

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Навчально-науковий інститут водного господарства
та природооблаштування

Кафедра геології та гідрології

01-05-189М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт з навчальної дисципліни

«Метеорологія і кліматологія»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Конструктивна географія,
управління водними та мінеральними ресурсами»
спеціальності 106 «Географія»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІВГП

Протокол № 5 від 21.12.2021 р.

Рівне – 2021

Методичні вказівки до практичних робіт з навчальної дисципліни «Метеорологія і кліматологія» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Конструктивна географія, управління водними та мінеральними ресурсами» спеціальності 106 «Географія» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Гопчак І. В., Басюк Т. О. – Рівне : НУВГП, 2021. – 15 с.

Укладачі:

Гопчак І. В., д.т.н., доцент, доцент кафедри геології і гідрології;

Басюк Т. О., к.геогр.н., доцент, доцент кафедри геології і гідрології.

Відповідальний за випуск: Романів О. Я., к.геогр.н., доцент, завідувач кафедри геології та гідрології.

Керівник групи забезпечення освітньої програми
к.геогр.н., доцент Романів О. Я.

© Гопчак І. В., Басюк Т. О., 2021

© НУВГП, 2021

Зміст

Вступ.....	4
Практична робота 1. Температура повітря.....	5
Практична робота 2. Вологість повітря.....	7
Практична робота 3. Атмосферний тиск.....	10
Список рекомендованої літератури.....	15

Вступ

Характеристику стану атмосфери проводять за метеорологічними величинами. Вони є чисельними показниками, які визначають за допомогою інструментальних вимірювань за метеорологічними приладами.

В методичних вказівках розглянуто основні метеорологічні величини, які характеризують стан атмосфери, а саме, температура повітря, характеристики вологості, атмосферний тиск. За допомогою рівняння стану атмосферного повітря визначають густину атмосферного повітря, яка є також основною метеорологічною величиною, і яку не визначають інструментально при метеорологічних спостереженнях.

Кожна з зазначених метеорологічних величин розглядається у вигляді задач, які розв'язуються студентами за варіантом вихідних даних індивідуально.

Практична робота 1

Тема: Температура повітря

Поглинута сонячна радіація перетворюється в тепло. Вона частково витрачається на нагрівання приземного шару повітря і на випаровування, а частково передається в шари ґрунту, що лежать нижче. Атмосфера відносно слабо поглинає сонячну радіацію. Атмосферне повітря дуже слабо нагрівається

шарів атмосфери – це тепло від земної поверхні.

Температура повітря характеризує його тепловий стан. Температуру використовують для порівняння цього стану в різних точках атмосфери в різні моменти часу.

У метеорології переважно застосовують для вимірювання температури шкалу Цельсія ($^{\circ}\text{C}$) і шкалу Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$). На шкалі Цельсія (міжнародна шкала) точка танення льоду позначена 0°C , а точка кипіння води 100°C . Проміжки між ними розділені на 100 частин. На шкалі Фаренгейта точка танення льоду позначена 32°F , а точка кипіння води 212°F . Проміжок між точками розділено на 180 частин. У більшості країн застосовують шкалу Цельсія. Для переведення значень температури на одній шкалі в іншу використовують співвідношення:

$$^{\circ}\text{F} = 9/5(^{\circ}\text{C} + 32); \quad ^{\circ}\text{C} = 5/9(^{\circ}\text{F} - 32) \quad (1.1)$$

У теоретичних дослідженнях застосовують абсолютну шкалу Кельвіна (К), за якою точка плавлення льоду $273,15\text{ К}$ (відповідає $^{\circ}\text{C}$), а точка кипіння води $373,15\text{ К}$ (відповідає 100°C). Температура за шкалою Кельвіна та шкалою Цельсія зв'язані співвідношеннями:

$$t^{\circ}\text{C} = T - 273,15 ;$$
$$T = t^{\circ}\text{C} + 273,15$$

Застосування абсолютної шкали дозволяє при розрахунках застосовувати тільки додатні температури. Ціна поділки за шкалою Кельвіна дорівнює ціні поділки за шкалою Цельсія ($1\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$).

На метеорологічних станціях температуру повітря вимірюють і обчислюють з точністю до десятої частини градуса.

Завдання. Визначити температуру за міжнародною практичною температурною шкалою та за термодинамічною температурною шкалою, якщо термометр показує 100°F .

Варіанти вихідних даних

№	t°F	№	t°F	№	t°F
1	96,4	11	77,4	21	58,4
2	35,1	12	50,6	22	66,1
3	92,6	13	73,6	23	54,6
4	38,2	14	53,7	24	69,2
5	88,8	15	69,8	25	50,8
6	41,3	16	56,8	26	72,3
7	85,0	17	66,0	27	47,0
8	44,4	18	59,9	28	75,4
9	81,2	19	62,2	29	43,2
10	47,5	20	63,0	30	78,5

Практична робота 2

Тема: Вологість повітря

Вологість повітря визначається кількістю водяної пари, що знаходиться в повітрі. Кількість водяної пари дуже мінлива і коливається від майже нуля і до 4% по об'єму (відповідно при холодних полярних умовах і при теплій вологій погоді). Кількість водяної пари дуже швидко змінюється з висотою.

Водяна пара має пружність (тиск). Тиск водяної пари пропорційний її густині (масі в одиниці об'єму) і її абсолютній температурі. Пружність водяної пари, як і атмосферний тиск, виражають в гектопаскалях (гПа) або мілібарах (мб). $1 \text{ гПа} = 1 \text{ мб}$. Чим більше водяної пари в одиниці об'єму повітря, тим більша її пружність. Вона при даній температурі може збільшуватися тільки до деякого граничного значення, яке називають максимальною пружністю водяної пари (E) або пружністю насиченої водяної пари (пружністю насичення). Вона залежить від температури повітря, від фазового стану випарної поверхні, тобто від агрегатного стану води, кривизни випарної поверхні та від інших факторів. В табл. 2.1 наведені значення пружності насичення водяної пари над плоскою поверхнею води (E_B) і льоду (E_L) при різних значеннях температури повітря.

Таблиця 2.1

Максимальна пружність водяної пари

$t, ^\circ\text{C}$	-30	-20	-15	-12	-10	-5	0	10	20
E_B	0,51	1,25	1,91	2,44	2,86	4,21	6,11	12,27	23,37
E_L	1,38	1,03	1,65	2,17	2,60	4,01	6,11	-	-
ΔE	0,13	0,22	0,26	0,27	0,26	0,20	0,00	-	-

При температурі повітря нижче 0°C , $E_B > E_L$. Різниця пружності ΔE дорівнює нулю при температурі повітря 0°C і більше; із зниженням температури повітря ΔE швидко зростає і досягає максимуму при $t = -12^\circ\text{C}$, а надалі повільно зменшується.

Вологість повітря може бути виражена такими основними характеристиками:

Парціальний тиск водяної пари або пружність водяної пари (e) - це тиск, який мала б водяна пара, що знаходиться в газовій суміші повітря, якби вона одна займала об'єм, що дорівнює об'єму суміші при цій же температурі. Одиниці вимірювання в гПа і мб. Для стану насичення $e = E$.

Відносна вологість повітря (f) – це відношення фактичної пружності водяної пари (e) до пружності насиченої водяної пари (E) при даній температурі, визначене у відсотках.

Дефіцит тиску вологи, дефіцит насичення або дефіцит вологості повітря(d) – це різниця, яка визначається в гПа або мб, між пружністю насиченої водяної пари (E) при даній температурі і фактичною пружністю (e).

Точка роси (t_d) – це температура, при якій водяна пара, що є в повітрі, досягає стану насичення при постійному тиску та її масовій частці, тобто – це температура, при якій відносна вологість повітря досягає 100%. Визначається точка роси за значеннями пружності водяної пари.

Для визначення вологості повітря в метеорології застосовують абсолютний (або ваговий); за точкою роси; психрометричний та гігрометричний (або сорбційний) методи.

У психрометричному методі визначення вологості повітря засновано на показах двох однакових термометрів. Резервуар одного з термометрів увесь час (або на період спостережень) підтримується в змоченому (водою) стані (змочений термометр). З поверхні резервуара цього термометра проходить випаровування води. Його інтенсивність залежить від вологості, оточуючого повітря. Чим більш сухе повітря, тим інтенсивніше випаровування з резервуара «змоченого» термометра і тим нижче його покази. Різниця показів «сухого» і «змоченого» термометрів залежить від вологості повітря. За цією різницею можна визначити характеристики вологості повітря. Сухий термометр показує температуру повітря, а змочений – власну температуру, яка залежить від інтенсивності випаровування вологи з поверхні його резервуара.

Вологість повітря психрометричним методом.

В залежності від характеру випарної поверхні, тобто в залежності від того, що буде на поверхні змоченого термометра, або вода, або лід.

Завдання. Визначити максимальну пружність водяної пари (E) при температурі повітря $t = 0^\circ\text{C}$, якщо на поверхні батисту змоченого термометру була вода. Визначити точку роси, якщо пружність насичення становить $E = 12,3$ гПа.

Варіанти вихідних даних до завдання 1

№	$t^\circ\text{C}$	$E, \text{гПа}$	№	$t^\circ\text{C}$	$E, \text{гПа}$	№	$t^\circ\text{C}$	$E, \text{гПа}$
1	-12,0	7,0	11	9,3	17,0	21	23,7	27,0
2	0,0	8,0	12	-3,1	18,0	22	-4,3	28,0
3	12,0	9,0	13	-8,6	19,0	23	19,1	29,0
4	21,0	10,0	14	-2,4	20,0	24	12,7	30,0
5	13,8	11,0	15	9,5	21,0	25	11,4	31,0
6	-4,7	12,0	16	29,5	22,0	26	21,2	32,0
7	-4,2	13,0	17	26,4	23,0	27	-7,1	33,0
8	2,4	14,0	18	14,3	24,0	28	-9,2	34,0
9	-7,4	15,0	19	-21,7	25,0	29	-11,7	35,0
10	8,4	16,0	20	30,0	26,0	30	21,8	36,0

Завдання 2. Визначити характеристики вологості повітря (e, d, f) за показами станційного психрометра ($t = -6,5^\circ\text{C}$ – температура повітря, $t' = -8,2^\circ\text{C}$ – температура по змоченому термометру), якщо відоме конкретне значення атмосферного тиску $P = 853$ гПа, із урахуванням фазового стану випарної поверхні змоченого термометра (лід).

Варіанти вихідних даних до завдання 2

(атмосферний тиск $P = 1000$ гПа, ϕ – стан поверхні змоченого термометра: в – вода; л – лід)

№	$t, ^\circ\text{C}$	$t', ^\circ\text{C}$	Φ	№	$t^\circ\text{C}$	$t', ^\circ\text{C}$	Φ	№	$t^\circ\text{C}$	$t', ^\circ\text{C}$	Φ
1	-12,0	-11,0	Л	11	9,3	7,0	В	21	23,7	25,0	В
2	0,0	-0,8	В	12	-3,1	-2,0	Л	22	-4,3	-3,0	Л
3	12,0	9,0	В	13	-8,6	-8,0	Л	23	19,1	18,0	В
4	21,0	2,0	В	14	-2,4	-2,0	Л	24	12,7	10,0	В
5	13,8	12,0	В	15	9,5	8,0	В	25	11,4	10,0	В
6	-4,7	-3,8	Л	16	29,5	27,0	В	26	21,2	19,0	В
7	-4,2	-4,0	Л	17	26,4	25,0	В	27	-7,1	-6,0	Л

8	2,4	1,4	В	18	14,3	14,0	В	28	-9,2	-8,5	Л
9	-7,4	-6,5	Л	19	-21,7	-20,0	Л	29	-11,7	-10,0	Л
10	8,4	7,0	В	20	30,0	26,0	В	30	21,8	19,0	В

Практична робота 3

Тема: Атмосферний тиск

Під тиском розуміють силу, яка діє на одиницю площі, розташованої перпендикулярно до вектора цієї сили. Атмосфера, яка оточує земну кулю, тисне на земну поверхню і на усі предмети, що знаходяться над нею. В атмосфері, яка знаходиться в стані спокою по відношенню до земної поверхні, тиск влюбій точці дорівнює вазі стовпа повітря з перетином в 1 см^2 , що знаходиться вище і простягається до зовнішньої периферії атмосфери, тобто

$$P = F / S, \quad (3.1)$$

де F - сила; S - площа.

Сила, з якою атмосфера притягається до Землі, дорівнює масі стовпа атмосфери (m), помноженої на прискорення вільного падіння (g)

$$F = mg. \quad (3.2)$$

Одиницею вимірювання тиску служить *паскаль* (Па), який дорівнює силі в один ньютон (н), що діє на площу 1 м^2 , тобто $1 \text{ Па} = 1 \text{ н/м}^2$. Один паскаль – це невеликий тиск, який приблизно дорівнює силі, з якою гиря вагою 10 мг діє на 1 см^2 . У метеорології тиск виражають в *гектопаскалях* (гПа) з точністю до десятих частин, тобто $1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}$.

В метеорології атмосферний тиск вимірюють *висотою ртутного стовпа* в барометрі, що врівноважує цей тиск. Але висота ртутного стовпа при одному і тому ж тиску залежить від температури ртуті і від прискорення вільного падіння, яке змінюється від широти і висоти над рівнем моря. Для того, щоб виключити залежність висоти ртутного

стовпа від температури і від прискорення вільного падіння, її приводять до температури 0°C і прискорення на широті 45° на рівні моря за допомогою поправок. У метеорології застосовують позасистемну одиницю – *міліметр ртутного стовпа* (мм рт. ст.), тобто $1 \text{ мм рт. ст.} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_p \cdot g$. Тут $1 \cdot 10^{-3}$ - об'єм стовпа ртуті в барометрі, висотою 1 мм, $\rho_p = 13,595 \text{ г/см}^3$ – густина ртуті при $t = 0^{\circ}\text{C}$, $g = 9,807 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння на широті 45° , на рівні моря.

До недавнього часу в метеорології як одиницю вимірювання тиску використовувався *мілібар* (мб), тобто тисячна частина бара, який дорівнює 10^6 дін/см^2 , тобто $1 \text{ мб} = 10^3 \text{ дін/см}^2 = 10^2 \text{ Па} = 1 \text{ гПа}$.

Нормальним атмосферним тиском називається тиск, рівний вазі стовпа ртуті висотою 760 мм при температурі 0°C , на рівні моря, на широті 45° .

На кожний 1 см^2 поверхні землі атмосфера тисне з силою приблизно 10 ньютон, або масою 1 кг, а на кожний 1 м^2 – 10 тонн.

Із збільшенням висоти місця над землею поверхнею, стовп повітря, який знаходиться вище, стає меншим і тому атмосферний тиск з висотою місця падає. Зменшення тиску не пропорційне скороченню стовпа повітря, тому що густина повітря також зменшується з висотою.

На практиці необхідно знати зміни тиску при кінцевому прирості висоти від Z_1 до Z_2 і при будь-якій реальній зміні температури і густини повітря з висотою. Отримати в загальному вигляді рівняння залежності тиску від висоти неможливо, тому що характер зміни температури і густини з висотою неоднаковий. Тому на практиці основне рівняння статички розв'язують при різних спрощених передумовах про зміну температури і густини повітря з висотою.

Завдання 1. Знайти атмосферний тиск біля земної поверхні (Р) в мб, гПа та мм.рт.ст., якщо вертикальний стовп повітря із перетином 1 см^2 і масою 1004 г. простягається до верхньої межі атмосфери.

Варіанти вихідних даних до завдання 1

Варіант	Маса стовпа повітря, г	Варіант	Маса стовпа повітря, г	Варіант	Маса стовпа повітря, г
1	1020	11	1018	21	983
2	1005	12	990	22	1015
3	1000	13	1002	23	996
4	998	14	985	24	984
5	1001	15	1008	25	994
6	999	16	980	26	986
7	1016	17	981	27	989
8	997	18	1003	28	988
9	1022	19	982	29	987
10	995	20	1010	30	978

Завдання 2. На контурну карту нанести всі НПП України в порядку збільшення площі. Інформацію про НПП занести у таблицю (роздатковий матеріал).

Варіанти вихідних даних до завдання 2

№	Висот а Z, м	P_z , гПа	№	Висот а Z, м	P_z , гПа	№	Висот а Z, м	P_z , гПа
1	46	995,0	11	506	945,0	21	1012	860,0
2	92	990,0	12	552	940,0	22	1104	850,0
3	138	985,0	13	958	935,0	23	1196	840,0
4	184	980,0	14	644	930,0	24	1288	830,0
5	230	975,0	15	690	920,0	25	1380	820,0
6	276	970,0	16	736	910,0	26	1472	810,0
7	322	965,0	17	782	900,0	27	1564	700,0
8	368	960,0	18	828	890,0	28	1656	790,0
9	414	955,0	19	874	880,0	29	1748	780,0
10	460	950,0	20	920	870,0	30	1840	770,0

Завдання 3. Визначити атмосферний тиск (PZ) на висоті над рівнем моря $Z = 3680$ м, якщо температура повітря і атмосферний тиск на рівні моря відповідно дорівнюють $t_0 = 34,6^\circ\text{C}$ та $P_0 = 1048,5$ гПа і при цьому середній вертикальний градієнт температури повітря до рівня 3680 м складає $\gamma = 0,5^\circ\text{C}/100$ м.

Варіанти вихідних даних до завдання 3

№	t, °C	P, гПа	№	t, °C	P, гПа	№	t, °C	P, гПа
1	32,4	1045,4	11	10,4	1014,4	21	-11,6	983,4
2	30,2	1042,3	12	8,2	1011,3	22	-13,8	980,3
3	28,0	1039,2	13	6,0	1008,2	23	-16,0	977,2
4	25,8	1036,1	14	3,8	1005,1	24	-18,2	974,1
5	23,6	1033,0	15	1,6	1002,0	25	-20,4	971,0
6	21,4	1029,9	16	-0,6	998,9	26	-22,6	967,9
7	19,2	1026,8	17	-2,8	995,8	27	-24,8	964,8
8	17,0	1023,7	18	-5,0	992,7	28	-27,0	961,7
9	14,8	1020,6	19	-7,2	989,0	29	-29,2	958,6
10	12,6	1017,5	20	-9,4	986,5	30	-31,4	955,5

Завдання 4. Визначити вертикальний градієнт тиску G_v , якщо барична сходинка складає $h = 12,5$ м/гПа

Варіанти вихідних даних до завдання 4

Варіант	Барична сходинка м/гПа	Варіант	Барична сходинка м/гПа	Варіант	Барична сходинка м/гПа
1	5,6	11	7,6	21	9,6
2	5,8	12	7,8	22	9,8
3	6,0	13	8,0	23	10,0
4	6,2	14	8,2	24	10,2
5	6,4	15	8,4	25	10,4

6	6,6	16	8,6	26	10,6
7	6,8	17	8,8	27	10,8
8	7,0	18	9,0	28	11,0
9	7,2	19	9,2	29	11,2
10	7,4	20	9,4	30	11,4

Список рекомендованої літератури

1. Галік О. І. Метеорологічні прилади і методи спостережень: Практикум : навч. посіб. 2008. 134с.
1. Гушля А. В., Мезенцев В. С. Водно-балансовые исследования. Киев : Высшая школа. Головное изд-во, 1982. 229 с.
2. Колесник П. И. Метеорология. Практикум. Киев : Высшая школа. Головное изд-во, 1986. 175 с.
3. Методические указания по экспериментальному определению основных элементов водного и теплового баланса / Под ред. Сорокина В. Г. Ровно : 1977. 74 с.
4. Моргунов В. К. Основы метеорологии, климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений: Учебник. Ростов/Д. : Феникс. Новосибирск: Сибирское соглашение, 2005. 331 с.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, часть I. Метеорологические наблюдения на станциях. Л. : Гидрометеоиздат, 1985. 300 с.
6. Психрометрические таблицы. Л. : Гидрометеоиздат, 1974. 232 с.
7. Чеботарев А. И., Клибашев К. П. Гидрологические расчеты. Л. : Гидрометеоиздат, 1956. 296 с.