

УДК 551.55

## ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА УКРАЇНСЬКІЙ АНТАРКТИЧНІЙ СТАНЦІЇ АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ

Клок С.В.

*Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, пр. Науки, 37, м. Київ*

**Анотація.** Проаналізовано результати вимірювань атмосферних опадів на Українській антарктичній станції Академік Вернадський. Проведено порівняльний аналіз цих даних із середньостатистичними даними та даними розрахунків по результатах спостереження за снігонакопиченням і запасами вологи в снігу в даному районі. Отримані результати свідчать про істотні втрати при прямих вимірюваннях опадів на станції. Запропоновано можливі підходи до вирішення даної проблеми.

### **Особенности измерения атмосферных осадков на Украинской антарктической станции Академик Вернадский.** Клок С.В.

**Аннотация.** Проанализированы результаты измерений атмосферных осадков на Украинской антарктической станции Академик Вернадский. Проведен сравнительный анализ этих данных со среднестатистическими данными, а также данными расчетов по результатам наблюдения за накоплением снега и запасами влаги в снегу в данном районе. Полученные результаты свидетельствуют о существенных потерях при прямых измерениях осадков на станции. Предложены возможные подходы к решению данной проблемы.

### **Features of measurement of an atmospheric precipitation at the Ukrainian Antarctic station Academician Vernadsky.** Klok S.V.

**Abstract.** Results of measurements of atmospheric precipitation at the Ukrainian Antarctic station Academician Vernadsky are analyzed. The comparative analysis of these data from average, and also by data of calculations by results of supervision over accumulation of a snow and a stock of a moisture in a snow in the given area is lead. The received results testify to essential losses at direct measurements of deposits at station. Possible approaches on elimination of the given problem are offered.

**Keywords:** Ukrainian Antarctic Academician Vernadsky station, atmospheric precipitation, weather phenomena, snow depth, water equivalent

### **Вступ**

Відомо [7, 8, 9], що будь-який вид інформації повинен відповідати певним вимогам, в іншому випадку втрачаються необхідність і доцільність її одержання у зв'язку з неможливістю подальшого використання. Своєю чергою, гідрометеорологічні дані повинні відповідати наступним критеріям: вірогідність, точність, однорідність, репрезентативність і т.д. Додержання їх зводиться, в цілому, до організації роботи метеорологічного підрозділу відповідно до вимог керівних документів, підвищення якості спостережень (тобто вдосконалення засобів і методик їхнього проведення) і т.д. [13].

Природно, глибоке і науково обґрунтоване дослідження можливе лише за наявності надійного вихідного матеріалу. При вивченні опадів такими даними є середні багаторічні

значення їхньої кількості, а також інших характеристик, обчислення яких і визначення точності отриманих середніх являють собою аж ніяк не просте завдання. Одним з етапів вивчення метеорологічної величини є складання кліматологічних карт, які дозволяють у найбільш стислій формі одержати повне уявлення про просторове поле величини, в тому числі й атмосферних опадів. Проте навіть при максимально щільній мережі пунктів спостережень потрібне залучення непрямих способів обрахунку впливу різних факторів на кількість зібраних атмосферних опадів [1], і особливо це стосується територій з обмеженою щільністю пунктів спостережень (наприклад, Антарктида) [14].

## **2. Мета й використовувані дані**

Для кількісної оцінки атмосферних опадів у даній роботі проаналізовано результати їхніх прямих вимірів, отриманих на Українській антарктичній станції (УАС) Академік Вернадський [12]. З метою проведення порівняльного аналізу запас води в снігу розраховувався за результатами снігомірної зйомки на льодовику купола Домашній.

Крім того, в роботі використано дані спостережень за явищами погоди, швидкістю вітру та характеристиками снігового покриву, що проводились на УАС Академік Вернадський. Період спостережень за сніговим покриттям обмежений 1998–2008 роками, а тому всі розрахунки проведено в межах цього періоду.

## **3. Результати й обговорення**

### **3.1. Загальні проблеми вимірювання атмосферних опадів**

Атмосферні опади – основне джерело зволоження підстильної поверхні, саме тому від надійності визначення їхньої кількості залежить точність цілого ряду теоретичних розрахунків: водного балансу, зв'язку теплового та водного балансу діяльної поверхні і т.д. Дані про опади використовуються досить широко: з одного боку, це метеорологічний фактор, що формує середовище перебування людини; з іншого боку, можна розглядати негативні наслідки випадання атмосферних опадів в аспекті агресивності метеорологічного середовища в цілому [1].

Не менш необхідні ці дані для складання довгострокових прогнозів погоди. У синоптичній практиці переважна увага приділяється опадам, що зароджуються в хмарах, а тому їхній прогноз в основному зводиться до прогнозу відповідного виду хмарності.

#### **Класифікація опадів**

Відповідно до синоптичних і термодинамічних умов випадання опадів останні розподіляються на наступні основні типи: обложні (підтип: такі, що мрячать), зливові, змішані.

Формування обложних опадів пов'язане з великомасштабними вертикальними рухами повітря, обумовленими фронтальним чи орографічним підйомом або великомасштабною горизонтальною конвергенцією. Випадають вони, як правило, на великій площі з хмар Ns і As. Обложні опади характеризуються повільною зміною інтенсивності та тривалим випаданням (іноді до кількох діб).

Зливові опади утворюються в купчасто-дошових хмарах при мезомасштабній конвенції у нестійкому повітрі на висоті від 5 до 10 км. Випадають зазвичай із купчасто-дошових хмар (Cb), як правило, бувають інтенсивними й короткотерміновими.

Змішані опади обумовлені одночасною дією упорядкованих і конвективних рухів, частка яких залежно від виду опадів різна [1].

За фазовим станом атмосферні опади бувають рідкими, твердими та змішаними.

Незважаючи на те, що відслідковування кількості атмосферних опадів на конкретній території розпочалося досить давно, а кожне наступне узагальнення спричинялося перш за все

до збільшення набору характеристик режиму опадів і точності визначення, це питання залишається актуальним і дотепер. Неодноразово метеорологи і гляціологи відзначали, що прямі вимірювання кількості твердих атмосферних опадів (особливо в районах зі складними кліматичними умовами, наприклад, у гірських або полярних) ускладнюються внаслідок недосконалості методів і засобів виміру [2, 10, 16]. Очевидно, вирішення цього питання на даний момент часу має зводитись до перерахунку вимірної кількості опадів шляхом визначення погрішностей вимірювання. Однак якщо питання з коректуванням середніх багаторічних значень якоюсь мірою вирішене, то коректування кількості опадів у режимі поточних вимірів усе ще залишається складним завданням.

Основні погрішності вимірювання для опадоміра Третьякова:

- аеродинамічна (вітровий недооблік);
- втрати опадів на змочування внутрішньої поверхні опадонакопичувача, втрати за рахунок процесів випаровування й конденсації;
- «помилкові опади» [3, 4].

У районі розташування УАС Академік Вернадський (Антарктичний півострів) у зв'язку з активізацією циклонічної діяльності в холодний період року [17] вимірювання твердих опадів і констатація погрішностей, які спостерігаються при цьому, досить ускладнені. Аеродинамічна похибка та похибка, що виникає в результаті намітання в опадомір снігу, піднятого з поверхні снігового покриву при сильних заметілях, очевидні в період з квітня по листопад включно: в цю пору року значно підвищується швидкість вітру (середньомісячне значення перевищує 9 вузлів), внаслідок чого спостерігаються інтенсивні хуртовинні явища (мал. 1).

#### Середньостатистичні дані по атмосферних опадах

За даними [1, 2, 5, 10, 11], має місце різна оцінка кількості атмосферних опадів по

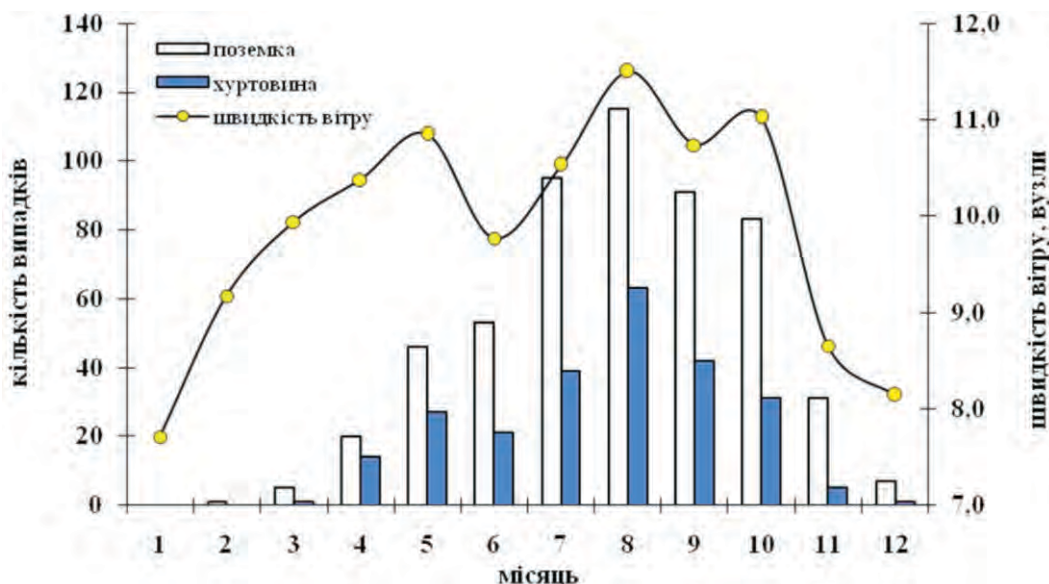


Рис. 1. Розподіл поземок і хуртовин по місяцях та середньомісячна швидкість вітру в районі УАС (період 1999–2008 рр.).

С.В. Клок: ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА УКРАЇНСЬКІЙ АНТАРКТИЧНІЙ...  
 регіонах Землі. Наприклад, у довіднику «Атмосфера» [1] розраховано їхнє річне значення по 10-градусних широтних поясах (табл. 1).

Таблиця 1

**Середня річна кількість опадів по широтних пояса**

В.Г. Аверьянов у [2] здійснює кліматичне районування Антарктики. Для Антарктичного півострова як одного з виділених районів він наводить такі цифри: за рік тут випадає від 600 до

Широта, °	Кількість опадів, мм	
	Північна півкуля	Південна півкуля
90 - 80	182	84
80 - 70	332	160
70 - 60	568	462
60 - 50	708	1885
50 - 40	642	1385
40 - 30	582	663
30 - 20	607	591
20 - 10	900	1124
10 - 0	1817	1935

1500 мм еквівалента рідких опадів. Зрозуміло, що це дані по досить великій території, а тому при зіставленні та кількісному узгодженні результатів дослідницьких і розрахункових робіт їх слід використовувати обережно.

**3.2. Аналіз результатів вимірювання атмосферних опадів на метеорологічному майданчику УАС Академік Вернадський**

Вимірювання кількості атмосферних опадів на УАС Академік Вернадський регулярно проводяться з 1998 року за допомогою опадоміра Третьякова, встановленого на метеорологічному майданчику (о. Галіндез, 65°14' пд.ш., 64°16' з.д.). Слід зазначити, що поняття «метеорологічний майданчик» у даному випадку має досить умовний характер, оскільки класичне місце, враховуючи орографічні особливості регіону, підібрати не представляється можливим. Виходячи з того, що опадомір установлено в місці, не захищеному від впливу вітру та прямих сонячних променів, у процесі вимірювання атмосферних опадів на УАС варто припустити можливість втрат, а також дію ефекту «помилкових опадів» [15].

Крім того, поряд з об'єктивними причинами можливого недообліку атмосферних опадів на станції, про які згадувалось вище, існують суб'єктивні, наприклад, така: зміна резервуару опадоміра відбувається два рази на добу (замість чотирьох).

До 1998 року англійці проводили збирання атмосферних опадів за допомогою снігонакопичувального колектора, розташованого на льодовику о. Галіндез, і перераховували їх кількість із застосуванням відповідного коефіцієнта. Однак зрозуміло, що цей пристрій не є вимірювальним приладом, а тому в даному випадку може йтися лише про використання отриманих даних для визначення загальної тенденції та відбору проб опадів на дослідження глобального поширення ізотопів у воді в рамках програми ІАЕА/ВМО [12].

**Кількість опадів, обмірюваних на УАС Академік Вернадський за допомогою опадоміра Третьякова, мм /1998–2008 рр./х**

Рік	Місяць												Сума
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>1998</b>	39,0	131,6	67,4	127,8	65,4	73,6	27,5	39,6	73,7	20,1	33,5	15,0	<b>714,2</b>
<b>1999</b>	73,3	46,7	119,0	97,8	38,1	36,2	49,3	36,2	34,8	31,0	43,7	54,9	<b>661</b>
<b>2000</b>	23,7	52,0	94,2	87,9	76,2	47,2	21,9	37,2	32,8	45,3	21,5	19,0	<b>558,9</b>
<b>2001</b>	17,6	3,1	41,2	61,8	31,8	26,6	18,8	82,1	58,9	66,7	42,7	64,3	<b>515,6</b>
<b>2002</b>	54,1	126,7	21,6	45,4	21,9	22,2	47,4	22,0	34,5	38,5	13,5	79,5	<b>527,3</b>
<b>2003</b>	15,0	85,7	71,3	71,0	42,0	32,1	60,5	98,1	67,9	41,0	13,0	5,2	<b>602,8</b>
<b>2004</b>	37,9	113,5	90,9	101,8	62,5	32,8	56,8	49,6	33,2	63,9	55,7	34,6	<b>733,2</b>
<b>2005</b>	62,1	133,4	71,0	48,4	23,5	26,5	26,8	44,5	29,4	73,5	19,7	23,1	<b>581,9</b>
<b>2006</b>	26,1	70,4	116,5	43,2	71,8	70,9	70,2	28,8	32,8	84,5	27,7	45,1	<b>688</b>
<b>2007</b>	31,9	50,6	48,8	21,0	34,4	5,9	10,3	38,6	74,9	27,9	43,0	41,5	<b>428,8</b>
<b>2008</b>	115,4	106,5	73,2	57,8	29,3	47,0	13,4	25,9	69,4	39,2	54,6	34,9	<b>666,6</b>
<b>Середня</b>	<b>45,1</b>	<b>83,7</b>	<b>74,1</b>	<b>69,4</b>	<b>45,2</b>	<b>38,3</b>	<b>36,6</b>	<b>45,7</b>	<b>49,3</b>	<b>48,3</b>	<b>33,5</b>	<b>37,9</b>	<b>607,1</b>

Згідно з даними прямих вимірів, за рік на УАС збирається в середньому 600 мм еквівалента рідких опадів (табл. 2).

Їхню річну динаміку демонструє мал. 2: представлені дані осереднені по місяцях, тому картина зглажена. Очевидним і цілком зрозумілим є факт того, що перший максимум опадів (лютий–квітень) значно переважає другий (серпень–жовтень) і являється наслідком істотної переваги в цей період рідкої їх фази (при значно менших швидкостях вітру – менше 9 вузлів), ніж у зимові місяці (мал. 1). Тобто в першому наближенні можна говорити про те, що в період з листопада по квітень кількість зібраних на станції опадів близька до фактичної, тоді як у серпні–жовтні спостерігається явний їх недобір. Підтвердженням цього є аналіз погодних умов досліджуваного району [12], а також кількість випадків та інтенсивність випадання опадів на станції (мал. 3). У 2007 році в районі УАС було встановлено сумарний опадомір. Результати вимірювань на ньому (перший рік – період з травня 2007 по травень 2008 року) дали кількість зібраних опадів, що дорівнювала 726-ти міліметрам еквівалента рідких опадів. За аналогічний період часу на опадомірі Третьякова зібрано 629 мм.

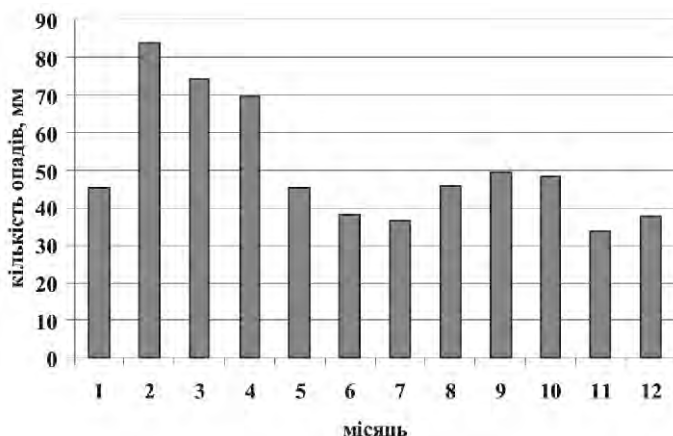


Рис. 2. Динаміка річного ходу кількості атмосферних опадів на УАС Академік Вернадський (1998–2008 рр.)



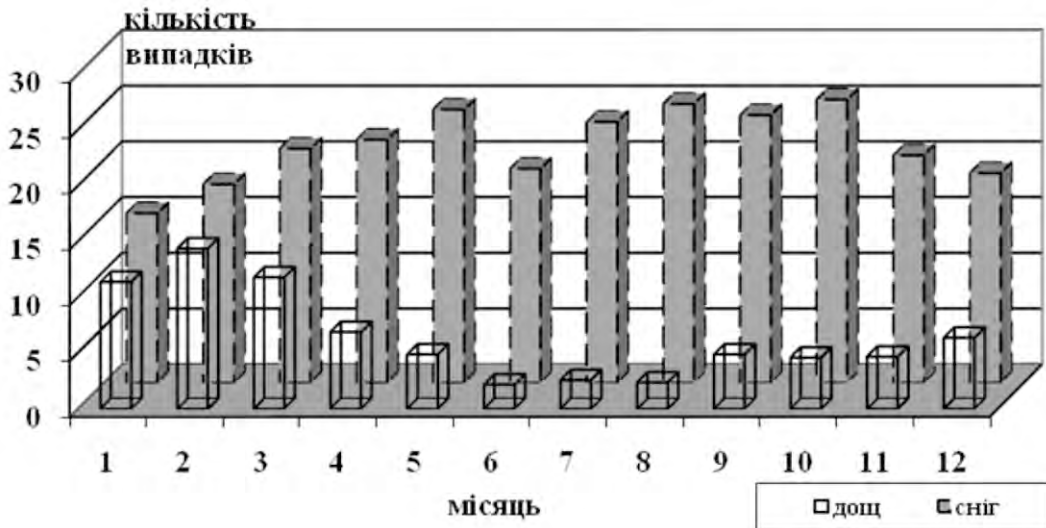


Рис. 3. Середньорічна кількість випадків випадання дощу та снігу на УАС Академік Вернадський (1998–2008 рр.)

#### Підрахунок кількості атмосферних опадів методом водного балансу

Поряд із прямими методами збирання атмосферних опадів автори досить часто здійснюють підрахунок їхньої кількості, наприклад, методом водного балансу, погрішність якого у досліджуваному районі становить близько 20% [2].

Масбалансові спостереження проводяться практично з першого дня роботи УАС Академік Вернадський [6], хоча й не в достатніх обсягах (на даний час організовано снігозйомні спостереження на метеорологічному полігоні льодовика, періодичні вимірювання щільності снігу, хуртовинні спостереження).

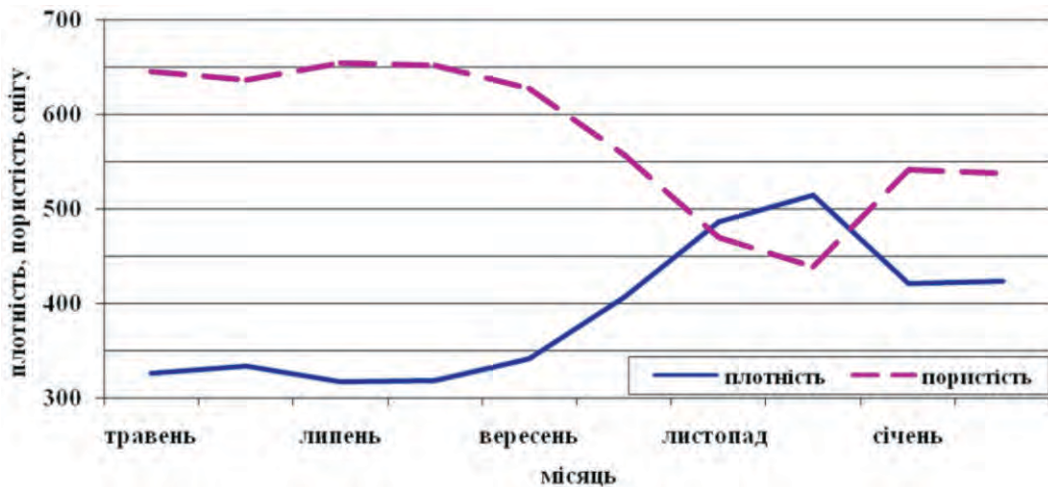


Рис. 4. Динаміка щільності й пористості снігу в районі УАС Академік Вернадський (сезон 2004–2005 рр.)

Представлені на мал. 4 результати виміру щільності снігу, максимум якої (0,5-0,6 г/см<sup>3</sup>), припадає на листопад–грудень.

Таблиця 3.

**Результати масбалансних спостережень на льодовику о. Галіндез**

Період спостережень на масбалансовому полігоні	Максимальне снігонакопичення: дата, середня висота, водний еквівалент	Число днів спостережень по рейках на полігоні	Акумуляція		Абляція		Річний баланс (±мм)
			дні	+мм	дні	-мм	
01.03.1996–30.03.1997	27.10.1996 h <sub>ср.</sub> =150 см W=600 мм	60	–	+600	–	-800	-200
21.04.1999–13.02.2000	09.11.1999 h <sub>ср.</sub> =119 см W=547 мм	18	117	+	193	-562	-184
23.03.2000–30.01.2001	31.10.2000 h <sub>ср.</sub> =105 см W=441 мм	13	160	+399	151	-456	-57
09.03.2001–19.03.2002	01.12.2001 h <sub>ср.</sub> =133 см W=598 мм	28	198	+588	118	-457	+131
18.05.2003–14.03.2004	19.11.2003 h <sub>ср.</sub> =112 см W=470 мм	31	128	+378	202	-574	-196
17.04.2004–11.03.2005	10.11.2004 h <sub>ср.</sub> =154 см W=678 мм	56	167	+623	161	-585	+38
26.03.2005-01.02.2006	22.10.2005 h <sub>ср.</sub> =173 см W=640 мм	39	193	+559	131	-572	-13

Примітка: h<sub>ср.</sub> – середня висота снігу на полігоні по 30 рейках; W – водний еквівалент (запас води) снігу.

В [6] автор наводить узагальнені дані масбалансних спостережень на УАС Академік Вернадський (табл. 3), по яких проводились подальші розрахунки.

Запас води (шар води в міліметрах, що утворився б на поверхні землі, якби сніжний покрив миттєво станув) обчислюється за формулою:

$$S_v = 10 \cdot h \cdot p, \text{ де:}$$

**h** - висота сніжного покриву в сантиметрах, **p** – щільність снігу, г/см<sup>3</sup>.

Результати підрахунку атмосферних опадів на УАС цим методом представлені в табл. 4, їх аналіз підтверджує припущення про істотні (до 35%) втрати при прямому вимірюванні кількості атмосферних опадів на УАС. Причому величина недобору за опадоміром Третьякова становить у різні роки 20–55%, що може свідчити про значно переважаючий вплив вітрової погрішності над «помилковими опадами». З іншого боку, отримані результати можуть бути наслідком обмеженості рядів спостережень, а також похибок проведення масбалансних спостережень (прикладом може слугувати табл. 3, де наведено дані за числом днів спостережень за сезон: в окремі сезони їхня кількість, очевидно, повинна бути більшою). Це питання потребує подальшого, більш поглибленого вивчення.

**Підрахунок кількості атмосферних опадів методом водного балансу**

Період спостережень на масбалансовому полігоні	Максимальне снігонакопичення: дата, середня висота $h_{\text{ср}}$ , щільність снігу $p$	Водний еквівалент, $W$ , мм	Кількість опадів, обмірюваних опадоміром Третьякова, мм	Різниця	Процент втрат
01.03.1996– 30.03.1997	27.10.1996	600			
	$h_{\text{ср}}=150$ см				
	$p=0,4$				
21.04.1999– 13.02.2000	09.11.1999	547	323	224	41
	$h_{\text{ср}}=119$ см				
	$p=0,46$				
23.03.2000– 30.01.2001	31.10.2000	441	348	93	21
	$h_{\text{ср}}=105$ см				
	$p=0,42$				
09.03.2001– 19.03.2002	01.12.2001	598	431	167	28
	$h_{\text{ср}}=133$ см				
	$p=0,45$				
18.05.2003– 14.03.2004	19.11.2003	470	341	129	27
	$h_{\text{ср}}=112$ см				
	$p=0,42$				
17.04.2004– 11.03.2005	10.11.2004	678	400	278	41
	$h_{\text{ср}}=154$ см				
	$p=0,44$				
26.03.2005– 01.02.2006	22.10.2005	611	273	338	55
	$h_{\text{ср}}=173$ см (165)				
	$p=0,37$				
середнє					36

**Висновки**

Наведений вище аналіз підтверджує припущення про недооблік кількості атмосферних опадів, зібраних прямим способом, на метеорологічному майданчику УАС Академік Вернадський. Величина цього недобору досить істотна і в різні роки сягає 35%.

З огляду на це у практиці вимірювання атмосферних опадів на станції необхідно:

1. збільшити кількість вимірів до 4-х на добу;
2. застосовувати одночасно кілька опадовимірювальних приладів, встановлених у різних частинах острова;
3. можливо, використовувати інші, більш сучасні засоби вимірювання;
4. можливо, провести експериментальні прискорені сезонні виміри упродовж певного часу (наприклад, місяця);
5. ввести в практику роботи станції застосування розрахункових методів кількості атмосферних опадів.

**Література**

1. **Атмосфера.** Справочник / Л.: Гидрометиздат, 1991.
2. **Аверьянов В.Г.** Гляциоклиматология Антарктиды. //Л., Гидрометиздат, 1990, с. 198.
3. **Богданова Э.Г.** и др. Новая модель корректировки измеренных осадков и ее применение в полярных районах России // М., 2002, МИГ №10, с. 68–94.
4. **Богданова Э.Г.** и др. Современные методы корректировки измеренных осадков и



- С.В. Клок: ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА УКРАЇНСЬКІЙ АНТАРКТИЧНІЙ...  
результаты их применения в полярных регионах России и Северной Америки // М., 2007, МИГ №4, с.21–44.
5. **Гирс А.А., Кондратович К.В.** Методы долгосрочных прогнозов погоды. // Л., Гидрометеиздат, 1978, с. 63–137.
  6. **Грищенко В.Ф.** Оценка современного оледенения Берега Грейама (Антарктический полуостров) и островов Аргентинского архипелага // К., 2006, УАЖ, № 4-5, 278–287 с.
  7. **Демкова М.** Інформація як основа інформаційного суспільства: визначення поняття та правове регулювання / М., Джерело. Фонд Інформаційне Суспільство України.
  8. **Закон України** «Про інформацію», Постанова Верховної Ради України N2658-ХІІ від 02.10.92.
  9. **Закон України** «Про науково-технічну інформацію» / Постанова Верховної Ради України N 3323-ХІІ від 25.06.93
  10. **Климат Антарктики.** Тр. КАЭ АН СССР. Некоторые особенности атмосферных процессов в Антарктиде // М., 1959, с. 28–80.
  11. **Костин С.И., Покровская Т.В.** Климатология. Л. Гидрометиздат, 1961, с. 477.
  12. **Метеорологічний звіт** / УАС Академік Вернадський, 1997–2008 рр.
  13. **Наставление** гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1. // Л., Гидрометиздат, 1985, с. 301.
  14. **Полярная метеорология.** Понимание глобальных воздействий. № 1013.// Всемирная метеорологическая организация, 2007, 38 с.
  15. **Руководство** по снеголавинным работам (временное) // Л., Гидрометиздат, 1965, с. 400.
  16. **Русин Н.П.** Метеорологический и радиационный режим Антарктиды. // Л., Гидрометиздат, 1961, с. 63–100.
  17. **Швень Н.И., Клок С.В.** О некоторых особенностях ветрового режима в районе Антарктического полуострова / УАЖ №3. 2005, с. 93–98.