

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЇ І ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ

ПРОГНОЗИ АНОМАЛЬНИХ ПОГОДНИХ ЯВИЩ. ПРОГНОЗ ПОСУХИ, ПРОГНОЗ ЗАМОРОЗКІВ

ЕЛЕКТРОНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять
з дисципліни «Спеціалізовані прогнози погоди»,
модуль «Прогнози для сільського і лісового господарства,
транспорту та енергетики»
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності Е4 Науки про Землю

ОДЕСА
ОНУ
2025

**УДК 551.509:[551.577.38:551.524.37](072)
П783**

Укладач:

Г. О. Боровська, кандидат географічних наук, доцент кафедри метеорології та кліматології факультету гідрометеорології і екології Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Рецензенти:

О. В. Вольвач, кандидат географічних наук, доцент, завідувачка кафедри агрометеорології та агроєкології факультету гідрометеорології і екології Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

О. В. Уманська, кандидат географічних наук, завідувачка Центру прогнозів Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою факультету гідрометеорології і екології
ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 13 від 24 квітня 2025 р.*

П783 **Прогнози** аномальних погодних явищ. Прогноз посухи, прогноз заморозків [Електронний ресурс] : електрон. метод. вказівки до практ. занять з дисципліни «Спеціалізовані прогнози погоди», модуль «Прогнози для сільського і лісового господарства, транспорту та енергетики» для здобувачів другого (магістер.) рівня вищ. освіти спец. Е4 Науки про Землю / уклад. Г. О. Боровська. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2025. – 48 с. – 2,1 МБ.

Методичні рекомендації розроблені для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Метеорологія та кліматологія» спеціальності Е4 «Науки про Землю» для опанування матеріалу при підготовці до практичних занять, оформленні робіт при самостійному виконанні завдань.

УДК 551.509:[551.577.38:551.524.37](072)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ПРОГНОЗ ПОСУХИ	6
1.1. Загальні теоретичні відомості	6
1.2. Показники посух	11
1.3. Дослідження посух в Україні	18
1.4. Синоптичні умови формування посух в Україні	19
1.5. Повторюваність бездощових періодів у поточних кліматичних умовах	22
Питання для самоперевірки	23
Практична частина	23
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	25
2. ЗАМОРОЗКИ. ПРОГНОЗ ЗАМОРОЗКІВ	27
2.1. Теоретичні відомості	27
2.2. Прогноз заморозків в повітрі	29
2.3. Прогноз заморозків на ґрунті	36
Питання для самоперевірки	38
Практична частина	38
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	40
Додаток А	
Середня декадна температура повітря, °С (1991–2020 рр.)	41
Середня декадна кількість опадів, мм (1991–2020 рр.)	43
Додаток Б	
Психрометрична таблиця	47

ВСТУП

Методичні вказівки до практичних занять з дисциплін “Спеціалізовані прогнози погоди” призначені для здобувачів першого року навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Е4 Науки про Землю факультету гідрометеорології і екології.

Метою даних методичних вказівок є формування у студентів сучасних уявлень про регіональні прояви макроциркуляційних атмосферних процесів та мезомасштабних процесів з урахуванням особливостей атмосферних процесів, які обумовлені дією орографії; підготовка фахівців, обізнаних з сучасними методами прогнозування закономірностей розвитку процесів і екстремальних явищ.

Зважаючи на зростання частоти, тривалості й інтенсивності посушливих періодів у зв'язку зі зміною клімату, прогнозування посухи має важливе прикладне та методичне значення для агрометеорології, гідрометеорології, сільського господарства, водного господарства та надзвичайних ситуацій.

У методичних вказівках представлено науково обґрунтовану класифікацію посух (метеорологічна, агрометеорологічна, гідрологічна), висвітлено механізми їхнього формування, просторово-часові закономірності прояву на території України, а також особливості впливу атмосферної циркуляції та фізико-географічних чинників на розвиток дефіциту вологи. Особливу увагу приділено методам оперативного й довгострокового прогнозування посух із застосуванням індексів зволоження, а також адаптивних кліматичних індикаторів, що враховують температурно-вологісний режим та стан ґрунтової вологи. Наведено алгоритми оцінки ступеня посушливості, імовірності виникнення посух у вегетаційний період та моделі прогнозу з урахуванням великомасштабних атмосферних процесів.

У методичних вказівках систематизовано основні поняття, класифікації, фізико-метеорологічні передумови виникнення заморозків, а також особливості їх просторового та сезонного розподілу. Значна увага приділена характеристиці заморозків на фоні весняного та осіннього періодів, що мають найбільше практичне значення для агросектору. Представлений матеріал базується на сучасних наукових даних, а також на багаторічних метеорологічних спостереженнях, що забезпечує його надійність та практичну цінність.

Після виконання практичних робіт магістри отримують знання щодо методів прогнозування гідрометеорологічних явищ, які базуються на емпіричних, статистичних та динамічних підходах, з урахуванням потреб певних галузей економіки.

Після виконання практичних робіт магістри повинні вміти виготовляти та розповсюджувати спеціалізовані прогнози для споживачів, включаючи попередження про небезпечні та стихійні явища.

Практичні заняття розраховані на 8 годин, мають на меті: закріпити знання теоретичної частини курсу, розвинути у студентів практичні навички самостійного вивчення матеріалу.

Методичні вказівки містять необхідний перелік літературних джерел, в додатках наведені необхідні вихідні та довідкові матеріали.

Методичні вказівки передбачають виконання двох окремих завдань. До кожного завдання дається декілька варіантів.

Контроль по кожній практичній роботі проводиться у формі звіту про виконання практичної роботи, який дає змогу оцінити ступінь засвоєння студентами теоретичного матеріалу та практичних знань та навичок.

1. ПРОГНОЗ ПОСУХИ

Метою даної роботи є ознайомлення з синоптичними процесами в Північній півкулі, що призводять до формування аномальних погодних явищ в окремих регіонах України.

Після виконання практичного завдання студент має *оволодіти такими вміннями*:

- визначити умови формування весняно-літньої, літньо-осінньої посухи на території України ;
- розрахувати гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянинова (ГТК);
- визначити індекс посушливості Педя Д. А;
- визначити кількість та тривалість бездощового періоду в досліджуваній період;

1.1. Загальні теоретичні відомості

17 червня щороку відзначається Всесвітній день боротьби з опустеленням і посухою. Це міжнародний день ООН, що і покликаний звернути увагу людей на необхідність міжнародного співробітництва для ефективної боротьби з опустеленням і засухою в природному середовищі.

Цей день був проголошений 1995 року Генеральною Асамблеєю ООН (резолюція A/RES/49/115) у зв'язку з річницею від дня прийняття 1994 року Конвенції ООН по боротьбі з опустеленням. Державам пропонувалося присвячувати цей день підвищенню інформованості про необхідність міжнародного співробітництва в боротьбі з опустеленням і наслідками посухи й про хід здійснення Конвенції ООН по боротьбі з опустеленням.

Україна має найвищий ризик посухи у світі серед 138 країн. Про це свідчать дані дослідження Інституту світових ресурсів. Перша п'ятірка країн із відчутним рівнем загрози (з коефіцієнтом у 0,75 і вище) – це Молдова, Україна, Бангладеш, Індія й Сербія. Рейтинг складали з урахуванням трьох показників – сільськогосподарського, промислового і регіонального.

Посушливі явища приносять значну шкоду сільськогосподарському виробництву. Посухи і суховії знижують врожайність, іноді приводять до загибелі посівів.

Посуха виникає унаслідок відсутності опадів у поєднанні з високою температурою і зниженою вологістю повітря, викликає гноблення або загибель рослин. У більш широкому розумінні посуха пов'язана з тривалою відсутністю опадів (або значним їхнім скороченням порівняно із середніми багаторічними нормами) у поєднанні з підвищеними температурами повітря, ґрунту і вітрами, що приводять до різкого зниження відносної вологості повітря, виснаження запасів ґрунтової вологи, порушення водного балансу рослин і тварин, недоборові сільськогосподарської продукції, а в екстремальних умовах – до загибелі усього врожаю, сільськогосподарських тварин.

Розрізняють посуху атмосферну, ґрунтову, гідрологічну.

Атмосферна посуха характеризується високою температурою й низькою відотною вологістю повітря (10–20%). Її згубна дія полягає в тому, що при підсиленні транспірації порушується співвідношення між надходженням і витратою води рослиною, внаслідок чого рослина починає в'янути.

Найчастіше атмосферна посуха спостерігається навесні, коли ґрунт ще насичений водою після танення снігу, або ж при зрошенні, яке застосовують в умовах посушливого клімату. Метеорологічним критерієм посухи є нестача опадів або їхня повна відсутність тривалий час (2–3 декади підряд). При сумі опадів за вегетаційний період менш 50% норми спостерігаються дуже сильні посухи; 50–70% опадів норми свідчать про сильну посуху; 71–80% норми – про середню посуху. При цьому відзначається позитивна аномалія температури повітря від 1–1,5 до 3–4°C (температура вище норми).

Посуха є комплексним природним явищем, яке пов'язане з дефіцитом вологи і спостерігається в будь-яких кліматичних зонах. В залежності від факторів, що спричиняють посуху, та її впливу на різні галузі народного господарства, виділяють різні типи посух [1–5].

Атмосферна посуха виникає на фоні тривалого бездощів'я з низькою вологістю і високою температурою повітря. Ґрунтова посуха настає при висушуванні ґрунту, в результаті чого надходження води до коренів рослин сповільнюється або припиняється зовсім. При поєднанні проявів атмосферної та ґрунтової посухи виникає загальна посуха, яка є особливо небезпечною для рослин через їх нездатність поповнюватися вологою з ґрунту на фоні високих температур повітря.

Ґрунтова посуха настає при відсутності опадів та тривалій атмосферній посусі. Спостерігається переважно у другій половині літа, коли зимові запаси

вологи вичерпані, а влітку випало мало опадів. Така посуха значно небезпечніша, ніж атмосферна, оскільки сухий ґрунт не забезпечує рослини водою і вони входять у стан тривалого в'янення. При цьому рослинні тканини дуже зневоднюються, їх ріст уповільнюється, а то й зовсім припиняється.

Агрометеорологічні критерії посухи – вміст вологи в ґрунті і коефіцієнти зволоження. Зменшення запасів продуктивної вологи в орному горизонті ґрунту (0-20 см) до 20 мм і менше можна прийняти за початок посухи, менш 10 мм – сильна посуха, 0 мм (висушування орного горизонту ґрунту) – дуже сильна посуха. Цей критерій найбільш надійний, тому що показує дефіцит вологи безпосередньо під сільськогосподарською рослиною.

Коефіцієнти зволоження, що представляють собою відношення опадів до випаровуваності за визначений проміжок часу, також зручно застосовувати як показник ступеня посушливості. Найчастіше для цих цілей використовують гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянинова (ГТК).

Він розраховується за формулою:

$$K_c = \sum R / 0,1 \sum t, \quad (1.1)$$

де $\sum R$ – сума опадів за вегетаційний період, мм;

$\sum t$ – сума температур повітря $> 10^\circ\text{C}$ за цей період, $^\circ\text{C}$;

Встановлено такі оцінки зволоження території в залежності від значення

K_c : $< 0,5$ – досить мало опадів і дуже посушливо;

$0,5 - 1,0$ – посушливо і недостатньо волого;

$> 1,0$ – збитково волого.

K_c добре узгодиться з геоботанічними зонами: $K_c = 1,1 - 1,3$ відповідає зоні Полісся, $K_c = 0,8 - 1,0$ – Лісостепу, $K_c = 0,6 - 0,8$ – Степу, $K_c = 0,3 - 0,5$ – зоні Напівпустелі, $K_c < 0,3$ – Пустелі.

Доведено, що $0,1 \sum t > 10^\circ\text{C}$ чисельно дорівнює випаровуваності.

Умови зволоження будуть достатніми (задовільними), якщо ГТК $> 1,0$.

Його застосовують, тільки коли середньодобова температура повітря більша за 10°C , тобто він непридатний для весни, осені і тим більше зими. Можна розраховувати ГТК і за окремі періоди, але тривалістю не менш одного місяця.

Значення ГТК $< 0,7$ для лісостепової і підтайгової зони і $< 0,6$ для степової зони приймають за критерій посухи. Більш диференційовано за ГТК

визначають ступінь посушливості (для південно-східних районів європейської частини):

Параметр	Критерій посухи			
Посуха	Слабка	Середня	Сильна	Дуже сильна
ГТК	0,9–0,6	0,6–0,5	0,5–0,4	< 0,4

Д. А. Педем був розроблений індекс посушливості $S_i(\tau)$ для опису посух, що враховує аномальні умови погоди, найбільш важливі для формування посухи, такі як аномалії в розподілі температури повітря ΔT , опадів ΔR і вологості діяльного шару ґрунту ΔE :

$$S_i(\tau) = \frac{\Delta T}{\sigma_T} + \frac{\Delta R}{\sigma_R} + \frac{\Delta E}{\sigma_E}, \quad (1.2)$$

де i – номер пункту;

$\Delta T = T - T_n$, $\Delta R = R - R_n$, $\Delta E = E - E_n$ (різниця між фактичним і нормальним значенням температури, опадів і вологи відповідно);

σ – середнє квадратичне відхилення; $\left(\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \right)$,

τ – час.

Повна формула $S_i(\tau)$ відповідає атмосферно-ґрунтовій посусі, найбільш небезпечній для сільського господарства. Якщо взяти два перших члени формули (1.2), то вони описують тільки атмосферну посуху, а третій член – ґрунтову посуху. Оскільки не завжди є дані вимірів вологості діяльного шару ґрунту E , звичайно використовується спрощена формула, що враховує метеорологічні умови посухи (температуру повітря й атмосферні опади):

$$S_i(\tau) = \frac{\Delta T}{\sigma_T} + \frac{\Delta R}{\sigma_R}. \quad (1.3)$$

За значенням S_i можна судити про інтенсивність атмосферної посухи: чим більше S_i , тим сильніше явище, і навпаки.

За граничні взяті такі значення: слабка посуха $S_i = 1,0 - 2,0$, середня посуха – $S_i = 2,0 - 3,0$, сильна посуха $S_i \geq 3,0$.

Критерій Педя усуває недоліки ряду запропонованих раніше критеріїв, у тому числі і ГТК Селянінова, і виступає найбільш науково обґрунтованим і прийнятним для практичного застосування.

Агрономічним критерієм посухи вважають зниження врожайності провідних сільськогосподарських культур як наслідок впливу посухи.

Якщо врожайність в оцінюваному році знизилася порівняно із середньою за кілька років до 20%, то посуха слабка, 20–50% – середня, більше 50% – сильна.

Більш об'єктивно оцінити посуху можна, якщо одночасно використовують два-три критерії, наприклад, запаси продуктивної вологи і врожайність, гідротермічний коефіцієнт, запаси вологи і врожайність тощо.

Ґрунтова й атмосферна посуха можуть бути одночасно.

Гідрологічна посуха описується як стійке і регіонально велике явище з нестачею природної води нижче середнього [6]. Гідрологічна посуха це період часу, коли вміст води в струмках, водосховищах, підземних водоносних горизонтах, озерах і ґрунтах нижче середнього. Цей період пов'язаний з впливом дефіциту опадів (включаючи снігопад) на поверхневе і підземне водопостачання, а не з прямим дефіцитом опадів. Гідрологічна посуха може бути результатом тривалих метеорологічних засух, які призводять до висихання водойм, озер, струмків, річок і зниження рівня підземних вод.

Гідрологічна посуха характеризується через такі параметри:

- суворість, яка виражається в індексах посухи;
- час її появи та тривалість;
- територія розповсюдження;
- частота виникнення.

За часом виникнення прийнято розрізняти посуху весняну, літню і осінню.

Весняна посуха проходить при порівняно невисоких температурах повітря, але з низькою відносною вологістю і сильними вітрами, що висушують ґрунт. Таке поєднання погодних умов приводить до швидкого висушування верхнього горизонту ґрунту, що негативно позначається на стані ярових зернових на початку їхнього розвитку, на поновленні вегетації озимих.

Літня посуха відрізняється високою температурою, низькою вологістю повітря, великою випаровуваністю і дефіцитом вологи в ґрунті. Підсилюється суховійними явищами. Шкода від літньої посухи найбільша, тому що різко

падає врожайність сільськогосподарських культур, знижується якість одержуваної продукції.

Осіння посуха спостерігається на тлі низьких температур і вологості повітря. До цього періоду року велика частина зернових культур прибрана, але настає час сівби озимих, насіння яких попадають у сухий ґрунт, і до настання холодів озимі бувають погано розвиненими.

На рис. 1.1 наведено схему розвитку посухи.

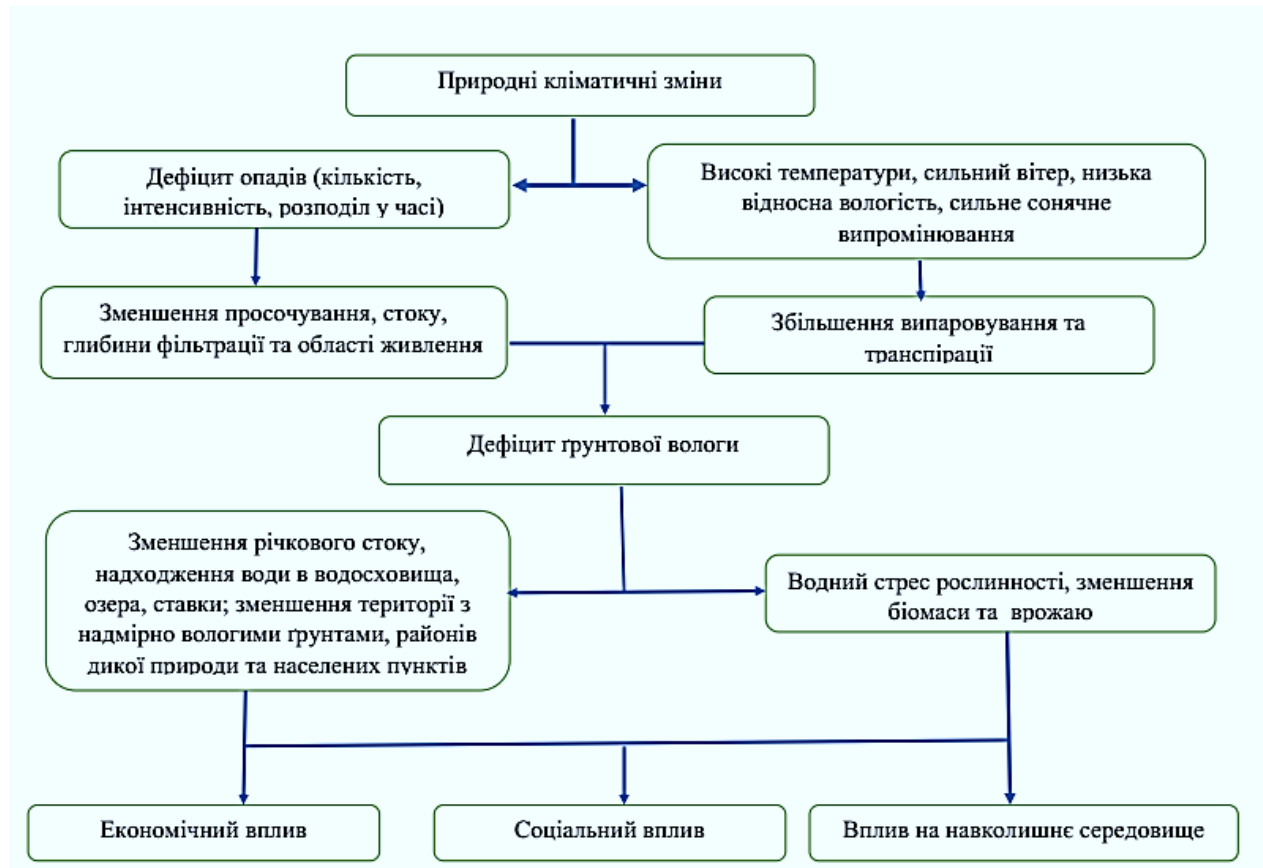


Рис. 1.1. Схема розвитку посухи

1.2. Показники посух

Дослідження посух в більшості робіт базуються на використанні даних про режим опадів, випаровуваність, дефіцит вологості повітря, температуру повітря, радіаційний баланс тощо. Оскільки окремі метеорологічні величини не можуть описати таке складне комплексне явище як посуха, використовуються різноманітні коефіцієнти або індекси посух, які враховують, як правило, умови зволоженості та температурний режим

протягом певних періодів часу. Всі існуючі кількісні показники мають як переваги, так й недоліки, тому для оцінки інтенсивності і розповсюдженості посухи на конкретній території бажано використовувати декілька параметрів та їх порівняння.

Для характеристики посух використовують доволі різноманітні їх показники та індекси [7]. Показники являють собою змінні або параметри, що використовуються для опису посушливих умов. Прикладами таких показників є кількість опадів, температура, річковий стік, рівень ґрунтових вод та води у водосховищах, ґрунтова волога та сніговий покрив. Індекси, як правило, є представленнями інтенсивності посухи, які отримані шляхом чисельних розрахунків та оцінені з використанням кліматичних та гідрометеорологічних вхідних параметрів, включаючи показники, перераховані вище. Вони призначені для оцінки якісного стану посушливості на даному ландшафті за конкретний період. Індекси, строго кажучи, також є показниками. Моніторинг клімату у різних часових масштабах дозволяє виявляти короточасні вологі періоди протягом тривалих періодів посух або короточасні періоди посушливості протягом довготривалих вологих періодів. Індекси можуть використовуватися для спрощення складних співвідношень і служити корисним засобом для інформування найрізноманітніших аудиторій та користувачів, включаючи населення. Індекси використовуються для кількісної оцінки інтенсивності, району поширення, термінів та тривалості явища посухи. Під інтенсивністю розуміється ступінь відхилення від значення індексу. Можливо встановлення граничного значення інтенсивності, щоб визначити, коли почалася посуха, коли вона закінчилася, а також який географічний район зазнав її впливу. Районом поширення може бути географічна область, яка зазнає впливу посушливих умов. Терміни та тривалість визначаються за приблизними датами настання та завершення посухи. Взаємозв'язок між небезпечним явищем і елементами, що зазнали впливу (люди, сільськогосподарські угіддя, водосховища та запаси води), а також уразливістю цих елементів до посух визначає наслідки [7].

У довіднику ВМО по показникам та індексам посухи [7] відмічається, що як не існує універсального визначення поняття посухи, так не існує й єдиного індексу або показника, який міг би характеризувати всі типи посух, кліматичні режими та сектори, що піддаються впливу посухи, та застосовуватися до них. Жоден показник або індекс не може використовуватись для визначення

належних заходів для всіх типів посух, з урахуванням кількості та різноманітності секторів, що піддаються впливу. Бажано використовувати різні порогові значення з різними комбінаціями вхідних даних. Автори довідника наводять класифікацію індексів посух, поділяючи їх в залежності від простоти використання за принципом «сигналів світлофора» для кожного показника/індексу:

Зелений: індекси вважаються зеленими, якщо застосовуємо один або більше з наступних критеріїв:

- код або програма для прогону індексу легкодоступна та безкоштовна;
- добові дані не потрібні; - допускаються пропуски у даних;
- результати використання індексу можна отримати в оперативному режимі та доступні он-лайн.

Жовтий: індекси вважаються жовтими, якщо застосовуються один або більше з наступних критеріїв:

- для розрахунків потрібна множина змінних або вхідних параметрів;
- код або програма для прогону індексу відсутня у відкритому доступі;
- може знадобитися лише один параметр або змінна, однак код недоступний;
- складність розрахунків для отримання індексу є мінімальною.

Червоний: індекси вважаються червоними, якщо застосовуємо один або більше з наступних критеріїв:

- необхідно розробити код для розрахунку індексу на основі методології, описаної в літературі;
- індекс або похідна продукція є легкодоступними;
- індекс маловідомий і не використовується широко, проте може бути застосовним;
- індекс містить вхідні параметри, отримані шляхом моделювання або є частиною розрахунків.

В табл. 1.1 наведена вищезгадана класифікація окремо для метеорологічних та гідрологічних індексів посух. Серед метеорологічних індексів до «зеленої категорії» віднесені: індекс аномальної аридності AAI, який розповсюджений в Індії; індекс Децилі (приклад використання в Австралії); індекс посушливості Кетча-Бирама KBDI; використання відсотка від норми опадів, а також широко відомий стандартизований індекс опадів SPI

або його модифікації. До «жовтої категорії» віднесені широко розповсюджені на території колишнього СРСР гідротермічний коефіцієнт Селянинова (ГТК) та найбільш вживаний в США індекс інтенсивності посухи Палмера (PDSI) внаслідок складності розрахунків та необхідності наявності рядів вихідних даних без пропусків. До категорії «красних» віднесені індекси, які розроблені для окремих територій та вимагають для розрахунку велику кількість вхідних даних за багатьма змінними.

Таблиця 1.1

Показники та індекси посух [7]

Простота використання	Зелений	
1	2	3
Метеорологія	Вхідні параметри	Додаткова інформація
Індекс аномальної аридності (AAI)	P, T, PET, ET	Використовується в оперативному режимі в Індії
Децилі	P	Легко розраховуються; можуть бути корисними приклади застосування в Австралії
Індекс посухи Кетча Бірма (KBDI)	P, T	Розрахунки з урахуванням клімату аналізованої території
Відсоток від норми опадів	P	Прості розрахунки
Стандартизований індекс опадів (SPI)	P	Виділено ВМО як відправна точка для моніторингу метеорологічних посух
Зважений стандартизований індекс аномальних опадів (WASP)	P,T	Використовує дані з координатною прив'язкою для моніторингу посух у тропічних районах
Відсоток від норми опадів	P	Прості розрахунки
Стандартизований індекс опадів (SPI)	P	Виділено ВМО як відправна точка для моніторингу метеорологічних посух
Зважений стандартизований індекс аномальних опадів (WASP)	P,T	Використовує дані з координатною прив'язкою для моніторингу посух у тропічних районах
Простота використання	Жовтий	
Індекс аридності (AI)	P,T	Може також використовуватись у кліматичних класифікаціях
Z-індекс Китаю (CZI)	P	Призначений для вдосконалення за даними SPI
Індекс зволоження посівів (CMI)	P,T	Потрібні тижневі значення
Індекс посушливої території (DAI)	P	Дає уявлення про характер сезону мусонів

Таблиця 1.1 – Продовження

1	2	3
Рекогносцирувальний індекс посушливості (DRI)	P, T	Потрібні місячні значення температури та опадів
Ефективний індекс посушливості (EDI)	P	Програму можна отримати шляхом безпосереднього звернення до розробника
Гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК)	P, T	Прості розрахунки та ряд прикладів застосування в країнах колишнього СРСР
Індекс посухи NYOA (NDI)	P	Найкраще використовувати у с/г розрахунках
Індекс інтенсивності посухи Палмера (PDSI)	P, T, AWC	Не відноситься до зелених індексів через складність розрахунків та необхідність наявності рядів даних без пропусків
Ефективний індекс посушливості (EDI)	P	Програму можна отримати шляхом безпосереднього звернення до розробника
Гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК)	P, T	Прості розрахунки та ряд прикладів застосування в країнах колишнього СРСР
Індекс посухи NYOA (NDI)	P	Найкраще використовувати у с/г розрахунках
Індекс інтенсивності посухи Палмера (PDSI)	P, T, AWC	Не відноситься до зелених індексів через складність розрахунків та необхідність наявності рядів даних без пропусків
Індекс Z Палмера	P, T, AWC	Один із численних вихідних результатів розрахунків
Індекс аномальних опадів (RAI)	P	Потрібні ряди даних без перепусток
Індекс інтенсивності Палмера з автокалібруванням	P, T, AWC	Не відноситься до зелених індексів через складність розрахунків та необхідність наявності рядів даних без пропусків
Стандартизований індекс аномальності	P	Точкові дані використовуються для опису регіональних умов
Стандартизований індекс опадів та евапотранспірації (SPEI)	P, T	Потрібні ряди даних без пропусків; результати подібні до SPI, але включають температурний компонент
Простота використання	<i>Червоний</i>	
Сільськогосподарський базовий індекс посухи	P, T, Mod	Розроблений для південно східної частини Сполучених Штатів Америки і не зазнавав широкої апробації за межами регіону

Таблиця 1.1 – Продовження

1	2	3
Індекс посушливості, що враховує особливості сільськогосподарських культур	P, T, Td, W, Rad, AWC, Mod, CD	Потрібні якісні дані по багатьом змінним, що ускладнює використання
Меліоративний індекс посушливості (RDI)	P, T, S, RD, SF	Аналогічний індекс запасу поверхневої вологи, але включає температурний компонент
Простота використання	<i>Зелений</i>	
<i>Гідрологія</i>	Вхідні параметри	Додаткова інформація
Гідрологічний індекс посухи Палмера (PHDI)	P, T, AWC	Потрібні ряди даних без пропусків
Стандартизований індекс запасу водойми (SRSI)	RD	Розрахунки аналогічні SPI з використанням даних з водойми
Стандартизований індекс річкового стоку (SSFI)	SF	Використовується програма SPI поряд із даними по річковому стоку
Стандартизований індекс рівня води (SWI)	GW	Розрахунки аналогічні SPI, проте замість даних про опади використовуються дані про ґрунтові води або рівень води у свердловинах
Індекс стоку під час посухи (SDI)	SF	Розрахунки подібні до SPI, проте замість даних про опади використовуються дані про стік
Простота використання	<i>Червоний</i>	
Зведений індекс посушливості (ADI)	P, ET, SF, RD, AWC, S	Код відсутній, проте математичні викладки представлені у відповідних джерелах
Стандартизований індекс сніготанення та дощових опадів (SMRI)	P, T, SF, Mod	Може використовуватися з інформацією про сніговий покрив або без неї

Умовні позначки:

AWC – доступна волога
 CC – коефіцієнт сільськогосподарської культури
 CD – дані про сільськогосподарську культуру
 ER – екорегіон
 ET – евапотранспірація
 GW – підземні води
 LC – ґрунтово-рослинний покрив
 Mod – моделювання
 Multiple – використовується безліч індикаторів
 P – опади
 PET – потенційна евапотранспірація

Rad – сонячна радіація
 RD – резервуар
 S – сніговий покрив
 Sat – супутник
 SF – річковий стік
 ST – тип ґрунту
 SWD – дефіцит ґрунтової вологи
 T – температура
 Td – температура точки роси
 W – дані про вітер

Кожні чотири роки Комісія з сільськогосподарської метеорології ВМО розсилає запит до національних метеорологічних та гідрологічних служб (НМГС) з проханням заповнити анкету за національними звітами про діяльність в області сільськогосподарської метеорології.

Табл. 1.2 містить часткові результати опитування по окремих країнах, в тому числі й в Україні. Отже, незважаючи на появу нових індексів, на даний час найчастіше в Україні використовуються добре знані з радянських часів індекси Селянінова, Педя, Процорова, Багрова а також SPI.

Одним з найбільш широко використовуваних індексів у всьому світі для оцінки гідрологічної посухи стає стандартизований індекс стоку SRI [8], запропонований Shukla & Wood [9] на основі теорії стандартного індексу опадів SPI McKee [10]. Він залишається найбільш загальноприйнятим індексом через те, що його просто розрахувати, необхідні вихідні дані доступні та є можливість оцінити різні часові шкали гідрологічної посухи.

Таблиця 1.2

Результати опитування ВМО щодо використання індексів посушливості [7]

Країна	Індекс посушливості
Австрія	Стандартизований індекс опадів; кількість опадів у децилях
Болгарія	Індекс вологості ґрунту; індекс аридності; індекс Торнтвейту; стандартизований індекс опадів; індекс інтенсивності посухи Палмера; гідрометричний коефіцієнт Селянінова
Греція	Стандартизований індекс опадів; індекс інтенсивності посухи Палмера; меліоративний індекс посушливості; індекс посухи Палфау
Ізраїль	Стандартизований індекс опадів; відношення середніх значень опадів
Китай	Індекс дефіциту вологи у посівах; індекс вологості ґрунту; індекс аномальних опадів
Канада	Стандартизований індекс опадів; індекс реакції на посуху у період вегетації; відхилення опадів від норми; індекс інтенсивності посухи Палмера; змішані індекси, що використовуються в експериментальних моделях
Сполучені Штати Америки	Стандартизований індекс опадів; індекс інтенсивності посухи Палмера; індекс зволоження посівів; індекс запасу поверхневої вологи; відсоток від норми опадів
Туреччина	Стандартизований індекс опадів; індекс процентної частки від норми; індекс інтенсивності посухи Палмера
Україна	Гідротермічний коефіцієнт Селянінова; показник вологозабезпеченості Процорова; індекс аридності Багрова; стандартизований індекс опадів

1.3. Дослідження посух в Україні

Визначення індексів посух та їх використання в кліматичному моделюванні набуло актуальності в останні десятиріччя у зв'язку з стрімкими темпами глобального потепління, яке є особливо загрозливим для Півдня України. Представники Одеського державного екологічного університету активно досліджують це питання, серед них слід відмітити роботи В. М. Хохлова у співавторстві з Н. С. Єрмоленко [11], [12], ґрунтовне дослідження, проведено І. Г. Семеновою, представлене в монографічному виданні [5]. Отже, існуючі оцінки просторово-часового розподілу стандартизованого індексу опадів SPI для території України показали, що в період 1980–2009 рр. спостерігалася тенденція до збільшення кількості посух порівняно з періодом 1950–1979 рр., а максимум повторюваності посух спостерігався в Миколаївській, Херсонській, Одеській і Вінницькій областях [1]. У виконаних для території України дослідженнях посух із застосуванням індексу SPEI показано, що протягом другої половини ХХ століття і на початку поточного століття найбільша кількість посух спостерігалася в останні тридцять років (1981–2010 рр.), при цьому осередок максимальної повторюваності інтенсивних засух розташовувалася в південних і південно-західних областях – Чернівецькій, Одеській і Миколаївській [11].

В сумісній роботі І. Г. Семенової та А. М. Польового [13] представлені результати аналізу просторово-часового розподілу посух в теплі сезони періоду 2021–2050 рр. по території України, отримані з використанням даних кліматичного моделювання в рамках кліматичних сценаріїв RCP4.5 та RCP6.0. Оцінка подій посух та їх інтенсивності виконана на базі стандартизованого індексу посух SPEI на масштабі 7 місяців, який охоплює теплий період року з квітня по жовтень. Аналіз прогностичного часового ходу індексу посух по регіонах країни показав, що за обома сценаріями спостерігатиметься тенденція до переходу від помірно вологих умов у 2021–2035 рр. до посушливих умов у 2037–2050 рр. Найбільш посушливими за обома сценаріями очікуються 2044–2048 рр., коли в ряді областей сезонна посуха може досягнути екстремальної інтенсивності. За обома сценаріями, максимум повторюваності сезонів з посухою в 2021–2030 рр. припадатиме на західні області України, при цьому в рамках сценарію RCP4.5 в південних областях в цей період посух майже не прогнозується. В період 2031–2040 рр. зростання кількості сезонів з посухою в

середньому до 4–6 випадків/10 років відбуватиметься по всіх регіонах, окрім західних областей в рамках сценарію RCP6.0. В останнє десятиліття 2041–2050 рр. триватиме зростання посушливості, при цьому за сценарієм RCP6.0 кількість посушливих сезонів загалом по Україні очікується більшою, ніж в сценарії RCP4.5 [13].

1.4. Синоптичні умови формування посух в Україні

Сильні і тривалі посухи у Східній Європі часто зумовлені встановленням меридіонального переносу в атмосфері та формуванням стаціонарних антициклонів над північчю, північним заходом або центральними районами ЄТР, Нижнім Поволжям або Південним Уралом. Дещо рідше стаціонарні антициклони формуються над Карпатами або відділяються як осередки високого тиску в системі азорського антициклону. В тропосфері утворюється потужний гребінь або антициклон, що розташовується безпосередньо над районом посухи або на північний захід від нього.

Посухи над Східноєвропейською рівниною переважають при східній формі циркуляції (E), другою за повторюваністю є західна форма (W), третьою – меридіональна (C) форма за типізацією макропроцесів Вангенгейма-Гірса [3]. Загалом, кількість посух при формах E та C, які характеризуються встановленням меридіонального характеру циркуляції над континентом, майже вдвічі більша, ніж при західній формі. На півдні Східної Європи посухи найчастіше формуються при високій повторюваності форми циркуляції E у весняно-літній період, а також за умов тривалих періодів з безперервним існуванням цієї форми.

Умови для формування посух починають встановлюватись вже наприкінці зими та навесні. В період з лютого по червень над Європою часто виникають високі стаціонарні антициклони, які, перетворюючись на блокуючі, призводять до роздвоєння західного переносу в тропосфері на північну і південну гілки, внаслідок чого на Європейський континент надходить менше вологи. Послаблення західного переносу призводить до розвитку форми E, при існуванні якої тривалість сонячного сяння може буди аномально великою. У другій половині літа західне перенесення часто поновлюється, що є початком припинення бездощового і спекотного періоду на континенті.

Дослідження повторюваності циклонів та антициклонів у посушливі й вологі роки показало [11, 12], що при утворенні посух в Україні переважала антициклонічна діяльність (53%). У вологі роки, навпаки, переважали циклони, але з більшою повторюваністю – 69%. При цьому перевищення тривалості існування антициклонів складає 14 днів відносно норми, але посухи спостерігаються і в роки, коли днів з антициклонічною циркуляцією менше за норму.

Для півдня України особливе значення мають південні циклони, адже вони надають до 40–45% (іноді 60–70%) річної кількості опадів переважно в холодний період року. В тепле півріччя основну кількість опадів забезпечують активні атмосферні фронти і процеси відсіченого циклогенезу [5], мала повторюваність або відсутність яких веде до швидкого виникнення дефіциту вологи на фоні високих температур повітря. Аналіз повторюваності південних циклонів у вологі й посушливі роки показав, що суттєвої відмінності у частоті цих процесів немає, але в посушливі роки, особливо влітку, на Україну переміщуються переважно слабо розвинуті циклони, які приносять невелику кількість опадів порівняно з циклонами, що формуються у вологі роки. Тим не менше, роль південних циклонів у режимі зволоженості України дуже велика. Як показано в [5], в роки, коли повторюваність південних циклонів взимку висока, ймовірність посухи влітку становить всього 3%.

Глобальні зміни клімату, які почалися наприкінці минулого століття, позначилися на характері макроциркуляційних процесів і режимі метеорологічних полів над Східною Європою. Як показали дослідження [5], в Україні відбулося підвищення зимової температури повітря, що призвело до зменшення висоти і періоду залягання снігового покриву. Разом з цим, літо стало дещо прохолоднішим, але збільшилася частота появи відносно коротких сухих періодів з температурою повітря до $+35^{\circ}\text{C}$, що вже на п'ятий день спричиняє суттєве висушування верхнього шару ґрунту.

Аналіз баричних полів виявив, що повторюваність описаних раніше атмосферних процесів, які призводять до посух в Україні, зменшилася. За дослідженнями Мартазинової В. Ф. та ін. [14] визначено три типи полів тиску, за яких наприкінці ХХ ст. здійснювалось надходження сухого і теплого повітря на південь Східної Європи.

Перший тип – західний, який супроводжується надходженням теплого повітря в системі антициклонів, пов'язаних з азорським максимумом. На

відміну від попереднього часового періоду, цей процес став менш повторюваним і нестійким за часом, а посушливі умови, як правило, неінтенсивними.

Другий тип – південний, який супроводжується надходженням теплого повітря з півдня, що відбувається на фоні меридіональної перебудови поля тиску в тропосфері. Цей процес є нетривалим, але призводить до суттєвого підвищення температури повітря (до 10 °C за добу) і передує подальшому процесу вторгнення сухого та прохолодного повітря з півночі, який, у свою чергу, є більш тривалим і провокує настання посухи. Цей процес є найбільш несприятливим для сільського господарства саме у весняно-літній період.

Третій тип – східний, пов'язаний з розвитком і поширенням на захід потужного блокуючого антициклону над Уралом. Такий процес може здійснюватися як взимку, забезпечуючи проникнення континентального холодного повітря в Східну Європу, так і в літній період, зумовлюючи, навпаки, надходження прогрітого і сухого континентального повітря в Україну по південній периферії високого й теплого антициклону. Процес відбувається на фоні чітко вираженої меридіональності в тропосфері і є дуже стійким завдяки постійній регенерації антициклону. Такі антициклони можуть породжувати в Україні у весняно-літній період ще одне несприятливе посушливе явище – суховій, який виникає при східних і південно-східних вітрах на південній (південно-західній) периферії антициклону, що посилюється над центром або сходом ЄТР. В степових областях України суховійні явища можуть розвиватися також у виступі азорського антициклону та у гребенях арктичного походження з півночі, а в літній період короточасні суховії можуть бути пов'язані з термічною депресією або теплим сектором циклону [15].

Аналіз повторюваності блокуючих процесів в період утворення інтенсивних весняно-літніх посух на території України за допомогою індексу Лейєнаса-Окланда дозволив виявити загальну картину просторового розподілу блокуючих ситуацій [5]. Під час посух осередок максимальної повторюваності (понад 25%) індексів, які свідчать про блокування, знаходиться над північними районами України і центральними районами ЄТР вздовж широти 55° півн. ш., яку можна вважати центральною для ситуацій з сильними посухами в Україні. В роки з сильними посухами в Україні найбільша повторюваність блокуючих структур спостерігається саме над центральною частиною країни, при цьому

не можна виключати суттєвого впливу високої повторюваності блокуючих структур на заході.

Типове місячне висотне баричне поле при посухах в Україні має такі риси [5, 15]:

- 1) розщеплення зонального потоку на дві гілки – більш інтенсивну в північних районах Європи і менш інтенсивну над районами Середземномор'я;
- 2) формування субтропічного гребеня над Атлантикою на захід від Піренейського півострова;
- 3) малоградієнтне поле підвищеного тиску над територією України з вираженою баричною улоговиною над її східними районами.

1.5. Повторюваність бездощових періодів у поточних кліматичних умовах

Починаючи з 1986 року з метою раціонального використання ресурсів клімату, оптимального розміщення основних сільськогосподарських культур та підвищення продуктивності сільського господарства використовується агрокліматичне районування (зонування) території України (рис. 1.2). Для нього було застосовано дані метеорологічних спостережень (про температуру та опади) за період 1956–1985 рр.



Рис. 1.2. Агрокліматичне районування території України

[Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ 2014, Видавництво ТОВ «РІА»БЛІЦ. С. 18]

Бездощові періоди виступають критерієм посушливості, адже характеризують тривалість періоду без ефективних опадів. Ефективність опадів оцінюється як їх кількість, яка може якось використовуватись рослинами. Встановлено, що опади до 1 мм не засвоюються рослинами, а до 3 мм звичайно не підвищують вологість ґрунту, але опади до 5 мм влітку зволожують поверхневий шар ґрунту і можуть використовуватись рослинами за умови, якщо ґрунт не є сухим. Опади до 5 мм можуть суттєво знизити температуру ґрунту, а також підвищити вологість приземного шару повітря, що навіть влітку, особливо при похмурій погоді, створює сприятливі умови для росту рослин. Отже, саме кількість опадів у 5 мм береться як критерій ефективних опадів.

Бездощовим вважають період 10 діб і більше без опадів або з незначною кількістю (менше 1 мм); бездощовий період вважають перерваним, якщо опадів випало не менше 5 мм за добу, або 1,0–4,9 мм, якщо вони випадають декілька разів з перервою меншою ніж 10 днів.

Питання для самоперевірки:

1. Які розрізняють види посух?
2. Які основні причини виникнення кожного виду посухи?
3. Що є метеорологічним критерієм посухи?
4. За яких макроциркуляційних умов починається формування посухи?
5. Яку роль відіграють блокуючі процеси атмосфери в формуванні посух?
6. Яку типову структуру має висотне баричне поле при формуванні тривалих посух в Україні?
7. Які кількісні показники (критерії) застосовують для оцінки посух?
8. Який критерій застосовують як показник ступеня посушливості?
9. Що вважають бездощовим періодом?

Практична частина

Порядок виконання роботи:

1. Оцінити посушливість:
 - розрахувати гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянинова (ГТК);
 - визначити індекс посушливості Педя Д. А.

Для розрахунків використовують дані таблиць Агрокліматичного довідника (Додаток) по декадних температурах повітря і сумах опадів та дані

за 202_ р. (<https://meteopost.com/weather/archive/> або <https://www.ncei.noaa.gov/>) по станціях, вказаних викладачем.

Визначають значення ГТК за окремі місяці (травень, червень, липень, серпень), за першу половину вегетації (травень–липень), другу (липень–серпень) і загалом за весь період (травень–серпень), коли відбувається вегетація основних сільськогосподарських культур.

Розраховують ГТК за кожним з перерахованих місяців, а також за більш тривалі періоди. Результати заносять у таблицю 1.4.

Розраховують відхилення ($\pm$) температури повітря в 202_ р. від багаторічних значень, $^{\circ}\text{C}$, а також суму опадів 202_ р., % від багаторічних (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Вихідні дані для розрахунку

Показник	Місяць року											
	Травень			Червень			Липень			Серпень		
	Декада			Декада			Декада			Декада		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$t^{\circ}\text{C}$, 202_ рік												
$t^{\circ}\text{C}$, багаторічна												
Відхилення температури 202_ р. від багаторічного												
Σ опадів, мм, 202_ рік												
Σ опадів, мм, багаторічна												
Відхилення сум опадів 202_ р. від багаторічного												

2. Визначити інтенсивність посухи, що спостерігалася в 202_ р. На підставі отриманих ГТК (табл. 1.4) виділити найбільш і найменш посушливі місяці, а також оцінити за посушливістю першу половину вегетації (травень–червень), другу (липень–серпень) і весь період (травень–серпень).

3. За даними регулярних спостережень визначити кількість та тривалість бездощового періоду в досліджуваній період.

Таблиця 1.4

Розрахунок індексів посушливості

Показник	Місяць року				Період		
	Травень	Червень	Липень	Серпень	Травень-серпень	Травень-липень	Липень-серпень
Сума опадів, мм							
Сума температур, °С							
ГТК Селянинова							
Індекс Педея							

4. Скласти огляд синоптичних умов, які призвели до виникнення посухи. Для оцінки макросиноптичних умов рекомендується використовувати щоденні приземні карти погоди архіву MetOffice
http://www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Хохлов В. М. Просторово-часовий розподіл засух на території України в умовах зміни клімату. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2011, № 8. С. 38–43.
2. Семёнова И. Г. Метеорологические и синоптические условия засухи в Украине осенью 2011 г. *Український гідрометеорологічний журнал*, 2012, № 10. С. 58–64.
3. Семёнова И. Г. Оценка пространственно-временного распределения засух на Украине в вегетационный период. Труды ГГО им. А. И. Воейкова. 2014, Вып. 571. С. 134–146.
4. Справочник по показателям и индексам засухливости. ВМО-№1173, 2016.
5. Семенова І. Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посушливих явищ в Україні: монографія. Харків 2017, 236 с.

6. Tallaksen, L. M. & Van Lanen, Henny. Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. 2004. 579 p.
7. Svoboda M. and Fuchs B. A.. Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2 / World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). Geneva 2016. https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf.
8. Application of standardized runoff index on hydrological drought characteristics identification in Aksu River / Zhou H. H., Wang Y. Q., Fang G. H. et al. Journal of Water Resources and Water Engineering. 2019. Vol. 30 (2). P. 6–11.
9. Shukla S., Wood A. W. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. Geophysical Research Letters. 2008. Vol. 35. L02405.
10. McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales preprints. In 8th Conference on Applied Climatology. 1993. P. 179–184.
11. Хохлов В. М. Просторово-часовий розподіл засух на території України в умовах зміни клімату. Український гідрометеорологічний журнал. 2011. № 8. С. 38–43.
12. Хохлов В. М., Єрмоленко Н. С. Просторово-часова мінливість посух в Східноєвропейському секторі в умовах глобальних змін клімату. Український гідрометеорологічний журнал. 2012. № 11. С. 128–134.
13. Семенова І. Г., Польовий А. М. Прогностичний розподіл посух теплого сезону по території України в 2021-2050 рр. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2020. 53. С. 169–179.
14. Мартазинова В. Ф. Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха на протяжении XX века и ее влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине / Мартазинова В. Ф., Е. К. Иванова, Д. Ю. Чайка. Геофизический журнал. 2006. Т. 28, № 1. С. 51–60.
15. Клімат України / Ліпінський В. М., Дячук В. А., Бабіченко В. М. Київ: Вид. Раєвського, 2003. 343 с.

2. ЗАМОРОЗКИ. ПРОГНОЗ ЗАМОРОЗКІВ

Метою даної роботи є ознайомлення з синоптичними процесами в Північній півкулі, що призводять до формування аномальних погодних явищ в окремих регіонах України.

Після виконання практичного завдання студент має оволодіти такими вміннями:

- визначити метеорологічні умови формування заморозків на території України;*
- знати, при яких синоптичних процесах частіш за все формуються заморозки над територією України;*
- вміти скласти прогноз утворення заморозків різними методами.*

2.1. Теоретичні відомості

На території України заморозки спостерігаються щорічно, приносячи значний збиток сільськогосподарському виробництву. Зниженню шкідливого впливу заморозків на сільськогосподарські культури, застосуванню раціональних прийомів захисту від них сприяє своєчасний прогноз настання цього несприятливого явища.

Заморозок визначають як короткочасне зниження температури повітря або ґрунту до 0°C і нижче на тлі позитивних середньодобових температур повітря. Заморозки характерні для теплого періоду року, і звичайно їх спостерігають навесні і восени.

За умовами утворення розрізняють три типи заморозків:

1) *адвективні*, що зумовлюються вторгненням на територію холодних арктичних мас повітря. Супроводжуються нерідко сильними вітрами і різким зниженням температури не тільки в нічні, але й у денні години. Охоплюють великі райони і можуть продовжуватися кілька діб підряд. Найчастіше характерні для весни і пізньої осені, коли вже припиняється вегетація багатьох сільськогосподарських культур, тому вони менш небезпечні;

2) *радіаційні*, котрі обумовлені інтенсивним нічним випромінюванням підстильної поверхні, спостерігаються зазвичай при тихій безхмарній погоді. Спочатку знижується температура поверхні ґрунту (або травостою) до від'ємної, потім – у прилягаючому шарі повітря. При цьому

спостерігається інверсія температури. Ці заморозки характерні для періоду, коли більшість сільськогосподарських культур активно вегетують, тому вони більш небезпечні;

3) *адвективно-радіаційні (змішані)* утворюються в результаті спільної дії двох причин, тобто адвекції холодного повітря північного походження і наступного нічного вихолоджування за рахунок інтенсивного випромінювання підстильної поверхні. До цього типу відносяться переважно пізні весняні і ранні осінні заморозки, що представляють найбільшу небезпеку для сільськогосподарських культур.

Найбільш тривалі заморозки першого типу. Прогрівання холодної маси повітря займає 3–4 доби. Заморозки другого типу часто називають «ранками», тому що вони виникають протягом ночі (5–6 год., іноді до 8–10 год.). Третій тип заморозків триває звичайно 3–4 год., спостерігається з половини ночі або надранком.

Інтенсивність заморозків різна: при адвективних температурах знижується до -8, -10°C, при змішаних – відповідно до -2, -3°C. При цьому в пригрунтових шарах повітря і на ґрунті температура від’ємна, а на висоті 2 м може бути позитивною.

За інтенсивністю заморозки поділяють на слабкі – від 0 до -2 °C; середні – від -3 до -5 °C; сильні – від -5 °C і нижче.

Залежно від місцевих умов інтенсивність заморозків може значно змінюватися (табл. 2.1). Радіаційні і змішані заморозки найчастіше виникають і стають більшої сили в знижених місцях – долинах, улоговинах, замкнутих котлованах, лісових галявинах, де застоюється холодне повітря. Розвиткові заморозків сприяють сухі і розпушені ґрунти, осушувані болота. У цілому всі знижені форми рельєфу відрізняються більшою заморозконебезпечністю. На відміну від них імовірність і інтенсивність заморозків на височинах і схилах зменшується, і вони там настають рідше.

Стійкість рослини до заморозків визначають, з одного боку, характером заморозку (час настання, інтенсивність, тривалість), а з іншого боку – станом самої рослини (культура, сорт, фаза розвитку, агротехніка).

Температуру, нижче якої рослини ушкоджуються або гинуть, називають *критичною*.

Таблиця 2.1

Зміна імовірності та інтенсивності заморозків залежно від місця розташування (за І. Гольцбергом)

Місце розташування	Імовірність заморозків ¹ , %	Зміна інтенсивності заморозків ² , °C
Вершини і верхні частини схилів	-30	Близько +2
Долини в горбкуватій місцевості	+20	-1,5...-2
Долини в горах	+30	-2
Улоговини	+40	-4...-5
Галявини	+30	Близько -2
Острови й узбережжя	-35	+2
Міста	-20	+2...+3

¹Знак «+» означає збільшення імовірності заморозків, знак «-» – зменшення її на зазначений відсоток.

²Знак «+» означає підвищення температури, знак «-» – зниження її порівняно з рівною відкритою ділянкою.

За ступенем стійкості польових рослин до заморозків, починаючи від періоду повних сходів, виділено 5 груп (за В. Н. Степановим).

1. Найстійкіші, що витримують зниження температури до -8...-10 °C.
2. Стійкі, що витримують зниження температури до -6...-8 °C.
3. Середньостійкі, що витримують заморозки до -3...-4 °C.
4. Малостійкі, що витримують заморозки до -2...-3 °C.
5. Нестійкі, що ушкоджуються легкими заморозками при -0,5...1°C.

Критичні температури, що викликають ушкодження рослин, і їхня стійкість до заморозків приведені в таблиці 2.2.

2.2. Прогноз заморозків у повітрі

Для успішної і своєчасної боротьби з заморозками необхідно передбачати час і імовірність їхнього настання, інтенсивність. Адвективні заморозки прогнозують в установах гідрометеослужби, оскільки настання хвилі холоду на великій території можна передбачити тільки на підставі аналізу синоптичних карт. Для невеликих ділянок, окремих пунктів, де мікрокліматичні умови сильно впливають на розподіл і інтенсивність заморозку, такі прогнози вимагають уточнення. Особливо важливо детально визначати час настання і силу радіаційних заморозків, що значною мірою залежить від характеру рельєфу, ґрунту, рослинності і не може бути враховане при аналізі синоптичної обстановки. Прогнози радіаційних заморозків можна

Таблиця 2.2

Стійкість сільськогосподарських культур до приморозків у різні фази розвитку (за В. Н. Степановим)

Культура	Температура, °С, яка пошкоджує рослини у фази		
	сходи	цвітіння	дозрівання
<i>Найстійкіші до приморозків</i>			
Яриця	-9..-10	-1..-2	-2..-4
Овес		-1..-2	-2..-4
Ячмінь	-7..-8	-1..-2	-2..-4
Горох	-7..-8	-2..-3	-3..-4
Сочевиця	-7..-8	-2..-3	-3..-4
Чина	-7..-8	-2..-3	-3..-4
Коріандр	-8 -10	-2..-3	-3..-4
<i>Стійкі до приморозків</i>			
Люпин	-6..-8	-3..-4	-3..-4
Вика ярова	-6..-7	-3..-4	-2..-4
Боби	-5..-6	-2..-3	-3..-4
Соняшник	-5..-6	-2..-3	-2..-3
Гірчиця біла	-6..-4	-2..-3	-3..-4
Льон	-5..-7	-2..-3	-2..-4
Буряк цукровий	-6..-7	-2..-3	
Буряк кормовий	-6..-7		
Морква	-6..-7		
Турнепс	-6..-7		
<i>Середньостійкі до приморозків</i>			
Капуста	-5..-7	-2..-3	-6..-9
Соя	-3..-4	-2..-3	-2..-3
Могар	-3..-4	-1..-2	-2..-3
Люпин жовтий	-4..-5	-1..-2	-2..-3
<i>Малостійкі до заморозків</i>			
Кукурудза	-2..-3	-1..-2	-2..-3
Просо	-2 .-3	-1..-2	-2..-3
Сорго	-2 .-3	-1..-2	-2 .-3
Картопля	-2 .-3	-1..-2	-2 .-3
<i>Нестійкі до заморозків</i>			
Гречка	-1..-2	-1..-2	-1,5..-2
Квасоля	-1 ..-1,5	-0,5..-1	-2
Бавовник	-0,5..-1	-0,5..-1	-1
Баштанні	-0,5..-1	-0,5..-1	-0,5..-1
Рис	-0,5..-1	-0,5..-1	-
Арахіс	-0,5..-1	-	-
Огірки	0...-1	0...-1	0...-1
Томати	0...-1	0...-1	0...-1

скласти на підставі даних найближчої метеорологічної станції або за спостереженнями безпосередньо на полі.

Прогноз радіаційних заморозків в повітрі і на ґрунті в однорідних повітряних масах при швидкостях вітру менше $5\text{--}6\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ і хмарності менше 8–10 балів складають, використовуючи спеціальні номограми (рис. 2.1–2.3).

Початковими для прогнозу є дані метеоспостережень в початковий термін: температура повітря T_0 і парціальний тиск водяної пари e_0 (гПа) на висоті 2 м, температура поверхні ґрунту θ , швидкість вітру V ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$), візуальна оцінка зволоження ґрунту за градаціями: суха, волога, мокра. До початкових даних відноситься також очікувана в найближчу ніч хмарність.

Враховуючи наближений характер способу, вже при $T_{\min}$ і $\theta_{\min}$ менше за 2°C слід вживати заходи по боротьбі із заморозками.

Для розрахунку мінімальних значень температури в періоди повернення холодів використовують методику, яка рекомендує застосування графіка добового ходу температури. Прийнято вважати, що якщо о 21 год за місцевим часом $T_d \leq 0^\circ\text{C}$ або $T_d \leq 2^\circ\text{C}$ при ясному небі і штилі, то вночі слід чекати заморозки, а якщо $T_d > 2^\circ\text{C}$, то заморозки малоімовірні.

Для прогнозу заморозків використовують кілька методів в окремому пункті, застосовуваних у різний час, з обліком наявної метеорологічної інформації (методи В. А. Міхельсона, П. И. Броунова, А. И. Михалевського, А. Ф. Чудновського, М. Е. Берлянда, Г. З. Венцкевича та ін.).

Метод Міхельсона дозволяє визначити імовірність виникнення заморозків за графіком (рис. 2.3), де по горизонтальній осі відкладені значення абсолютної вологості (в мм рт. ст.), а по вертикальній – імовірність виникнення заморозків. Похилі лінії відповідають абсолютній вологості повітря о 13 і 21 год за місцевим часом.

Необхідно враховувати, що розрахунки застосовні для оцінки імовірності заморозку в повітрі. При ясному небі поверхня ґрунту холодніше повітря до 3°C , а при похмурому – не більше 2°C . Значення абсолютної вологості о 13 і о 21 годині, а також відповідні їм імовірності заморозків приведені в таблиці 2.1, що зручно використовувати для завбачення заморозків. Імовірність заморозку в 13 годині можна вважати попередньою, а о 21 годині – остаточною. Крива на графіку в 13 годині має трохи інший вид, ніж о 21 год (рис. 2.3), тому і різні імовірності. Приведений метод не дає уявлення про інтенсивність заморозку.

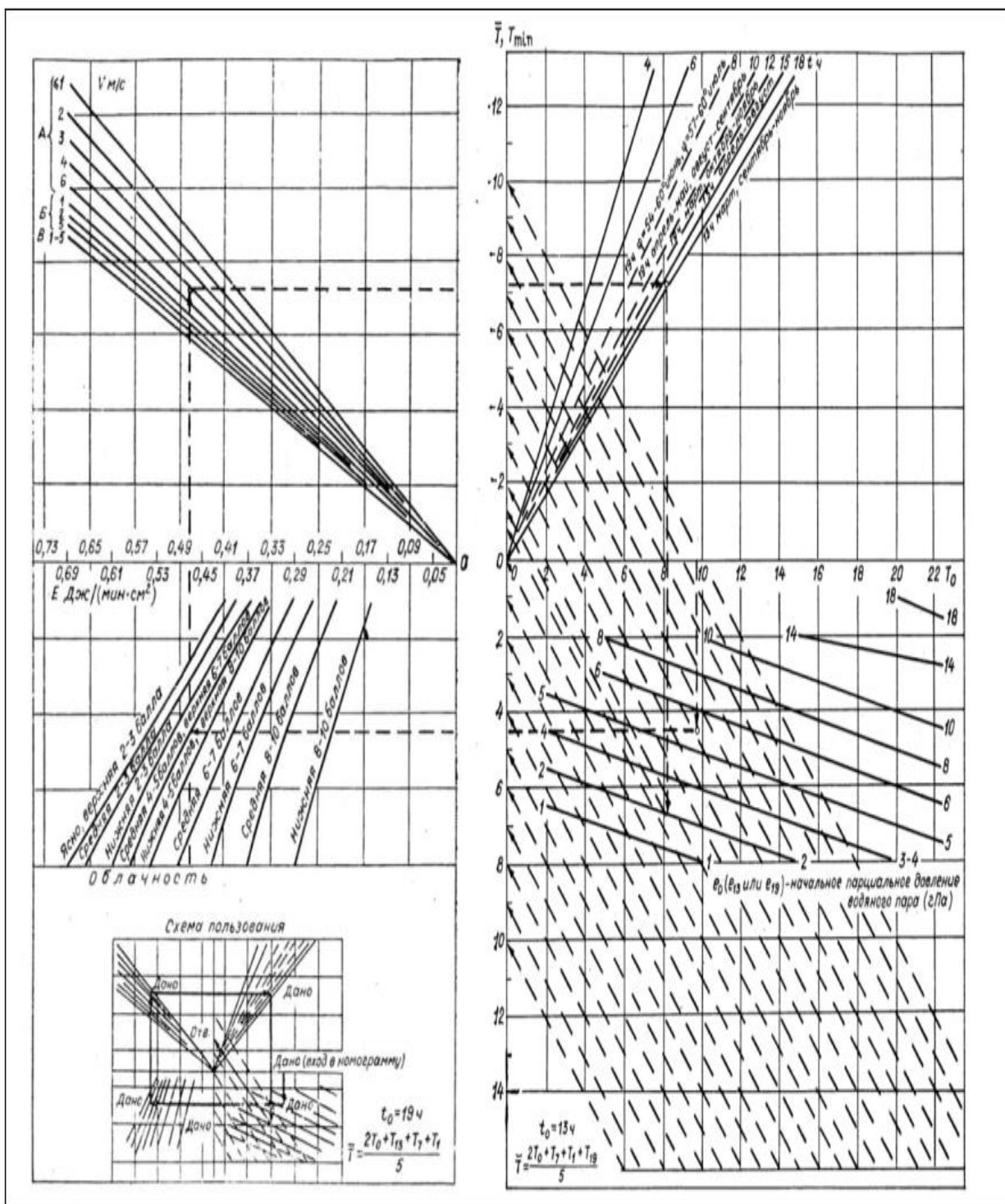


Рис. 2.1. Номограма для визначення заморозків в повітрі

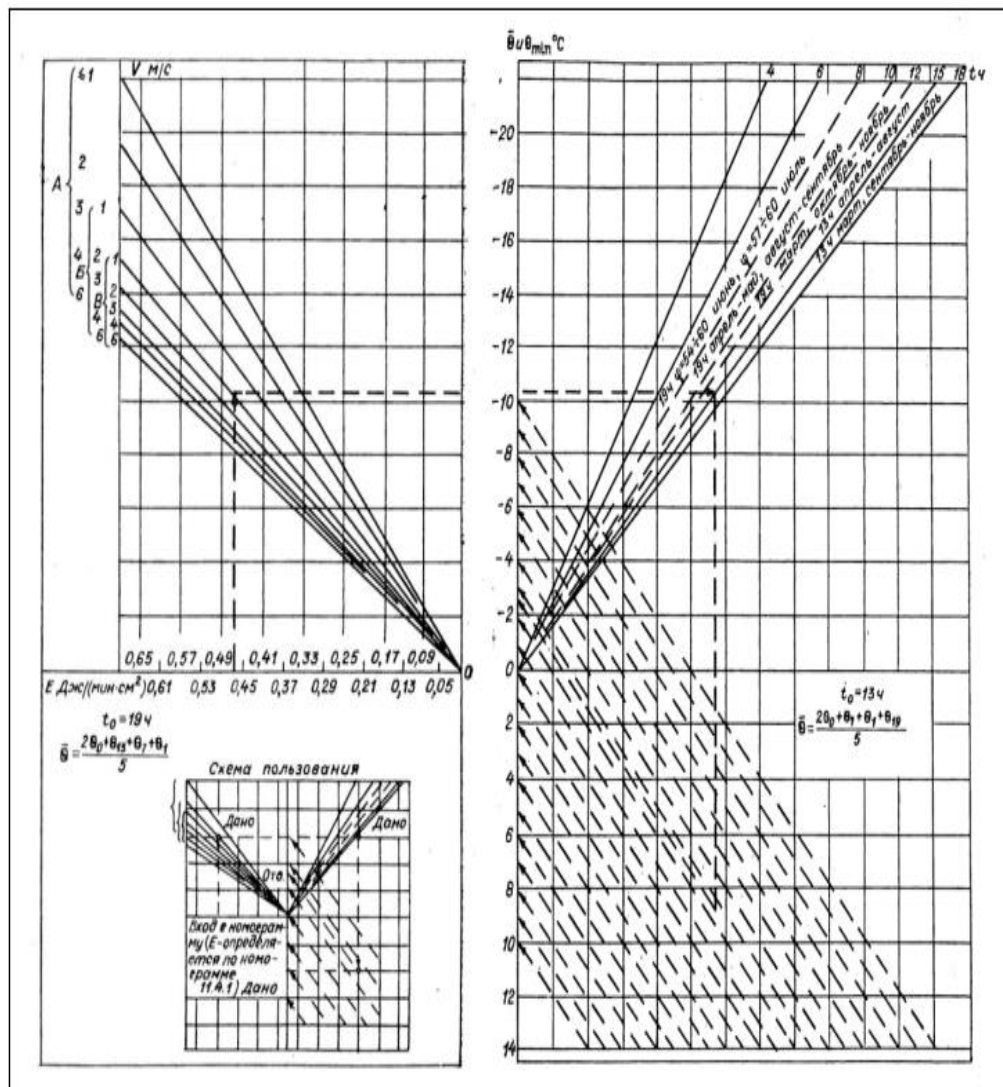


Рис. 2.2. Номограма для визначення заморозків на поверхні ґрунту

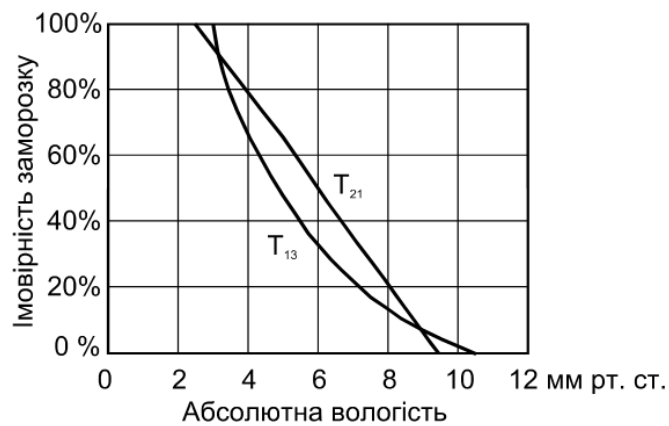


Рис. 2.3. Графік Міхельсона для визначення імовірності заморозків

Таблиця 2.3

**Імовірність заморозку, розрахована за абсолютною вологістю
о 13 і 21 год**

Час заморозку	Імовірність заморозку, %, при абсолютній вологості, мм рт. ст.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13 год	100	100	97	65	45	31	21	13	7	3
21 год	100	100	93	78	64	50	35	20	5	0

Метод Броунова також дозволяє розрахувати можливість виникнення заморозків в імовірнісній формі (рис. 2.4). На графіку по горизонтальній осі знаходиться різниця температур о 13 і 21 години за місцевим часом, а по вертикальній – температура повітря о 21 годині. Шість похилих ліній показують різну імовірність виникнення заморозків.

Цей метод зручний тим, що використовувана інформація про температуру повітря доступна практично усім. Одержати ці дані можливо, навіть минаючи метеорологічну станцію, тобто на своїй ділянці, полі.

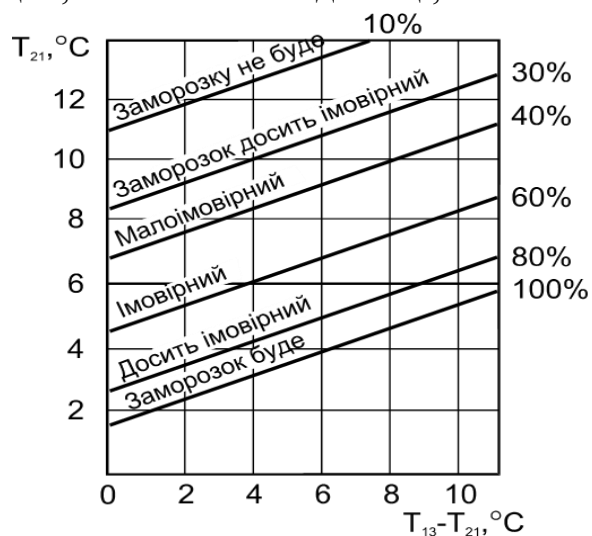


Рис. 2.4. Графік Броунова для визначення імовірності заморозків

Імовірність виникнення заморозку визначають по температурі повітря о 21 годині і різниці температур о 13 і 21 години (рис. 2.4).

Цей метод не дозволяє судити про інтенсивність заморозку. Корисно пам'ятати, що ясна тиха погода ввечері, що спостерігається після 21 години, сприяє настанню заморозку, а хмарна і вітряна – навпаки, зниженню його імовірності.

Метод А. І. Михалевського. Для прогнозу потрібні дані, виміряні психрометром на висоті 2 м о 13 годині. Очікувану мінімальну температуру повітря, °С, на першому етапі розраховують за формулою:

$$t_{\text{пов}} = t' - (t - t')C \quad (2.1)$$

а мінімальну температуру на поверхні ґрунту, °С, – за формулою:

$$t_{\text{ґрунт}} = t' - (t - t')2C \quad (2.2)$$

де t' – температура повітря по змоченому термометру; t – температура повітря по сухому термометру; C – коефіцієнт, який залежить від відносної вологості повітря (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Коефіцієнт C залежно від відносної вологості f повітря о 13 годині

$f, \%$	C	$f, \%$	C	$f, \%$	C
100	5,0	70	2,0	40	0,9
95	4,5	65	1,8	35	0,8
90	4,0	60	1,5	30	0,7
85	3,5	55	1,3	25	0,5
80	3,0	50	1,2	20	0,4
75	2,5	45	1,0	15	0,3

На другому етапі розрахунків за спостереженнями за хмарністю о 21 год. обчислені мінімальні температури за наведеними формулами коректують у такий спосіб:

- якщо хмарність менше 4 балів, то отриманий мінімум температури повітря і ґрунту зменшують на 2 °С;
- якщо хмарність 4– балів, то в розрахований мінімум температури поправок не вводять, тобто залишають результат, отриманий о 13 год;
- якщо хмарність більше 7 балів, то очікуваний мінімум температури збільшується на 2°С.

Результати прогнозу заморозків за методом Михалевського оцінюють залежно від мінімальної температури, отриманої після уточнення о 21 годині.

<i>Мінімальна температура., °C</i>	<i>Менше -2</i>	<i>-2...2</i>	<i>Більше 2</i>
Імовірність заморозку	Очікується	Ймовірний	Малоймовірний

Інтенсивність заморозку змінюється від характеру рельєфу, де розташовані сільськогосподарські поля. Отримані результати про заморозок можна поширити на інші території з урахуванням змін їхньої інтенсивності залежно від місця розташування (табл. 2.2).

2.3. Прогноз заморозків на ґрунті

Прогноз заморозків на ґрунті базується на прогнозі синоптичних умов, що сприяють їх виникненню. Найбільш часто заморозки утворюються в тилу циклону за холодним фронтом при вторгненні сухого холодного повітря, яке іноді навіть має плюсову температуру. Вночі, внаслідок ефективного випромінювання, відбувається додаткове охолодження повітря та виникають заморозки як на поверхні ґрунту, так і у повітрі. Цьому сприяють малохмарна погода та слабкий вітер, що обумовлений формуванням баричного гребню або антициклону.

Велике значення має рельєф місцевості та якість ґрунту. Заморозки спостерігаються частіше у низинах, а на поверхнях сухих, зораних ґрунтів, що мають знижену теплоємність і теплопровідність, вони сильніші.

Заморозки на ґрунті виникають звичайно раніше, ніж у повітрі на висоті метеорологічної будки. Прогноз заморозків на ґрунті виконують на основі розрахунку мінімальної температури на поверхні ґрунту.

При складанні прогнозу заморозків на ґрунті за методом М. Є. Берлянда вихідними даними є:

а) температура та вологість повітря, швидкість вітру та стан поверхні ґрунту (сухий, вологий, мокрий) о 12 або 18 год за місцевим часом;

б) температура поверхні ґрунту T_r о 12 або 18 год та за три попередніх строки (06, 00 год поточної доби, 18 год попередньої доби для вихідного строку 12 год або 12, 06, 00 год поточної доби для вихідного строку 18 год); кількість хмар різних шарів, яка очікується у період від вихідного строку (12 або 18 год) до сходу сонця.

в) прогнозується мінімальна температура поверхні ґрунту $(T_r)_{\min}$ у наступні нічні години.

Розрахунок $(T_r)_{\min}$ виконують таким чином.

1. Визначають ефективне випромінювання E так само, як при прогнозі мінімальної температури повітря.

2. Розраховують середнє за чотири строки (включно з t_0) значення температури поверхні ґрунту:

за даними спостережень о 12 год

$$T_r = \frac{2T_{Г12} + T_{Г06} + T_{Г00} + T_{Г18}}{5} \quad (2.3)$$

та за спостереженнями о 18 год

$$T_r = \frac{2T_{Г18} + T_{Г12} + T_{Г06} + T_{Г00}}{5} . \quad (2.4)$$

3. Визначають тривалість часу між моментами t_0 та $t_{\text{сход}}$.

4. По номограмі (рис. 2.2) визначають $T_{Г\min}$, для чого:

а) з точки, що відповідає розрахованій величині ефективного випромінювання E , будують перпендикуляр до перехрестя з похилою прямою, що характеризує стан ґрунту та швидкість вітру, яка очікується;

б) з точки перехрестя проводять лінію паралельно вісі абсцис до похилої прямої (у правій частині номограми), яка відповідає інтервалу часу Δt ;

в) з отриманої таким чином точки проводять лінію, що паралельна вісі ординат, до перехрестя з пунктирною прямою $\overline{T_r}$;

г) визначення $T_{Г\min}$ виконують у точці перехрестя цієї прямої з віссю ординат (заморозок на ґрунті передбачають, якщо вказана точка розташована вище початку координат).

При відсутності відомостей про температуру ґрунту, прогноз радіаційного заморозку на поверхні ґрунту може бути даний приблизно за формулою:

$$T_{Г\min} = T_{\min} - 2 .$$

Оскільки на нічне радіаційне зниження температури значно впливають місцеві фактори, то досить ефективною є статистична обробка місцевих

спостережень та побудова на цій основі графіків зв'язку між початковою температурою повітряної маси і наступною мінімальною температурою повітря у даному районі для різних типів синоптичних процесів.

Питання для самоперевірки:

1. Що розуміють під явищем «заморозок»?
2. Які типи заморозків розрізняють за умовами утворення:?
3. Коли настають пізні весняні і ранні осінні заморозки?
4. При яких синоптичних процесах частіш за все формуються заморозки над Україною?
5. Що розуміють під «інтенсивністю» заморозків?
6. За якими предикторами складають прогноз заморозків за методами Міхельсона і Броунова?

Практична частина

1. Скласти прогноз заморозків за методом Михалевського.
2. Визначають відносну вологість повітря, користуючись вихідними даними таблиці про температуру сухого і змоченого термометрів, тиску атмосфери. Для цих цілей застосовують «Психрометричні таблиці», у яких угорі над колонками дана температура сухого термометра t , а по температурі змоченого термометра t' визначають значення відносної вологості повітря. Поправка на тиск у приведених задачах буде незначною, нею можна зневажити.
3. Знаходять по отриманій відносній вологості значення коефіцієнта C (табл. 2.4).
4. Обчислюють, застосовуючи формули, очікувану мінімальну температуру повітря і ґрунту за даними на 13 годину. Температуру округлити до десятих часток градуса.
5. Вносять поправку на хмарність за спостереженнями о 21 годині в отримані мінімальні температури.
6. Оцінюють імовірність заморозку в повітрі і на поверхні ґрунту.
7. Заносять результати розрахунків у таблицю 2.5.
8. Визначають зміну інтенсивності заморозку від місця розташування (табл. 2.6).

9. Припускають, які сільськогосподарські культури, що знаходяться у фазі сходів, можуть бути ушкоджені від очікуваних заморозків, користуючись таблицею 2.2.

Таблиця 2.5

Розрахунок імовірності заморозків

Показник	Варіант задачі			
	1	2	3	4
<i>Вихідні дані</i>				
Температура термометра о 13 год., °С: сухого змоченого				
Атмосферний тиск, гПа				
Хмарність о 21 год., бали				
<i>Розрахункові дані</i>				
Відносна вологість о 13 год, %				
Коефіцієнт С				
Мінімальна температура повітря о 13 год, °С: повітря поверхні ґрунту				
Мінімальна температура о 21 год (з поправкою на хмарність), ° С: повітря поверхні ґрунту				
<i>Оцінка імовірності заморозку</i>				
У повітрі				
На поверхні ґрунту				

Таблиця 2.6

Інтенсивність заморозку залежно від місця розташування

Місцезнаходження	Зміна інтенсивності заморозку, °С	Дата			
Вершини і верхні частини схилів	+ 1,2				
Долини в горбкуватій місцевості	-3,0				
Улоговини	-5,0				
Галявини	-2,0				
Міста	+2,5				

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клімат України / Ліпінський В. М., Дячук В. А., Бабіченко В. М. Київ: Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
2. Логвинов К. Т., Бабіченко В. Н., Кулаковская М. Ю. Опасные явления погоды на Украине // Труды УкрНИГМИ, 1972. Вып. 110. С. 178–189.
3. Олексієнко І. М. Затула В. І. Оцінка впливу географічного положення на основі характеристики заморозку // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Том 10. Вып. 1. С. 777–782.
4. Олексієнко І. М. Кліматичний прогноз заморозку на території України // Наук. праці УкрНДГМІ, 2012. Вип. 263. С. 66–80.
5. Інформаційний ресурс: електронна бібліотека ОДЕКУ <http://library-odeku.16mb.com>.

Додаток А

Таблиця А1 – Середня декадна температура повітря, °С (1991-2020 рр.)

Область	I			II			III			IV			V			VI		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Чернігівська	-4,3	-3,2	-5,4	-4,7	-3,7	-2,2	-0,4	1,2	2,7	6,6	8,9	11,3	13,4	14,8	16,4	17,6	19,0	19,0
Сумська	-4,9	-3,8	-5,9	-5,5	-4,3	-2,8	-1,0	0,6	2,2	6,2	8,9	11,2	13,5	14,8	16,5	17,6	19,1	19,2
Волинська	-2,5	-1,7	-3,6	-2,3	-1,8	-0,5	0,8	2,4	3,9	6,8	8,6	11,5	13,1	14,5	15,4	17,2	18,0	18,1
Рівненська	-2,8	-2,0	-4,0	-2,9	-2,2	-0,7	0,6	2,2	3,8	6,9	8,8	11,6	13,2	14,7	15,7	17,3	18,3	18,3
Житомирська	-3,2	-2,4	-4,2	-3,3	-2,6	-1,0	0,5	1,9	3,5	7,0	8,8	11,4	13,1	14,7	15,9	17,4	18,5	18,5
Київська	-3,5	-2,4	-4,4	-3,6	-2,8	-1,2	0,5	2,0	3,6	7,4	9,5	11,9	13,9	15,5	16,9	18,2	19,6	19,5
Львівська	-1,9	-1,4	-3,2	-1,7	-1,2	0,1	1,4	2,9	4,4	7,2	8,7	11,6	13,1	14,2	15,0	16,9	17,9	18,0
Хмельницька	-3,3	-2,5	-4,2	-3,1	-2,5	-0,9	0,6	2,0	3,8	7,2	8,8	11,6	13,5	14,7	15,7	17,3	18,4	18,5
Полтавська	-4,1	-3,1	-4,9	-4,4	-3,3	-1,7	0,3	1,7	3,5	7,6	10,1	12,2	14,5	15,9	17,5	18,7	20,2	20,3
Харківська	-4,6	-3,6	-5,5	-5,1	-3,9	-2,4	-0,1	1,1	3,0	7,2	9,9	11,8	14,4	15,7	17,5	18,6	20,2	20,5
Тернопільська	-2,9	-2,2	-3,9	-2,6	-2,1	-0,6	0,8	2,3	3,9	7,1	8,6	11,5	13,3	14,4	15,2	17,0	18,0	18,1
Черкаська	-3,5	-2,5	-4,4	-3,6	-2,8	-1,1	0,8	2,1	3,8	7,6	9,7	11,9	14,1	15,7	17,2	18,5	20,0	19,9
Луганська	-4,6	-3,8	-5,8	-5,4	-4,2	-2,6	-0,2	1,0	3,1	7,3	9,9	11,7	14,2	15,9	17,8	18,8	20,7	21,1
Вінницька	-3,3	-2,5	-4,3	-3,1	-2,4	-0,9	0,9	2,2	4,0	7,6	9,3	11,8	13,8	15,3	16,5	17,8	19,2	19,2
Івано-Франківська	-2,6	-2,0	-3,6	-2,1	-1,6	-0,2	1,2	2,6	4,1	7,1	8,4	11,2	12,9	13,9	14,7	16,6	17,7	17,9
Кіровоградська	-3,5	-2,6	-4,3	-3,6	-2,6	-1,0	1,0	2,2	4,0	7,9	9,9	12,0	14,3	15,9	17,5	18,7	20,3	20,3
Дніпропетровська	-3,4	-2,5	-4,3	-3,7	-2,6	-1,1	1,2	2,3	4,2	8,0	10,4	12,2	14,7	16,3	18,1	19,3	20,9	21,1
Донецька	-3,8	-3,0	-4,8	-4,4	-3,4	-1,8	0,6	1,6	3,7	7,6	10,0	11,7	14,3	15,9	17,9	19,0	20,9	21,3
Закарпатська	-1,4	-0,9	-2,1	-0,9	0,2	1,7	3,3	4,8	6,6	9,3	10,6	13,3	14,9	15,7	16,7	18,6	19,6	19,9
Чернівецька	-2,8	-1,9	-3,5	-2,2	-1,6	0,1	1,7	3,1	4,9	8,1	9,6	12,2	14,2	15,4	16,4	18,0	19,4	19,5
Одеська	-1,7	-0,8	-2,4	-1,2	-0,4	1,1	2,9	4,1	5,6	8,7	10,4	12,4	14,8	16,4	18,0	19,4	21,2	21,5
Запорізька	-2,4	-1,6	-3,2	-2,6	-1,8	-0,4	1,9	2,8	4,8	8,0	10,4	12,1	14,7	16,4	18,4	19,6	21,5	22,0
Миколаївська	-2,0	-1,3	-2,8	-1,8	-0,9	0,5	2,5	3,7	5,4	8,6	10,7	12,6	15,0	16,7	18,4	19,7	21,5	21,8
Херсонська	-1,3	-0,6	-1,9	-1,4	-0,6	0,7	2,8	3,8	5,3	8,3	10,5	12,3	14,8	16,6	18,5	19,9	21,9	22,4
АР Крим**	0,8	0,8	0,0	-0,2	0,9	1,8	3,4	4,2	5,9	8,4	10,4	11,8	14,0	15,9	17,9	19,2	21,2	21,7

Продовження Таблиці А1

Область	VII			VIII			IX			X			XI			XII		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Чернігівська	19,6	20,3	21,0	20,5	19,5	17,6	15,6	13,6	11,6	9,8	7,6	5,1	3,8	1,5	-0,6	-2,0	-3,1	-3,3
Сумська	19,7	20,5	21,1	20,6	19,7	17,8	15,7	13,6	11,7	9,8	7,5	4,8	3,4	1,1	-1,1	-2,3	-3,6	-3,8
Волинська	19,1	19,4	20,3	20,3	18,9	17,5	15,3	13,8	11,9	10,3	8,2	6,4	5,4	3,2	0,9	-0,5	-1,1	-1,8
Рівненська	19,0	19,5	20,4	20,3	19,0	17,6	15,3	13,9	11,9	10,3	8,2	6,3	5,4	2,9	0,7	-0,7	-1,5	-2,1
Житомирська	19,2	19,6	20,5	20,3	19,1	17,5	15,4	13,8	11,7	10,0	7,9	5,8	4,8	2,4	0,3	-1,1	-2,0	-2,4
Київська	20,2	20,7	21,6	21,3	20,1	18,5	16,3	14,6	12,5	10,6	8,4	6,0	4,8	2,4	0,2	-1,2	-2,2	-2,5
Львівська	18,9	19,1	19,9	20,0	18,8	17,6	15,2	14,0	12,2	10,7	8,7	7,0	6,1	3,8	1,4	-0,1	-0,7	-1,4
Хмельницька	19,2	19,5	20,5	20,5	19,3	17,9	15,6	14,3	12,2	10,5	8,4	6,2	5,3	2,8	0,5	-1,2	-1,9	-2,7
Полтавська	20,9	21,7	22,3	22,0	21,1	19,2	16,9	15,1	13,0	11,0	8,6	5,8	4,3	2,0	-0,1	-1,6	-2,7	-2,9
Харківська	20,9	21,9	22,3	22,1	21,3	19,2	16,9	14,9	12,9	10,8	8,5	5,5	3,8	1,5	-0,5	-2,0	-3,4	-3,4
Тернопільська	18,9	19,2	20,2	20,2	19,1	17,7	15,4	14,1	12,2	10,5	8,5	6,5	5,5	3,0	0,7	-0,9	-1,5	-2,4
Черкаська	20,6	21,1	22,0	21,7	20,6	19,0	16,6	15,0	13,0	10,9	8,7	6,2	5,0	2,6	0,5	-1,0	-2,0	-2,4
Луганська	21,3	22,4	22,7	22,5	21,7	19,6	17,2	15,1	13,1	10,9	8,8	5,7	3,8	1,5	-0,6	-2,0	-3,6	-3,4
Вінницька	20,0	20,3	21,3	21,1	20,1	18,5	16,2	14,8	12,6	10,8	8,6	6,4	5,4	2,9	0,5	-1,1	-2,0	-2,6
Івано-Франківська	18,8	18,9	19,7	19,8	18,7	17,6	15,1	13,9	12,1	10,5	8,4	6,6	5,5	3,2	0,7	-0,7	-1,2	-2,4
Кіровоградська	21,1	21,6	22,5	22,3	21,4	19,7	17,1	15,6	13,6	11,5	9,1	6,6	5,2	2,7	0,7	-0,8	-1,9	-2,2
Дніпропетровська	21,8	22,6	23,3	23,1	22,2	20,4	17,9	16,2	14,1	11,9	9,5	6,7	5,0	2,7	0,8	-0,7	-2,0	-2,1
Донецька	21,8	22,8	23,4	23,4	22,4	20,5	17,9	16,0	13,9	11,7	9,5	6,4	4,5	2,2	0,1	-1,4	-2,8	-2,5
Закарпатська	20,6	20,6	21,4	21,9	20,6	19,6	16,8	15,7	13,7	12,3	10,0	8,1	6,9	5,3	2,8	1,3	-0,1	-1,2
Чернівецька	20,3	20,4	21,4	21,4	20,4	19,1	16,6	15,3	13,3	11,4	9,3	7,0	5,9	3,5	1,0	-0,6	-1,3	-2,4
Одеська	22,5	22,6	23,8	23,8	22,9	21,4	18,5	17,3	15,2	13,3	11,0	8,6	7,4	5,1	2,8	1,2	-0,1	-0,7
Запорізька	22,7	23,4	24,2	24,2	23,1	21,4	18,8	17,1	15,1	12,8	10,5	7,8	5,8	3,6	1,8	0,2	-1,1	-1,0
Миколаївська	22,8	23,2	24,3	24,3	23,2	21,5	18,8	17,4	15,4	13,2	10,8	8,2	6,7	4,3	2,4	0,9	-0,4	-0,7
Херсонська	23,3	23,9	24,7	24,8	23,6	22,1	19,4	18,1	15,9	13,8	11,5	8,8	7,0	5,0	3,2	1,7	0,3	0,2
АР Крим**	23,0	23,7	24,4	24,4	23,3	21,8	18,8	17,8	16,2	14,3	12,1	9,7	8,0	6,4	4,8	3,4	1,7	1,9

Таблиця А2 - Середня декадна кількість опадів, мм (1991-2020 рр.),

Область	I			II			III			IV			V			VI		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Чернігівська	11	13	17	14	14	11	13	14	11	14	14	11	15	20	29	19	20	26
Сумська	13	13	17	13	12	11	13	15	12	13	12	12	15	17	26	16	19	26
Волинська	10	12	15	12	12	11	12	14	12	16	15	11	17	21	31	19	27	29
Рівненська	10	10	13	11	11	11	12	13	10	13	13	11	15	22	29	21	24	30
Житомирська	11	10	15	14	12	11	15	15	11	13	15	12	16	20	27	25	24	25
Київська	11	10	14	12	12	10	12	13	11	12	14	12	15	19	28	21	24	26
Львівська	12	11	15	14	15	13	14	16	14	16	18	14	20	28	40	26	30	32
Хмельницька	12	9	12	12	12	11	11	14	11	14	17	13	13	20	29	30	26	31
Полтавська	13	13	17	13	12	10	13	17	13	12	10	12	15	17	26	17	21	29
Харківська	13	12	17	13	14	10	12	16	14	12	13	12	14	16	26	16	21	28
Тернопільська	11	9	12	13	12	11	12	15	12	13	15	13	18	23	31	25	28	28
Черкаська	12	11	14	12	12	9	12	14	12	11	13	12	13	18	27	17	23	33
Луганська	13	11	19	12	14	11	12	12	13	11	14	13	12	16	21	16	20	26
Вінницька	12	10	11	11	13	10	11	13	12	13	18	13	13	19	27	25	25	31
Івано-Франківська	10	8	11	12	13	9	13	15	16	15	23	14	21	29	41	35	38	42
Кіровоградська	12	11	14	11	11	8	12	12	12	12	12	10	11	16	26	18	23	31
Дніпропетровська	12	12	16	12	13	9	12	16	14	15	13	12	13	16	23	15	22	28
Донецька	15	14	20	15	15	10	14	16	14	14	15	13	15	14	22	16	20	26
Закарпатська	20	19	23	24	20	16	20	17	16	15	20	14	19	28	29	25	31	24
Чернівецька	20	19	23	24	20	16	20	17	16	15	20	14	19	28	29	25	31	24
Одеська	12	9	14	8	11	9	10	8	13	9	13	9	12	12	22	17	20	27
Запорізька	13	13	17	14	13	9	11	14	13	14	12	12	14	12	21	15	20	20
Миколаївська	11	10	13	10	11	9	9	10	11	11	12	7	12	12	23	17	18	25
Херсонська	11	9	12	11	10	8	9	11	11	11	12	9	12	11	17	15	15	19
АР Крим**	10	10	14	10	10	8	9	13	12	13	10	8	10	10	14	17	13	23

Продовження Таблиці А2

Область	VII			VIII			IX			X			XI			XII		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Чернігівська	24	27	24	18	16	18	21	15	17	19	14	16	14	17	15	13	16	17
Сумська	24	31	21	14	12	18	20	13	17	16	13	18	13	15	13	13	15	15
Волинська	29	33	30	23	21	20	23	21	17	14	16	15	16	14	11	12	16	15
Рівненська	33	36	32	20	19	21	20	22	17	15	16	13	13	15	11	12	15	14
Житомирська	28	32	31	18	21	20	18	18	17	15	15	15	13	14	17	13	14	16
Київська	26	23	24	20	19	16	19	16	19	17	12	14	11	14	15	13	14	15
Львівська	30	34	37	25	27	22	28	24	21	16	20	17	16	15	12	13	14	16
Хмельницька	27	33	33	21	21	22	20	22	18	14	15	14	11	15	14	12	12	14
Полтавська	22	21	19	13	11	17	21	14	19	15	14	17	11	15	14	13	15	17
Харківська	21	21	18	13	11	16	16	15	17	14	14	18	12	16	14	13	14	18
Тернопільська	26	30	31	22	22	20	23	23	17	14	15	13	12	14	11	10	14	15
Черкаська	23	22	19	17	13	19	22	15	19	16	13	14	10	15	14	13	12	15
Луганська	22	16	20	13	10	15	14	14	16	13	13	16	10	16	14	12	17	18
Вінницька	27	28	27	19	16	24	20	21	17	13	13	13	9	14	17	13	12	13
Івано-Франківська	30	32	51	28	25	24	28	25	23	18	19	17	13	13	11	9	12	15
Кіровоградська	22	22	18	14	11	20	19	15	18	16	13	12	9	15	14	11	11	14
Дніпропетровська	19	15	15	15	12	16	14	12	17	12	13	13	12	16	13	11	13	17
Донецька	19	15	16	11	12	15	15	14	17	12	14	16	12	16	15	13	17	21
Закарпатська	29	26	34	23	23	21	25	23	24	18	22	27	25	21	19	21	27	30
Чернівецька	29	26	34	23	23	21	25	23	24	18	22	27	25	21	19	21	27	30
Одеська	20	16	17	13	10	17	16	14	16	15	13	10	10	14	14	12	11	13
Запорізька	17	12	16	13	10	16	13	11	16	10	12	14	10	15	13	11	14	18
Миколаївська	20	15	15	10	10	15	15	14	13	13	12	10	9	14	11	10	11	13
Херсонська	15	11	13	10	11	13	12	11	14	10	11	10	9	13	13	9	12	13
АР Крим**	14	11	12	15	14	16	16	10	13	9	15	14	11	14	13	11	13	15

Середня місячна кількість опадів по Одеській області згідно кліматичних норм 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.

Станція	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад		грудень
	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020	1961-1991-1990 2020
Одеса	42 42,7	41 35,3	31 33,6	34 28,0	39 38,9	42 47,1	49 44,7	34 39,8	36 41,6	26 36,6	42 38,7	48 35,3	
Любашівка	40 33,8	39 26,8	34 30,2	39 33,0	52 49,6	62 70,3	82 66,5	55 43,6	43 45,8	28 39,0	43 40,9	43 36,4	
Затішшя	39 33,9	39 29,1	32 28,6	35 33,0	46 50,1	66 72,2	68 59,5	43 35,9	36 46,9	27 39,8	36 37,9	40 36,2	
Сербка	31 27,6	29 25,2	26 26,6	34 23,8	39 40,2	60 59,7	65 50,1	44 39,6	38 46,6	23 30,2	34 30,0	37 32,8	
Роздільна	37 35,0	37 29,1	30 31,7	36 27,4	47 42,8	69 66,7	69 57,0	40 43,3	42 54,5	26 36,2	39 39,1	40 34,9	
Сарага	33 34,7	34 24,9	26 29,5	32 28,9	51 41,9	63 64,0	61 51,6	42 44,5	44 47,7	26 36,64	34 36,3	39 35,2	
Вилкове	30 62,9	28 40,6	23 28,9	29 24,0	36 44,3	49 44,4	35 43,2	33 17,1	26 28,8	38 64,0	38 33,3	40 48,6	
Ізмаїл	36 42,5	43 29,2	33 22,5	34 28,8	47 47	57 64,4	51 53,3	38 17,8	46 26,1	25 52,1	37 31,2	42 41,2	
Болград	34 35,1	39 27,8	32 35,8	36 37,0	48 48,6	67 68,9	61 45,5	50 41,9	47 45,7	27 46,9	36 38,9	39 41,9	
Б-Дністровський	37,9	28,9	31,5	25,6	39,2	47,9	38,5	37,8	43,9	36,7	38,6	33,6	
Чорноморськ	35,3	29,1	28,9	22,2	34,8	47,6	40,7	33,9	38,5	32,8	34,5	30,5	

Середня місячна температура повітря по Одеській області згідно кліматичних норм 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.

Станція	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020	1961-1991 1990 2020
Одеса	-1,7 -0,4	-0,9 0,4	2,5 4,3	9,0 10,0	15,2 16,2	19,4 20,8	21,5 23,4	21,2 23,1	16,9 17,8	11,2 12,0	5,8 6,3	1,4 1,5
Любашівка	-5,0 -3,1	-3,3 -1,8	0,8 3,0	9,1 10,1	15,4 16,0	18,5 19,7	20,0 21,8	19,5 21,4	15,2 15,9	8,9 9,5	2,9 3,4	-1,7 -1,3
Затиншя	-3,9 -2,7	-2,9 -1,3	1,7 4,2	9,5 10,3	15,5 16,2	19,0 20,2	20,6 22,4	20,4 22,0	15,9 16,4	9,5 10,0	3,5 3,9	-1,3 -1,0
Сербка	-3,7 -1,9	-2,2 -0,9	2,1 4,2	9,6 10,6	15,7 16,4	19,5 20,8	21,3 23,2	21,0 22,8	16,3 16,8	9,8 10,5	4,0 4,6	-0,5 0,05
Роздільна	-3,7 -2,3	-2,2 -0,3	2,0 3,6	9,7 10,5	15,7 16,5	19,3 20,7	21,0 23,0	20,7 22,6	16,3 16,8	9,9 10,4	3,9 4,4	-0,6 -0,4
Сарага	-2,1 -1,1	-0,8 0,5	3,2 4,7	10,0 10,5	15,9 16,5	19,8 20,8	21,7 23,3	20,9 22,7	16,5 17,1	11,3 11,1	5,2 5,7	0,6 0,6
Вилкове	-1,2 0,5	-0,5 2,5	3,6 6,3	9,5 12,0	15,8 17,9	20,0 22,5	22,4 24,6	21,5 24,4	17,1 19,0	11,8 12,9	6,5 8,2	1,4 3,3
Ізмаїл	-1,7 -0,8	-0,1 1,6	4,0 6,2	10,6 11,7	16,3 17,3	20,0 21,9	21,8 24,0	21,2 24,2	17,0 19,0	11,1 12,1	5,7 7,2	0,9 1,9
Болград	-2,2 -1,0	-0,5 0,8	3,6 5,2	10,0 11,2	16,2 16,9	20,0 21,1	21,6 23,4	21,2 23,1	16,9 17,6	11,0 11,6	5,2 5,89	0,4 0,6
Б-Дністровський	-0,5	0,6	4,8	10,9	17,3	21,8	24,2	23,8	18,3	12,4	6,6	1,51
Чорноморськ	-0,2	0,6	4,4	9,9	16,3	21,1	23,9	23,3	18,0	12,4	6,8	1,7

Додаток Б. Психрометрична таблиця

t, °C	Значення температури точки роси (t_d), °C																			
	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
0,0	42	51	61	71	81	90	100													
0,5	34	43	53	62	71	81	91	100												
1,0	27	36	45	54	63	72	81	91	100											
1,5	20	29	37	46	55	64	73	82	91	100										
2,0	14	22	31	39	47	56	65	73	82	91	100									
2,5	8	16	24	32	40	49	57	65	74	83	92	100								
3,0	3	10	18	26	34	42	50	66	75	75	83	92	100							
3,5		5	12	20	28	35	43	51	59	67	75	84	92	100						
4,0			7	14	22	29	37	44	52	60	68	76	84	92	100					
4,5				9	16	23	31	38	46	53	61	68	78	84	92	100				
5,0				4	11	18	25	32	39	47	54	62	69	77	85	93	100			
5,5					6	13	20	27	34	41	48	55	62	70	77	85	93	100		
6,0					4	9	15	22	28	35	42	49	56	63	70	78	85	93	100	
6,5						4	10	17	23	30	37	43	50	57	64	71	78	86	93	100
7,0							6	12	19	25	31	38	44	51	58	65	72	79	86	93
7,5							2	8	14	20	26	33	39	46	52	59	65	72	79	86
8,0							4	4	10	16	22	28	34	40	47	53	60	66	73	80

Навчальне видання

ПРОГНОЗИ АНОМАЛЬНИХ ПОГОДНИХ ЯВИЩ. ПРОГНОЗ ПОСУХИ, ПРОГНОЗ ЗАМОРОЗКІВ

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять
з дисципліни «Спеціалізовані прогнози погоди»,
модуль «Прогнози для сільського і лісового господарства,
транспорту та енергетики»
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності Е4 Науки про Землю

Електронне практичне видання

Укладач:

Боровська Галина Олександрівна

В авторській редакції

Затвердж. авт. 09.06.2025. Шрифт Times New Roman.
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним забезпеченням
для читання файлів формату PDF.
Обсяг 2,1 МБ. Зам. № 2968.

Видавець і виготовлювач
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.
вул. Університетська, 12, м. Одеса, 65082, Україна
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua