарності ця характеристика виражена більш яскраво. Максимальні значення хмарності, як загальної так і нижньої, характерні для станції Bellingshausen, яка знаходиться на шляху переміщення циклонів Східно-Тихоокеанської та Південно-Американської гілок. Крім того, виявлена плямистість в розподілі змін кількості хмарності різних ярусів, очевидно, залежить від динаміки температурно-вологісного режиму.

Мінімальними значеннями як загальної, так хмарності нижнього ярусу характеризується Антарктичне плато, а максимальними – Антарктичний півострів. Дослідження просторового розподілу відношення середньої кількості хмар нижнього ярусу до загальної кількості хмар  $S$  (%) дозволило виявити, що сезонна мінливість  $S$  (%) дуже слабка: максимальні значення характерні для Антарктичного півострова, для яких характерні риси морського клімату а мінімальними характеризується район Антарктичного плато та Східна Антарктида.

Одержані результати про динаміку кількості опадів та просторово-часовий розподіл хмарності як загальної, так хмарності нижнього ярусу являються необхідними для моніторингу сучасних кліматичних змін, які відбуваються в Південній півкулі. В подальшому необхідно оцінити динаміку режиму опадів на Антарктичному материк.

#### Література

1. Войтковский К.Ф. Основы гляциологии. М.: Наука, 1999. – 256с.
2. Гляциологический словарь /Под ред. В.М. Котлякова/ Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 247с.
3. Котляков В.М. Криосфера и климат. «Экология и жизнь» №11, 2010. – С. 51-59.
4. Климат полярных районов. Под ред. Орвиг С. Л.; Гидрометеоиздат, 1973. – 444с.
5. Kukla G. Snow cover and climate // *Glaciol. Data (Snow Watch 1980)*. 1981. № 11. P. 27–29.
6. T. Danova, O. Prokofev Description of temperature and regime of humidity of troposphere above Antarctic Continent // Матеріали Міжнародної антарктичної конференції IAC2008 "Україна в Антарктиці - національні пріоритети і глобальна інтеграція" 23-25 травня 2008 року, м. Київ, Україна. – С. 77
7. Данова Т.Е., Прокофьев О.М. Динамика температуры воздуха тропосферы прибрежных станций Антарктиды // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2009. – вип. 5, – С. 107-112.
8. База данных ААНИИ [Электронный ресурс] URL: <http://www.aari.ru> (дата звернення: 15.01.2013).
9. Гончарова Л. Д., Школьний Є. П. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації: Навчальний посібник //Одеса: Екологія. – 2007. – 454с.