

Практична робота № 4. Вимірювання вологості повітря.

Вміст водяної пари в повітрі оцінюється багатьма величинами. Для кількісного виразу вмісту водяної пари в атмосфері, або вологості повітря, вживають різні характеристики. Основними з них є:

1. *Парціальний тиск водяної пари* або *пружність* (e), що характеризує тиск, який створює водяна пара, що міститься в об'ємі повітря при даній температурі. Вимірюється в гПа і є основною характеристикою вологості повітря.

2. *Максимальний тиск насиченої водяної пари* або *максимальна пружність* (E) вимірюється в гПа, характеризує максимальний тиск водяної пари, що може міститись в об'ємі повітря при даній температурі.

3. Абсолютна вологість (a) - кількість водяної пари в грамах, що міститься в 1 м повітря (г/м), її можна визначити за формулою.

$$a = 220 \frac{e}{T}$$
, де e – пружність водяної пари в ГПа; T – абсолютна температура повітря в кельвінах (°К). Від густини водяної пари вона відрізняється одиницями виміру.

4. Відносна вологість повітря (r) - відношення пружності водяної пари (e) до максимальної пружності (E) при даній температурі, виражене в процентах:

$$r = \frac{e}{E} 100\%.$$

5. Дефіцит вологості (пружності водяної пари (d) - різниця між максимально можливою пружністю водяної пари при даній температурі (E) і пружністю водяної пари, яка є в повітрі (фактичної – e): $d = E - e$;

6. Точка роси (τ - температура, при якій водяна пара, що міститься в повітрі досягає стану насичення, тобто: $e = E$).

7. Питома вологість (q) - маса водяної пари, що міститься в одному кілограмі вологого повітря (г/кг);

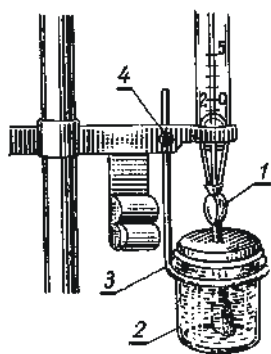
$$q = \frac{\rho_w}{\rho_l + \rho_w} = \frac{0.622e}{p - 0.378e} = 0.622 \frac{e}{p(1 - 0.378 \frac{e}{p})} \approx 0.622 \frac{e}{p}$$
, бо в різниці $1 - 0.378 \frac{e}{p}$ останній член

набагато менший за 1. При цьому p – атмосферний тиск, ρ_w – густина водяної пари і ρ_l – густина сухого повітря. Коефіцієнт 0.622 є результатом відношення молекулярної маси водяної пари ($18.02 \text{ кг}\cdot\text{кмоль}^{-1}$) і сухого повітря ($28,96 \text{ кг}\cdot\text{кмоль}^{-1}$);

8. Відношення суміші (S) - відношення маси водяної пари, що міститься в об'ємі вологого повітря до маси сухого повітря в тому ж об'ємі (г/кг).

У практиці метеорологічних вимірів вологість повітря визначається за пружністю водяної пари (e), відносною вологістю (r), дефіцитом вологості (d) і точкою роси (τ)

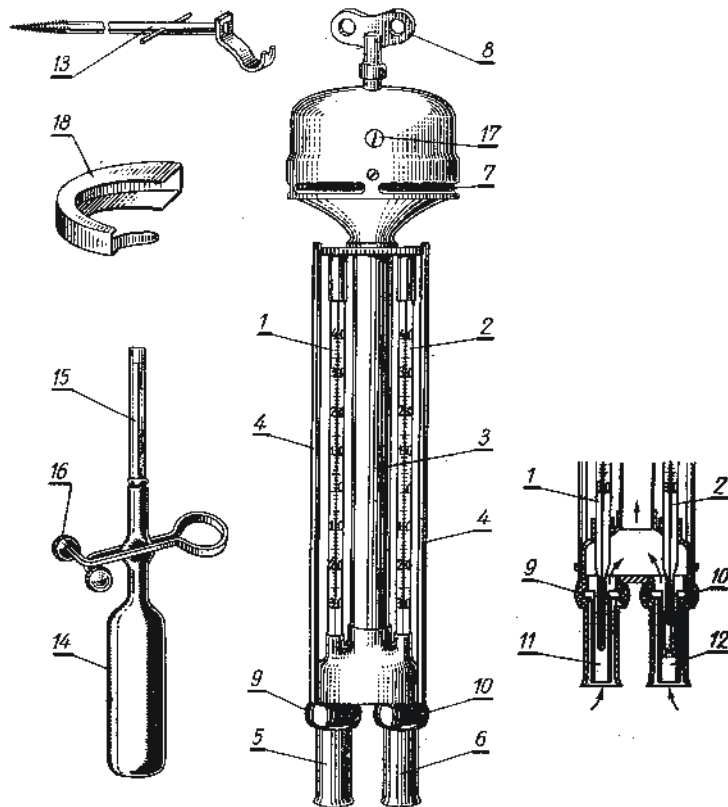
Найбільш поширеними методами вимірів вологості повітря є психрометричний і гігрометричний.



Мал. 4.1. Фрагмент стаціонарного психрометра. І практично вимірювання вологості повітря визначається способом вимірювання зниження температури тіла, з поверхні якого відбувається випаровування, за рахунок витрати тепла на

випаровування води. Ця залежність виражається основною психрометричною формулою:

$$e = E - A(t - t')P,$$
де e – пружність водяної пари, E – максимальна пружність водяної пари, t – температура за сухим термометром, t' – температура за вологим термометром, A – аспіраційний коефіцієнт $-0.00079 \approx 0.0008$, при P – атмосферний тиск, який рівний 1000 гПа, швидкості вітру 0.8 м/с поблизу рівня моря. При температурах менших 0°C максимальна пружність E формується над льодом і береться з таблиці “Лід” і при температурі більше 0°C вона формується над водою і береться з таблиці 1 “Вода”.



Мал. 4.2. Аспіраційний психрометр.

воду кімнатної температури приносять у будку і занурюють резервуар термометра. При цьому слідкують за показом термометра. Необхідно діждатись того, щоб температура змоченого термометра піднялася на $2-3^\circ\text{C}$ вище "0" (доказ того, що льодяна плівка на батисті розтанула). Після цього забирають склянку, знімають краплю води з кінця батисту, будку зачиняють і через 30 хв. роблять відліки. При від'ємних температурах спостереження за психрометром проводять тільки до мінус 10°C . Швидкість вентиляції повітря 0,8 м/с.

Принцип дії аспіраційного психрометра такий же, як і станційного. Аспіраційні психрометри (Мал. 4.2) використовують для градієнтних спостережень на метеорологічних станціях і в польових мікрокліматичних дослідженнях. Межі вимірювання відносної вологи при температурі повітря від -10 до $+30^\circ\text{C}$ становлять від 3 до 100%, тоді як вимірювання температури здійснюють від -25 до $+50^\circ\text{C}$.

Перед спостереженням психрометр виносять з приміщення: влітку на 15 хв, взимку на 30 хв. Батист правого термометра (2) змочують за допомогою гумової груші (14) з піпеткою: (15) влітку за 4 хв, а взимку за 30 хв до часу спостережень. Після змочування заводять аспіратор (8) взимку за 4 хв. до відліку. Під час відліків потрібно стояти так, щоб рух повітря був направлений від приладу до спостерігача. У тому випадку, коли сильний вітер (більше 4-ох м/с) швидкість аспірації порушується. Щоб запобігти цьому з навітренної сторони одягають вітровий захист (5, 6).

Точні результати спостережень за аспіраційним психрометром можна отримати тільки тоді, коли швидкість руху повітря біля прийомної частини термометрів дорівнює 2 м/сек.

Прилади, які застосовуються при вимірюванні вологості повітря цим методом називаються психрометричними. На метеорологічних станціях застосовують: станційний психрометр (у психрометричній будці – ТМ4) і аспіраційний похідний психрометр Асмана (МВ – 4м).

Для забезпечення точності вимірів (Мал.4.1.) за допомогою станційного чи аспіраційного психрометрів потрібно пам'ятати, що батист термометра (2) повинен бути добре змоченим за 10-15 хв. до зняття відліків (занурити в воду батист, що обволікає резервуар термометра). З наступанням приморозків батист змоченого термометра обрізають безпосередньо під резервуаром. Психрометричну склянку (2) забирають з будки. За півгодини до спостереження склянку з дистильованою

Про задовільний стан психрометра свідчить швидкість оберту барабана з заводною пружиною, що знаходиться в головці психрометра (7). На барабан нанесена мітка в вигляді риски (стрілки), за рухом якої можна слідкувати через віконце (17).

Тривалість оберту барабана психрометра визначають так: заводять повністю пружину, встановлюють психрометр у вертикальне положення і спостерігають через віконце за появою мітки на барабані. Коли мітка на барабані збіжиться з рисою на віконці, вмикають секундомір і слідкують, коли в віконці буде другий збіг риски барабана з рисою на віконці, після того зупиняють секундомір і визначають тривалість одного оберту.

Якщо тривалість одного оберту барабана відрізняється не більше ніж на 10 сек. від вказаного в паспорті приладу, то швидкість руху барабана можна вважати достатньою. Обчислення вологості за показами станційного і аспіраційного психрометрів проводиться на метеорологічних станціях при допомозі психрометричних таблиць (10).

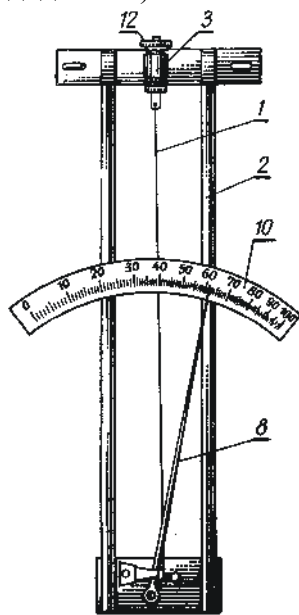
Психрометричні таблиці складаються з цілого ряду таблиць, основна з яких (Таблиця 2) складена на основі психрометричної формули.

Таблиця 2. (10)

t'	e	t	r	d	τ	t'	e	τ	d
------	-----	-----	-----	-----	--------	------	-----	--------	-----

Таблиця складається з окремих колонок, кожна для певного значення температури повітря t через $0,1^\circ\text{C}$.

Колонка складається з п'яти стовпчиків чисел. У першому подані значення t (можливі при даній t сухого термометра), в інших вираховані для "води" або "льоду" значення, e , r і d . (8, додаток 8).



При обчисленні вологості за допомогою таблиць знаходять колонку, яка відповідає вимірюваному значенню температури повітря (тобто в виправлений показ сухого термометра), а в горизонтальному рядку за значенням (t' – виправленому значенню змоченого термометра) знаходять значення (точки роси): e (пружність водяної пари), r (відносна вологість повітря) і d (дефіцит насичення повітря). Таблиця 2 розрахована для $P = 1000$ ГПа. Якщо тиск повітря більший або менший 1000 ГПа, до характеристик вологості вносять поправки. Поправку до пружності водяної пари знаходять у таблиці 3 (а, б, в) психрометричних таблиць за величиною атмосферного тиску, різницею показів сухого і змоченого термометрів. При атмосферному тиску менше 1000 ГПа ця поправка додатня, якщо перевищує 1000 ГПа, то її вводять зі знаком "мінус".

Випускаються аспірації психрометри з електромотором (М-34). Тут вентилятор психрометра запускають за допомогою електромотора. До електромотора, який розміщений в головці психрометра живлення під'єднують за допомогою шнура з вилкою, що прикріплений до захисного кожуха головки психрометра (мотори змінного струму 127 і 220 В).

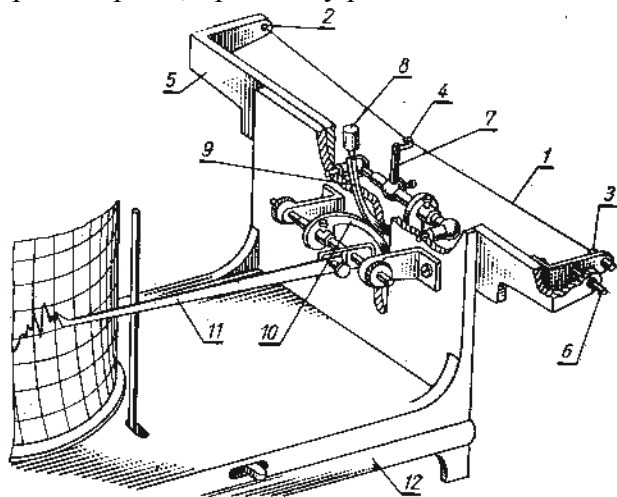
Гігрометричний метод визначення вологості повітря базується на використанні гігрометрів рівних типів. На метеорологічних станціях застосовують два типи

Рис. 4.2 . Волосяний гігрометр гігрометрів: волосяні і плівкові.

Основною частиною (Мал. 4.2) волосяного гігрометра (М-1) є обезжирений (способом спеціальної хімічної і механічної обробки) людський волосок (1). Він може змінювати свою довжину зі мною вологи повітря (при збільшенні відносної вологи повітря він видовжується, при зменшенні – скорочується). Ці зміни волоска фіксує розташування стрілки на шкалі (10), нижній кінець волоска з'єднаний з блоком на вісі якого прикріплена стрілка (8). Ціна поділки шкали гігрометра – 1% відносної вологості.

Поділки на шкалі (10) нерівномірні: при невеликих значеннях вологості вони великі, а при великих – дрібніші. Це обумовлено тим, що зміна довжини волоска проходить швидше при малих величинах відносної вологості і повільніше при наближенні їх до 100%. Волосяний гігрометр встановлюють у психрометричній будці разом із станційним психрометром і закріплюють на штативі між сухим і змоченим термометром.

Відліки за гігрометром виконують відразу після відліків за психрометричними термометрами, при цьому різниця в часі між спостереженнями повинна бути мінімальною.



Мал.4.4. Гігрограф волосяний.

за гігрометром, а на вісь ординат – шкала для значень відносної вологості, отримана за психрометром, наносять точки відповідних значень відносної вологості одночасно для гігрометра і психрометра. Через середину, де точки розташовані густо, проводять плавну лінію з таким розрахунком, щоб по обидві сторони від неї була приблизно однакова кількість точок. Користуючись цим графіком для будь-якого показу гігрометра можна знайти відповідне значення відносної вологості повітря.

Вигідніше користуватися не графіком, а перевідною таблицею, яка складається за результатами графіка. В таблиці, в крайньому лівому стовпчику цифри відповідають десяткам, а у верхньому рядку – одиницям шкали гігрометра. Інші рядки заповнюють значеннями відносної вологості, які беруть з кривої графіка.

В основі вимірювання відносної вологості плівковим гігрометром лежить здатність гігроскопічної органічної плівки змінювати свої лінійні розміри зі зміною відносної вологості повітря. Деформація плівки за допомогою передавальних механізмів перетворюється в переміщення стрілки відносно шкали приладу. Гігрометр розрахований на роботу в межах температур від -60 до $+35^{\circ}\text{C}$ (добре працює при низькій температурі і високій відносній вологості повітря). Плівковий гігрометр встановлюють у психрометричній будці так само як і волосяний гігрометр. Поправки вносять у відліки так само як і для волосяного гігрометра.

Для безпосередньої реєстрації змін відносно вологості використовують самописці-гігрографи (Мал. 4.4). Вони можуть реєструвати відносну вологість повітря при температурі від -45 до $+55^{\circ}\text{C}$. Гігрограф встановлюється в одній будці з термографом. Приймальною частиною волосяного гігрографа є пучок обезжирених людських волосків (4), зміна довжини яких під впливом зміни відносної вологості передається на стрілку (11), що має перо, яке записує ці зміни. Реєструюча частина гігрографа побудована так само, як і в інших самописців. Запис відбувається на стрічці, яка накладена на барабан з годинниковим механізмом. У залежності від швидкості оберту барабана гігрограф може бути добовим або тижневим.

Опрацювання стрічки гігрографа виконують графічним способом. З цією метою за відліками психрометра в строкові години і відліках, знятих зі стрічки гігрографа для тих же

годин, складають графік і таблицю, подібну тій, яку складають для гігрометрів. Потім для кожного відліку, знятого з стрічки гігрографа, в таблиці знаходять виправлене значення відносної вологості повітря. Відліки зі стрічки гігрографа знімають з точністю до 1%.

Серед інших приладів для вимірювання вологості повітря потрібно відзначити гігрометр точки роси (на напівпровідникових елементах), електролітний гігрометр з підігрівом, кулонометричні гігрометри, дифузійний амперметричний гігрометр, сорбційний електрогігрометр (гігістор), гігрометр сорбційний оксидно-алюмінієвий.

Народні методи визначення вологи. В Непалі перед виходом у гори, ватажок кидає у вогонь пригорщу солі. Якщо вона потріскує, то в повітрі мало волги і небезпека опадів та сходження лавин відсутня, а коли вона не потріскує на вогні, то в повітрі міститься волога. При таких умовах можуть випадати опади і сходити лавини.

Контрольн і питання.

1. Які основні характеристики вологості повітря?
2. У чому полягає суть психрометричного методу?
3. У чому полягає суть гігрометричного методу?
4. Які вводяться поправки при спостереженнях за аспіраційним психрометром?
5. Як встановлюють психрометр на метеорологічній станції?
6. Від чого залежить різниця показів сухого і змоченого термометрів?
7. При якій температурі спостережень за психрометром не проводять, чому?
8. Чи можуть відліки температури за сухим і змоченим термометром бути однаковими і в яких випадках?
9. Як перевірити швидкість аспірації психрометра?
10. Чи впливає швидкість вітру на покази аспіраційного психрометра?
11. У чому різниця між станційним і аспіраційним психрометром?
12. Чому при спостереженнях за допомогою психрометра необхідно враховувати агрегатний стан води на батисті?
13. Як виконувати спостереження за допомогою гігрографа.
14. Як опрацювати стрічки добового і недільного гігрографа.
15. У чому перевага гігрометра, порівняно з психрометром?
16. Як враховують вплив вітру і тиску повітря при вимірюваннях характеристик вологості повітря?
17. Для чого на стрічці гігрометра роблять позначки часу?
18. Назвіть фактори, які впливають на географічний розподіл характеристик вологості повітря.
19. Який зв'язок між тиском водяної пари і температурою повітря?
20. Де спостерігається найбільша вологість повітря?
21. Яке середнє значення абсолютної вологості повітря для всієї Землі?
22. Чому відносна вологість повітря досягає високих значень в екваторіальних і полярних широтах?

Завдання 1. Ознайомлення з аспіраційним психрометром.

Порядок виконання завдання.

1. Ознайомитися з будовою психрометра.
2. Як виконати спостереження за аспіраційним психрометром:
 - а) набрати в гумову грушу дистильованої води, за допомогою зажиму підігнати воду в піпетці до позначки на шкалі;
 - б) ввести піпетку в трубочку, де знаходиться резервуар термометра, пов'язаного батистом. Почекаати 3-5 сек. для того, щоб батист змочився водою;
 - в) завести ключем вентилятор і зазначити час;
 - г) через 4 хв. після змочення і заведення зробити відліки (спочатку десяті долі градусів, а потім цілі градуси);
 - д) зняти відліки за барометром.
3. Внести поправки в відліки за психрометром і барометром.

4. Результати спостережень записати в таблицю 15.

Таблиця 15.

Дата		Місце спостережень												
№ відліків	Атмосферний тиск	Психрометр						Характеристики вологості						
		Сухий термометр			Змочений термометр			τ	t	W	d	E		
		відлік	поправка	виправлене значення	відлік	поправка	виправлене значення							

Завдання 2. Ознайомлення з психрометричними таблицями.

Порядок виконання завдання.

1. Ознайомитися з психрометричними таблицями (на прикладах).
2. Визначити характеристики вологості (**e. r. d. E**) користуючись психрометричними таблицями для спостережень за допомогою аспіраційного психрометра (Завдання 1).

Завдання 3. Ознайомлення з гігрометрами.

Порядок виконання завдання:

1. Ознайомитися з будовою волосяного і плівкового гігрометрів і намалювати їх схеми.
2. Виконати 3 - 4 відліки за встановленими на штативі гігрометрами.
3. Знайти поправки гігрометра, користуючись графічним способом:
 - а) на координаційну сітку наносять точки за даними одночасових спостережень відносної вологості за психрометром і гігрометром за довгий період;
 - б) проводять плавну лінію через середину точок таким чином, щоб по обидві сторони від неї була приблизно однакова їх кількість;
 - в) за цією лінією для будь-якого показу гігрометра можна знайти відповідне значення відносної вологості повітря за стаціонарним психрометром.

Завдання 4. Ознайомлення з будовою гігрографа.

1. Вивчити будову гігрографа (волосяного).
2. Намалювати його схему.
3. Накласти стрічку на барабан:
 - а) завести годинниковий механізм барабана;
 - б) на зворотній стороні стрічки написати дату встановлення, пункт спостереження, номер приладу;
 - в) поставити перо на ділення стрічки, що відповідає виміряній вологості (за психрометром) за допомогою регулюючого гвинта і наповнити перо чорнилом;
 - г) пересунути аретир так, щоб перо торкалось стрічки;
 - д) на лицевій стороні стрічки вказати час її встановлення;

Завдання 5. Географічний розподіл середньої пружності водяної пари в січні і липні.

Порядок виконання завдання:

1. На контурну карту світу з допомогою кліматичних карт (кліматичного атласу) нанести ізолінії середніх значень парціального тиску водяної пари в січні і липні.
2. Виконати аналіз розподілу парціального тиску водяної пари в теплу (липень) і холодну (січень) пору року на земній кулі (скласти короткий текст аналізу).

Завдання 6. Розподіл середньої відносної вологості в січні і липні на поверхні землі.

Порядок виконання завдання:

1. На контурну карту світу нанести ізолінії середньої відносної вологості повітря в січні і липні (за картами кліматичного атласу).

2. Проаналізувати розподіл середньої відносної вологості повітря в зимовий (січень) і літній (липень) місяці. Скласти короткий текст аналізу.

Завдання 7.

Порядок виконання завдання:

1. Виписати з матеріалів щомісячників дані про річний хід пружності, дефіциту насичення, відносної вологості повітря для заданих пунктів.

Місяці	Пружність, в ГПа	Відносна вологість, в %			Дефіцит насичення, в ГПа		
	Середнє	Середнє	Мінімум	Дата	Середнє	Максимум	Дата
Січень							
Середньорічні							
Максимальні							
Мінімальні							
Амплітуда							

2. Побудувати графіки річного ходу вказаних характеристик для вказаних пунктів, відклавши на вісі абсцис – місяці, а вісі ординат характеристики вологості для 1979 та 1985 років.

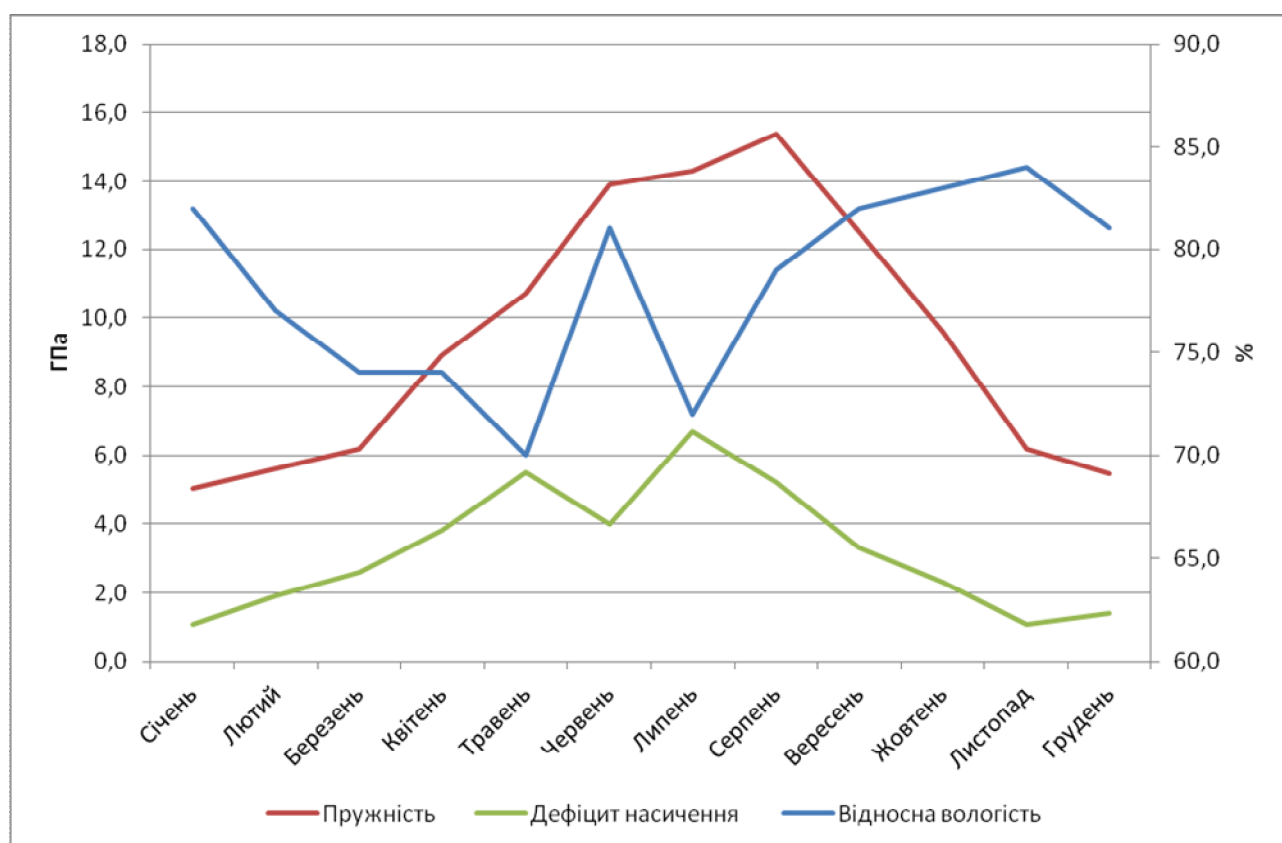


Рис. 5. Річний розподіл характеристик вологості повітря в м. Львові у 1989 році

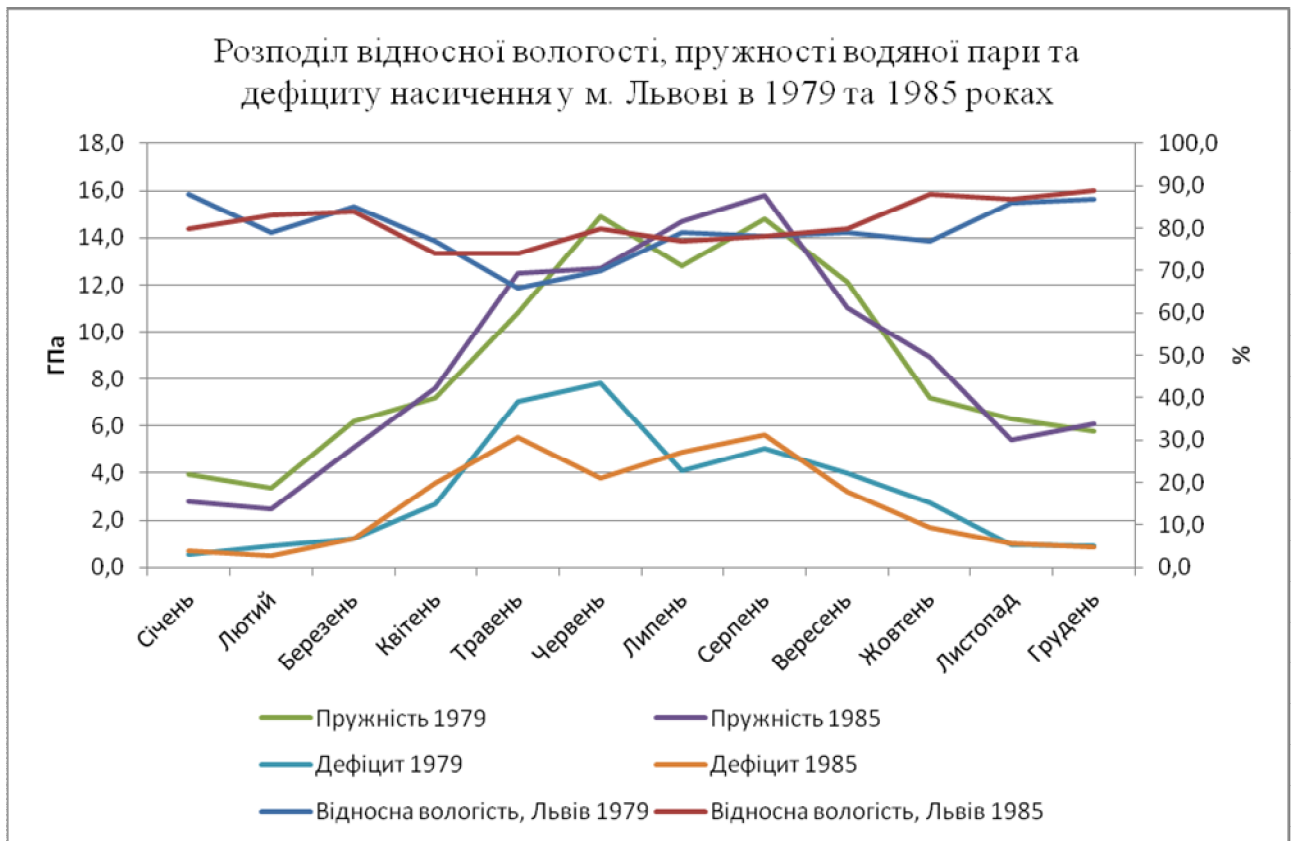
3. Здійснити аналіз річного розподілу пружності, відносної вологості та дефіциту насичення водяної пари. Вирахувати середньорічні величини і річні амплітуди.

4. Здійснити аналіз величин вологості за порами року, особливо звернувши увагу на періоди, коли відносна вологість була вище 80% і нижче 30%.

5. Проаналізувати взаємозв'язок характеристик вологості між собою і з температурою повітря згідно річного розподілу.

6. Здійснити оцінку характеристик вологості повітря для різних видів господарської діяльності.

7. Побудувати порівняльні графіки річного ходу вказаних характеристик для 1979 та 1985 років, відклавши на вісі абсцис – місяці, а вісі ординат характеристики вологості.



8. Здійснити письмовий порівняльний аналіз їх розподілу по роках.

Література.

1. Павлова М.Д. Практикум по агрометеорології. – Гидрометеиздат, 1974. – с. 47-59.
2. Аверкиев М.С. и др. Метеорологический практикум.– М., 1970
3. Волошина А.П. и др. Руководство к лабораторным занятиям по метеорологии и климатологии. //Под.ред. С.П. Хромова. – М., 1974.
4. Городецкий О.А. и др. Метеорологические приборы и технические средства наблюдений. – Л., 1991.
5. Евневич Т.В. и др. Метеорологический практикум. – М., 1981.
6. Колесник П.И. Метеорология: Практикум. – Киев, 1986.
7. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. ч. 1, 11, 111. – Л. 1985.
8. Психрометрические таблицы.- Л., 1972.
9. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. Л., 1978.
10. Хромов С.П. Метеорология и климатология. Л., 1983.