

ОСНОВИ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЇ



Tempus

**А.М. Польовий
Л.Ю. Божко
О.В. Вольвач**

**ОСНОВИ
АГРОМЕТЕОРОЛОГІЇ**

**Одеса
«ТЕС»
2012**



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Одеський державний екологічний університет

***Присвячується 80-річчю Одеського державного
екологічного університету***

**А.М. Польовий
Л.Ю. Божко
О.В. Вольвач**

ОСНОВИ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЇ

Підручник

Затверджено Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як підручник для студентів вищих навчальних закладів



1932-2012

159173-TEMPUS-1-2009-1-DE-TEMPUS-JPCR

Одеса – 2012

ББК 40.2
П 49
УДК 63: 551.5

*Гриф надано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України
(лист № 1/11 – 974 від 26.01.12)*

П 49 Основи агрометеорології: Підручник / Польовий А.М., Божко Л.Ю., Вольвач О.В.; Одеський державний екологічний університет – Одеса: Видництво ТЕС, 2012. – 250с.

У підручнику викладено основи сільськогосподарської метеорології з точки зору ознайомлення студентів напряму навчання «Гідрометеорологія» з головними закономірностями впливу погодних умов та несприятливих метеорологічних явищ на об'єкти сільськогосподарського виробництва.

Наводяться основні поняття агрометеорології, їх визначення та методи розрахунку.

Також розглядаються такі підрозділи сільськогосподарської метеорології як агрокліматологія та агрометеорологічні прогнози.

Видання підготовлено в рамках проекту 159173-TEMPUS-1-2009-1-DE-TEMPUS-JPCR «Курс з експертизи та контролю якості харчових продуктів з урахуванням європейського досвіду» та призначено для студентів ВНЗ напряму освіти «Гідрометеорологія». Може бути використаний студентами сільськогосподарських ВНЗ, гідрометеорологічних та сільськогосподарських технікумів.

Проект фінансується за підтримки Європейської Комісії. Зміст даної публікації є предметом відповідальності автора і не відображає точку зору Європейської Комісії.

Fundamentals of Agricultural Meteorology are presented in the textbook from the standpoint of introduction of the students in the Hydrometeorological direction to the principal patterns of the impact of weather conditions and hazardous weather phenomena on agricultural production facilities.

The basic concepts of Agricultural Meteorology, their definitions and calculation methods are presented.

The textbook also covers such sections of Agricultural Meteorology as Agricultural Climatology and Agrometeorological Forecasts.

The publication is prepared within the framework of 159173-TEMPUS-1-2009-1-DE-TEMPUS-JPCR 'EU Based Course in Foodstuff Expertise and Quality Control' project and is intended for the students of Hydrometeorological direction. It can be used by the students of agricultural universities, meteorological and agricultural colleges.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

ISBN 978-966-2389-59-3

© Одеський державний
екологічний університет, 2012

ПЕРЕДМОВА

Сільське господарство України – це «цех» під відкритим небом. Обсяг сільськогосподарського виробництва, кількість та якість врожаїв залежать від родючості ґрунтів, кількості сонячного світла, тепла та вологи, а також від рівня культури землеробства. За словами О.І. Воейкова «...метеорологічні умови мають величезне значення для сільського господарства; людині необхідно вивчити клімат, щоб повернути його добрі сторони на свою користь і, по можливості, усунути вплив несприятливих умов ...».

Родючі ґрунти, багато тепла і світла на території України створюють добрі умови для одержання високих врожаїв сільськогосподарських культур та розвитку тваринництва.

Сільське господарство як галузь матеріального виробництва уявляє собою складну систему, пов'язана з біологічними особливостями сільськогосподарських культур і тварин, а також з конкретними природними умовами, в яких відбувається їх вирощування.

Як система сільське господарство характеризується такими властивостями:

- тривалістю процесу виробництва кінцевого продукту;
- розповсюдженістю об'єктів виробництва по території;
- різноманіттю і обсягом одержаного кінцевого результату;
- відносною обмеженістю природних ресурсів (дефіцит тепла, недостатнє зволоження, недостатня родючість ґрунту і т. ін.);
- невизначеність одержання запланованого результату.

В різних регіонах земної кулі історично сформовані ґрунтово - кліматичні зони і вони мають різні можливості для продуктивного процесу рослин та виробництва біологічної продукції.

З метою взяти від природних ресурсів якомога більше для забезпечення зростаючих потреб населення людство в процесі сільськогосподарського виробництва втручається в сформовані тисячоліттями екологічні системи, руйнує їх природну рівновагу та процеси самовідновлення, збільшує антропогенний тиск на природу.

В середині минулого століття вперше прозвучав тривожний сигнал про продовольчу безпеку багатьох країн, особливо тих, які мають низький соціально-економічний рівень розвитку. Продовольча безпека країни – це стан економіки, за якого державою гарантована забезпеченість родовольством всіх потреб людини. *Критичною межею* продовольчої безпеки країни вважається п'ятидесятивідсоткова доля продуктів, що ввозяться (імпорт).

Залежність задоволення потреб населення у продовольстві від порівняно невеликого набору сільськогосподарських рослин і тварин

підвищує вразливість систем виробництва продуктів харчування від випадкових природних явищ.

Нестійкість погоди: зміна вологих років посушливими, теплих зим – суворими спричиняють значну мінливість валових врожаїв сільськогосподарських культур і продуктивності тваринництва. Крім того, екстремальні умови погоди (засухи, суховії, заморозки, повені тощо), широке і навальне розповсюдження захворювань серед сільськогосподарських тварин, масовий розвиток хвороб та шкідників сільськогосподарських культур, а також забруднення навколишнього середовища завдають значного збитку аграрному сектору економіки і виробництву продовольчих товарів.

Велике різноманіття ґрунтово-кліматичних умов на території України та сусідніх держав дозволяє розвивати багатогалузеве сільське господарство.

За даними наукових досліджень лише третина території України знаходиться в зоні гарантованих врожаїв. На решті території посушливі умови весняно-літнього періоду, несприятливі умови перезимівлі та перезволоження ґрунту зменшують врожаї на 30 – 40 %. Тому фахівцям з сільськогосподарського виробництва необхідно вміти ефективно використовувати ресурси клімату і погоди для підвищення продуктивності сільського господарства, боротись з несприятливими метеорологічними явищами. Для цього необхідно знати фізичні основи явищ і процесів, що відбуваються в приземному шарі атмосфери, та їх вплив на об'єкти і процеси сільськогосподарського виробництва.

*Наука, яка вивчає метеорологічні, кліматичні, гідрологічні і ґрунтові умови в їх взаємодії з об'єктами та процесами сільськогосподарського виробництва називається, **сільськогосподарською метеорологією**.* Ця комплексна наука складається з таких самостійних наукових розділів: агрометеорології, агрокліматології, агрогідрології, агрометеорологічних прогнозів та зоометеорології.

Агрометеорологія – це наука, яка вивчає метеорологічні і ґрунтові умови в їх взаємодії з процесами росту, розвитку, формування врожаїв сільськогосподарських культур, сінокісно - пасовищної рослинності та агротехнічними засобами. Особливістю агрометеорології як науки є те, що вона сформувалась і розвивалась на стику різних областей: -агрономії, фізіології рослин, ґрунтознавства, метеорології, кліматології, географії, екології та ін. Агрометеорологія являє собою систему наукових знань, об'єднаних законами та поняттями, методами та засобами досліджень.

Агрокліматологія – наука, яка вивчає кліматичні умови в їх взаємозв'язку з об'єктами та процесами сільськогосподарського виробництва.

Агрогідрологія - наука, яка вивчає стан, водно – фізичні властивості і водний режим ґрунтів сільськогосподарських угідь у їх взаємодії з

метеорологічними умовами, об'єктами та процесами сільськогосподарського виробництва.

Агрометеорологічні прогнози – наука, яка на основі досліджень впливу метеорологічних факторів на ріст та розвиток рослин, формування їх урожаїв вивчає методи прогнозування темпів розвитку рослин, формування запасів продуктивної вологи на сільськогосподарських угіддях, формування кількості та якості врожаїв сільськогосподарських культур.

Зоометеорологія – наука, яка вивчає вплив метеорологічних та кліматичних умов на сільськогосподарські тварини.

Тривалий шлях розвитку сільськогосподарської метеорології, яка увібрала досягнення метеорології і кліматології, ґрунтознавства і агрономії, фізіології рослин і тварин, екології та інших наук, впевнено показав її науково-практичне значення. Потреба в розширенні використання досягнень сільськогосподарської метеорології в аграрному секторі економіки постійно зростає. Видатний вчений - роном Т.С. Мальцев говорив : « Робота селянина нагадує мені шахову партію, в якій погода завжди має перевагу першого ходу. Сучасний відповідний крок можливий лише у тому випадку, якщо він до нього підготовлений».

Предмет і задачі агрометеорології

На сучасному етапі розвитку суспільства найважливішими задачами агрометеорології є:

1. Вивчення кількісних і якісних зв'язків між погодними умовами та ростом, розвитком і формуванням урожайності сільськогосподарських культур та сінокісно – пасовищної рослинності.

2. Вивчення закономірностей формування гідрометеорологічних умов сільськогосподарського виробництва у просторі та часі.

3. Розробка методів кількісної оцінки впливу метеорологічних факторів на стан ґрунтів, ріст, розвиток і формування врожаїв агрофітоценозів; на стан тварин, на розвиток і розповсюдження шкідників та хвороб сільськогосподарських рослин.

4. Розробка всіх методів агрометеорологічних прогнозів.

5. Агрокліматичне районування та розміщення нових сортів і гібридів сільськогосподарських культур і порід тварин.

6. Агрометеорологічне обґрунтування засобів меліорації земель та зміни мікроклімату полів; впровадження індустріальних технологій в рослинництві.

7. Розробка методів боротьби з несприятливими та небезпечними для сільського господарства гідрометеорологічними явищами.

8. Вивчення та прогнозування попиту на агрометеорологічну інформацію в умовах переходу до ринкової економіки, популяризація агрометеорологічних знань.

Ці та інші задачі вирішуються агрометеорологічною наукою і практикою з метою проведення та вдосконалення всіх форм оперативного агрометеорологічного забезпечення інформацією аграрного сектора країни.

Об'єктами вивчення агрометеорології є погода, клімат, водний та тепловий стан ґрунтів, сільськогосподарські культури і тваринництво, процеси сільськогосподарського виробництва. Особливість агрометеорології як науки полягає в тому, що вона знаходиться на межі різних областей знань: географії, кліматології, метеорології, агрономії, біології, ґрунтознавства, фізіології рослин, екології та ін.

Методи агрометеорологічних досліджень

Для вирішення задач, які стоять перед агрометеорологією, необхідна різноманітна гідрометеорологічна інформація. Для використання цієї інформації у сільськогосподарському виробництві вдосконалюються методи агрометеорологічних досліджень. До основних методів агрометеорологічних досліджень відносяться:

1. *Метод паралельних спостережень*, який полягає у тому, що на агрометеорологічних станціях та постах, в експедиціях спостереження виконуються за метеорологічними характеристиками середовища та станом рослин.

2. *Метод прискорених термінів сівби* полягає у тому, що сівба рослин проводиться через рівні відрізки часу (5, 10, 15 днів), починаючи з весни, та передбачає можливість спостережень за рослинами і метеорологічними умовами за неоднакових значень температури, освітлення, вологи та ін.

3. *Метод географічних посівів* в різних ґрунтово-кліматичних зонах країни. Цей метод дозволяє використовувати однаковий посівний матеріал, додержуватись єдиної технології вирощування, методик спостережень.

4. *Експериментально-польовий метод* передбачає використання різних камер штучного клімату, теплиць, газометричних екологічних камер, де б вивчались реакції рослин на точно визначені параметри світла, тепла та вологи і ін.

5. *Метод дистанційного визначення параметрів* стану підстильної поверхні, фенології рослин, обсягів біомаси та окремих елементів продуктивності рослин передбачає використання спеціального приладдя, що встановлюється на літаючих об'єктах або на наземному транспорті.

6. *Картографічний метод* використовується при складанні мікрокліматичних карт територій окремих господарств, агрокліматичних карт і атласів для оцінки агрокліматичних ресурсів з метою найбільш раціонального розміщення сільськогосподарських культур.

7. *Метод математичної статистики* дозволяє виконувати обробку матеріалів спостережень з метою встановлення зв'язку між розвитком рослин і формуванням їх продуктивності з умовами погоди.

8. *Метод фізико-математичного моделювання*, який полягає в побудові математичних моделей, що дозволяють за допомогою математичного апарату описати вплив агрометеорологічних умов на ріст та розвиток рослин.

Використання основних біологічних і екологічних законів в агрометеорології

Методи агрометеорологічних досліджень базуються на використанні основних біологічних і екологічних законів рослинництва:

1. *Закон рівнозначності* (не заміності) головних факторів життя. Сутність його полягає в тому, що ні один із необхідних для розвитку рослин факторів не можна замінити іншим.

2. *Закон мінімуму* (або лімітуючого фактора), згідно з яким за оптимальних інших умов врожайність визначається фактором, що знаходиться у мінімумі.

3. *Закон оптимуму* (або сукупної дії), згідно з яким найвища продуктивність рослин забезпечується тільки оптимальним співвідношенням усіх факторів життя рослин.

4. *Закон критичних періодів* у житті рослин. На основі цього закону встановлюються кількісні значення вимог рослин до факторів навколишнього середовища у різні фази розвитку.

5. *Закон нерівнозначності факторів* середовища для рослин. За своїм впливом на рослини фактори середовища розподіляються на головні і другорядні, тобто ті, що або підсилюють, або зменшують дію основних факторів на рослини

6. *Закон максимуму*. Згідно з цим законом при збільшенні величин екологічних параметрів біологічна продуктивність агроценозу або екосистеми не може збільшуватись понад речово-енергетичних ліміти, закріплені нащадковими властивостями біологічних об'єктів або їх спільноти.

7. *Закон послідовного проходження фаз розвитку* полягає в тому, що фази розвитку рослин можуть наставати тільки в еволюційно закріпленому порядку.

8. *Закон фотоперіодичної реакції.* Згідно цього закону рослини реагують на тривалість дня і ночі прискоренням або уповільненням розвитку при зміні тривалості світлової частини доби.

9. *Закон плодозміни.* Послідовність культур у просторі та часі (сівозміна) забезпечує одержання більш високих урожаїв, ніж при багаторазових посівах однієї і тієї ж культури на одному полі.

10. *Закон зменшення родючості ґрунтів.* В умовах багаторічних посівів монокультури внаслідок виносу із ґрунту питомих речовин під час формування врожаїв і його вивозі із полів відбувається зменшення природної родючості ґрунтів.

Перелічені методи широко використовуються в дослідницькій роботі національних підрозділів гідрометеорологічної служби України та в наукових закладах.

Історія розвитку агрометеорології

Перші наукові уявлення про роль клімату і погоди в сільському господарстві відносяться до XVIII і XIX ст., коли почали вестися інструментальні спостереження за атмосферними процесами і явищами.

Уперше М.В. Ломоносов у 1758 році звернув увагу на значення метеорологічних умов і їхнього прогнозу для землеробства.

Видатні російські вчені агрономи А.Т. Болотов, І.М. Комов вели систематичні спостереження за станом культурних рослин і умовами погоди, вивчали кліматичні умови країни. Французький учений Р. Реомюр досліджував темпи розвитку рослин у зв'язку з температурою повітря, уперше застосувавши, для цього показник суми температур; інший французький учений Гаспарін у своїх роботах розглядав зв'язок клімату з землеробством.

Основоположниками сільськогосподарської метеорології як науки були видатні російські вчені Олександр Іванович Воейков (1842–1916) і Петро Іванович Броунов (1852–1927 р.).

О.І. Воейков уперше довів можливість і необхідність застосування знань про клімат у сільському господарстві. У своїй знаменитій книзі «Климаты земного шара, в особенности России» (1884 р.) О.І. Воейков у двох розділах описував взаємозв'язок між кліматом і рослинністю.

У 1885 р. О.І. Воейковим були організовані перші в Росії 12 агрометеорологічних станцій і розроблена програма спостережень на цих станціях.

Чимала роль у розвитку сільськогосподарської метеорології й організації агрометеостанцій належить А.В. Клоссовському (1846–1917р.).

П.І. Броунов у 1890 р. організував мережу метеорологічних станцій у Наддніпрянщині (1890 – 1917), причому в програму їхньої роботи були включені спостереження за сільськогосподарськими рослинами.

Вперше П.І. Броуновим були розроблені методичні засади, програми, інструкції та форми записів результатів перших агрометеорологічних спостережень за впливом погоди на ріст, розвиток і продуктивність рослин

Головним у розробленій П.І. Броуновим програмі спостережень станцій і постів було проведення сполучених спостережень за розвитком і ростом сільськогосподарських культур і метеорологічних умов, а також іншими явищами, що мають відношення до вирощування рослин. Це положення й у наші дні є основним у програмах агрометеорологічних спостережень на території всієї країни.

З 1896 року Київську метеорологічну обсерваторію очолював І.І. Косоногов, при якому була організована служба інформації про вегетацію і урожай сільськогосподарських культур і видано 52 випуски «Сільськогосподарського метеорологічного бюлетеня Київської метеорологічної обсерваторії»

У 1897 році з ініціативи і при активній участі П. І. Броунова при Департаменті землеробства Росії було організоване Метеорологічне бюро – перша в країні і в усьому світі наукова агрометеорологічна установа. Керівником цього бюро був призначений П. І. Броунов.

З 1901 р. бюро стало видавати «Праці по сільськогосподарській метеорології», і першим редактором їх був П.І. Броунов., Йому належить відкриття закону про критичні періоди в розвитку рослин (1908).

П.І. Броуновим виявлені критерії посушливості й імовірності настання посушливих декад у Європейській Росії, виділені кліматичні і сільськогосподарські райони Росії.

У 1912 р. була опублікована монографія П.І. Броунова «Полевые культуры и погода», у якій були узагальнені перші підсумки агрометеорологічних досліджень.

За рубежем агрометеорологічні дослідження почалися в другій половині XIX століття. Велике значення для розвитку сільськогосподарської метеорології в багатьох країнах мало створення в 1913 р. Комісії з агрометеорології при Міжнародній метеорологічній організації (ВМО) у Римі. У числі організаторів Комісії із сільськогосподарської метеорології був П.І. Броунов.

Новий етап у розвитку агрометеорології почався незабаром після Жовтневої соціалістичної революції 1917 р. У квітні 1921р. В. И. Ленін підписав Декрет Ради Праці й Оборони про організацію метеорологічної й агрометеорологічної державної служби (Метеочастина Наркомзему Російської Федеративної Соціалістичної Республіки), 19 листопада 1921 р. Радою Народних Комісарів Української Радянської Соціалістичної Республіки було прийнято декрет про організацію Української метеорологічної служби.

Цим документом був визначений порядок збору метеорологічної і агрометеорологічної інформації, їхньої позачергової передачі в Головне метеорологічне управління, на яке покладалися функції по зборі й аналізу всіх матеріалів мережі спостережень.

У важкі для молодого радянської держави роки заново створювалася мережа станцій агрометеорологічних спостережень. При цьому були використані основні принципи організації мережі, розроблені О.І. Воєйковим і П.І. Броуновим. Навесні 1922 р. за даними цієї мережі (100 станцій) був складений і опублікований Сільськогосподарський бюлетень № 1, який став прообразом сучасних агрометеорологічних бюлетенів.

З 1930 р. агрометеорологічні дослідження були продовжені в Центральному бюро погоди в Москві, реорганізованому згодом у Центральний інститут прогнозів (ЦІП).

У 1932 р. у Ленінграді на базі створеного П.І. Броуновим відділу був організований Агродірометеорологічний інститут (АГМІ) і трохи пізніше Інститут посухи у Саратові. У цих інститутах були розгорнуті агрометеорологічні дослідження. Розроблялася теорія агрометеорологічних прогнозів, вивчалася динаміка запасів ґрунтової вологи на території колишнього СРСР, була складена перша карта агрокліматичного районування СРСР, опублікований «Світовий агрокліматичний довідник», виконані агрокліматичні дослідження, продовжувалося вивчення посух і суховіїв, були розроблені основи агрометеорологічного обслуговування сільського господарства. Велика заслуга в розвитку і практичному застосуванні цих досліджень належить Г.Т. Селянинову, С.І. Небольсину, П.І. Колоскову, Р.Е. Давіду.

У 1936 році було опубліковане перший в країні навчальний посібник «Сільськогосподарська метеорологія», написаний Р.Е. Давідом і його співробітниками. У цьому ж році вийшла у світ капітальна книга Р.Е. Давіда «Пшеница и климат».

У 1937-1938 рр. АГМІ був реорганізований у відділ агрометеорології Всесоюзного інституту рослинництва (ВІР) у Ленінграді, а Інститут посух – у відділ агрометеорології Інституту землеробства Південного Сходу у Саратові.

В Україні вивчалися залежності урожаю сільськогосподарських культур від елементів погоди. Були розпочаті розробки методики прогнозу урожаю на основі дослідження динаміки температури повітря й опадів.

У 1932 році М.С. Кулик та Н.М. Нізеньков організували спостереження за мінімальною температурою ґрунту на глибині вузла кущіння зернових за допомогою мінімального термометра, який було розміщено в металевій трубі (коробці Нізенькова). І.Г. Йовенко і Н.К. Софотеров організували вивчення водно-фізичних властивостей ґрунтів України. Дослідження з водного балансу ґрунтової вологи були

проведені В. П. Поповим. Вплив умов зволоження на урожай вивчав М.М. Самбікін.

У 50-і роки в ЦПП проводилася робота по зміцненню і розвитку мережі станцій і постів, які обслуговують сільське господарство. Продовжувалися дослідницькі роботи (Н.А. Зубарев, А.В. Процеров, А.А. Шиголев, О.О. Цубербіллер та ін.). Для освоєння цілинних земель у 1958 р. була підготовлена колективна монографія за редакцією Ф.Ф. Давітая «Агроклиматические и водные ресурсы районов освоения целинных и залежных земель».

В ці роки були організовані регіональні (зональні) Науково-дослідні гідрометеорологічні інститути в Казахстані (м. Алма-Ата), у Середній Азії (м. Ташкент), в Україні (м. Київ), у Закавказзі (м. Тбілісі), у Західному Сибіру (м. Новосибірськ), і на Далекому Сході (м. Владивосток). В усіх цих інститутах були створені відділи агрометеорологічних досліджень.

В 60-і роки в Гідрометеоцентрі СРСР, у регіональних (зональних) гідрометеорологічних інститутах були розроблені і впроваджені в оперативну практику методи агрометеорологічних прогнозів урожаю основних сільськогосподарських культур, прогнозів перезимівлі озимих культур (Є.С. Уланова, В.О. Моїсейчик, М.С. Кулик, Ю.І. Чирков, О.О. Цубербіллер, А.А. Окушко, Т.О. Побетова, Б.І. Огородніков, Б.П. Пономарев, О.М. Поповська, Л.С. Кельчевська та ін.), методи прогнозів запасів вологи у ґрунті і методи оптимізації водного режиму сільськогосподарських полів (А.М. Алпат'єв, С.А. Веріго, Л.О. Разумова, О.Р. Константинов, А.М. Шульгін, С.І. Харченко та ін.).

В 70–80-ті роки значний внесок в розвиток агрометеорологічних досліджень внесли Ю.С. Мельник, А.М. Дерев'янка, В.Н. Страшний, А.І. Страшная, Т.О. Максименко.

Створення в 1953 році відділу агрометеорології в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті стимулювало розвиток агрометеорологічних досліджень в Україні. В дослідженнях цього підрозділу впливу погодних умов на формування урожаю виділяється три етапи .

На першому етапі (1953 – 1963 рр.) було проведене узагальнення і систематизація матеріалів вивчення агрогідрологічних властивостей ґрунту (Н.Г. Йовенко, А.І. Салєпова, А.М. Кекух, В.М. Личікакі, А.С. Трегубова, Н.П. Паламарчук та ін.). Розглянуто характеристики вологозабезпеченості озимої пшениці (А.М. Кекух, Н.І. Михайлова) і побудовані карти розподілу вологозапасів (С.А. Сапожникова, А.М. Кекух, Н.Г. Йовенко, І.Е. Бучинский). С.А. Сапожниковою визначена імовірність дозрівання ранньостиглих сортів і гібридів кукурудзи. М.Н. Копачевською і Г.Л. Тимошенко розглянута можливість прогнозування термінів настання фаз розвитку кукурудзи. В.П. Дмитренко

установлені залежності і запропонована метод розрахунку тривалості міжфазних періодів озимої пшениці, кукурудзи і гречки.

У процесі досліджень зв'язку урожаю з гідрометеофакторами на другому етапі (1963 – 1973 рр.) можна виділити кілька періодів. Їхня послідовність така: формулювання робочої гіпотези (О.Р. Константинов, В.П. Дмитренко), виклад уявлень про схему врахування впливу погодних факторів на приріст рослинної маси (О.Р. Константинов), проведення кореляційного аналізу урожайності з гідрометеорологічними елементами (В.П. Дмитренко, О.Р. Константинов, І.Б. Чайка, Т.А. Чекіна), виділення і моделювання основних факторів урожайності (В.П. Дмитренко, А.Я. Короткова, О.Р. Константинов, В.П. Петькова, І.Г. Грушка), вибір загальної моделі представлення зв'язків урожаю з основними факторами (В.П. Дмитренко; Н.І. Михайлова; А.А. Левенко, О.Р. Константинов, А.А. Вилькенс) і розробка теоретичних основ моделювання урожайності сільськогосподарських культур (В.П. Дмитренко).

Вивчалися фітометричні характеристики посівів і їхній зв'язок із урожайністю сільськогосподарських культур (М.І. Гойса, А.Д. Рогаченко, В.П. Дмитренко, Г.Л. Тимошенко, А.Я. Короткова, Н.К. Строкач). Розглянуто роль складових теплового балансу у формуванні продуктивності посівів (А.Д. Рогаченко, Л.І. Сакали, А.П. Солодовнікова; М.І. Гойса, Р.М. Олейник). Отримано попередні висновки про автокореляцію вологозапасів ґрунту (В.І. Конторщикова). Розроблено методику розрахунку енергетичних ресурсів (Н.А. Перелет; М.І. Гойса, В.М. Піщолка, В.Н. Міллер) і виконана оцінка цих ресурсів для території України (М.І. Гойса, Н.А. Перелет, В.М. Піщолка).

Приділялася увага дослідженню посушливих явищ на території України (В.В. Свіріна, В.П. Дмитренко, А.М. Кекух, Т.А. Чекіна,).

Великий обсяг роботи виконаний по дослідженню режиму фотосинтетично активної радіації і продуктивності посівів (М.І. Гойса та ін.), також по фітоклімату посівів (М.І. Гойса, А.Д. Рогаченко, Р.В. Гаценко, В.В. Бібік). Значне місце займали роботи з гідрометеорологічних основ зрошуваного землеробства (О.Р. Константинов, Р.М. Олейник та ін.).

Третій етап у дослідженнях зв'язку урожаю з гідрометеорологічними умовами з'явився етапом становлення базової моделі урожайності сільськогосподарських культур (В.П. Дмитренко) та розробка методик прогнозу урожайності озимої пшениці, ярового ячменя, кукурудзи (В.П. Дмитренко), озимого жита (В.П. Дмитренко, А.Я. Короткова), картоплі (Р.М. Шелудякова), цукрового буряку (І.П. Галюк), соняшника (А.В. Мурга).

Запропоновано експериментальну модель сумарного випаровування посівів кукурудзи (М.І. Гойса, В.В. Бібік). Вперше оцінена забезпеченість вегетаційного циклу рису фотосинтетично активною радіацією і на цій

основі проведене агрокліматичне районування території України (В.М. Просунко).

В цей час одержали розвиток дослідження, спрямовані на регулювання технології вирощування окремих культур (М.І. Михайлова, В.П. Дмитренко, В.М. Лічікакі, І.Г. Грушка, Ю.В. Рогоджан, Р.М. Олейник). Розроблено методики автотранспортних обстежень посівів цукрового буряка (М.І. Михайлова) і аеровізуальних спостережень.

Велике практичне значення мали роботи М.С. Кулика й А.П. Федосєєва по обґрунтуванню застосування мінеральних добрив і диференційованої агротехніки в сільському господарстві.

Учні і послідовники Г.Т. Селянинова активно продовжували агрокліматичні дослідження (І.А. Гольцберг, Ф.Ф. Давітая, А.І. Руденко, С.А. Сапожнікова, Н.Н. Яковлев та ін.). Великий внесок в агрокліматологію 60-80 р. внесли праці П.І. Колоскова, Ф.Ф. Давітая, Д.І. Шашко, О.М. Шульгіна, Ю.І. Чиркова, Л.Н. Бабушкіна та ін.

В 1977 р. у м. Обнінськ, Калузької обл. був організований Всесоюзний науково-дослідний інститут сільськогосподарської метеорології (ВНДІСГМ), який став головним науково-методичним центром в області сільськогосподарської метеорології, головною установою у країні в цій галузі знань.

Основні напрямки наукової діяльності ВНДІСГМ стосувались наступних проблем: розробка теоретичних основ взаємодії фізичних та біологічних процесів в системі ґрунт – рослина – атмосфера; розробка нових методів агрометеорологічних прогнозів та програмування урожайності; вдосконалення методів наземних та дистанційних агрометеорологічних спостережень; розробка агрометеорологічних рекомендацій з врахування погодних умов при виконанні агротехнічних заходів; розробка автоматизованої системи збору та обробки оперативної агрометеорологічної інформації; розробка науково – методичних основ створення Агрокліматичного кадастру; розробка методів активного впливу на заморозки і т.д. Всі наукові напрямки очолювали провідні фахівці: М.С. Кулик, О.П. Федосєєв, О.Д. Сиротенко, А.М. Польовий, А.І. Коровін, В.В. Вольвач, В.О. Жуков, О.Д. Клещенко, О.Д. Пасечнюк, В.М. Пасов, В.І. Рачкулик, Л.С. Кельчевська, П.П., Федченко, В.О. Горбачов, Є.К. Зоїдзе, В.Н. Хомяков, М.В. Нікіфоров, В.Ф. Гридасов та ін.

В 1981 р. була організована міжвідомча наукова Рада з проблеми «Агрометеорологія», до складу якої увійшли провідні вчені-агрометеорологи ВНДІСГМ, Гідрометцентру, регіональних НДІ Росгідромету, інститутів Академії наук і ВАСГНІЛ, МГУ, Всесоюзної сільськогосподарської академії ім. К.А. Тімірязєва (ТСГА), Одеського гідрометеорологічного інституту (ОГМІ). Наукова Рада розробляла генеральні напрямки розвитку сільськогосподарської метеорології.

Наукові дослідження в області агрометеорології інтенсивно проводились на кафедрі агрометеорології Одеського гідрометеорологічного інституту: К.Г. Мухіна виконала агрокліматичне районування стосовно фруктових дерев; Н.І. Синиціна вивчала формування теплового та водного балансу посівів; М.Я. Шевченко вивчав вплив агрометеорологічних умов на ефективність проведення агротехнічних заходів; В.В. Капелюш вивчала вплив погодних умов на формування урожаю картоплі; К.А. Кожемяченко досліджувала умови вирощування гречки; П.Ю. Міуський розробив метод прогнозу урожаю соняшника; А.В. Сучкова виконала дослідження умов формування урожаю кукурудзи; А.В. Швєбс розробила метод прогнозу волого запасів під озимію пшеницею; Л.І. Дмитрієва вивчала умови формування урожаю винограду; К.А. Варламова досліджувала вплив агрометеорологічних умов на формування урожаю новітніх кормових культур; М.О. Пихтіна вивчала умови формування урожаю баклажан, Л.Ю. Божко досліджувала вплив агрометеорологічних умов на формування урожаю перців.

Ці дослідження продовжують виконуватись на кафедрі агрометеорології та агрометеопрогнозів сучасного Одеського державного екологічного університету (А.М. Польовий, З.А. Міщенко, Л.Ю. Божко, Г.В. Ляшенко, О.В.Вольвач, О.О. Дронова, О.Л. Жигайло, О.Є.Ярмольська; Н.В. Кирнасівська, С.В. Свидерська, О.А. Барсукова). Основні наукові досягнення кафедри полягають у наступному:

- на основі теорії енерго- і масообміну в рослинному покриві та кількісної теорії фотосинтезу створені математичні моделі продуктивності сільськогосподарських культур, які описують формування в системі "грунт – рослина – атмосфера" гідрометеорологічного режиму та його вплив на формування кількості, якості та екологічної чистоти урожаю;

- математичне моделювання впливу екстремальних погодних умов (суховії, посухи, перезволоження, приморозки) на продуктивність сільськогосподарських культур;

- математичне моделювання розвитку популяцій шкідників та поширення інфекцій, їх шкідливий вплив на продуктивність сільськогосподарських культур;

- розробка теорії прогнозування продуктивності с.-г. культур та впровадження в практику Гідрометслужби України методів агрометеорологічних прогнозів кількості та якості урожаю с.-г. культур, зернового балансу в Україні;

- розробка математичних методів оцінки агрокліматичних ресурсів територій та їх впровадження в практику районування і розміщення с.-г. культур;

- математичне моделювання забруднення с.-г. культур та природної рослинності на землях, забруднених після аварії на ЧАЕС;

– моделювання водно-сольового режиму та антропогенного забруднення зрошуваних с.-г. культур, процесів опустелювання та продуктивності природних екосистем в зв'язку із зміною клімату;

– дослідження впливу змін клімату на продуктивність сільськогосподарських культур, розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо адаптації сільського господарства України до цих змін;

– розробка методів оцінки агрокліматичних ресурсів та районування територій в різному масштабі (макро-, мезо-, мікро-) в зв'язку з продуктивністю сільськогосподарських культур.

Значний внесок в розвиток агрометеорологічних досліджень в Україні внесли М.І. Кульбіда, М.Ф. Цупенко, Т.І. Адаменко, М.П. Кривенченко. Були виконані науково-методичні роботи з обґрунтування різних видів агрометеорологічних спостережень (М.Ф. Цупенко, М.П. Кривенченко), дослідження впливу змін клімату на продуктивність озимої пшениці (М.І. Кульбіда) та кукурудзи (Т.І. Адаменко). За їх ініціативи та подальшої підтримки почалось впровадження в Україні методів оцінки агрометеорологічних умов формування продуктивності та прогнозування урожайності, заснованих на моделях продуктивного процесу рослин (А.М. Польовий).

Спираючись на науково обґрунтовані методи агрометеорологічних оцінок, прогнозів і рекомендацій, Український гідрометеорологічний центр, Обласні Центри з гідрометеорології забезпечують інформацією всі сільськогосподарські галузі Агропромислового комплексу.

Підготовка техніків-агрометеорологів проводиться в Харківському та Херсонському гідрометеорологічних технікумах. Майбутні інженери-агрометеорологи навчаються на гідрометеорологічному факультеті Одеського державного екологічного університету.

Контрольні питання

1. Дайте визначення науки «сільськогосподарська метеорологія».
2. Якими специфічними властивостями характеризується сільське господарство як галузь виробництва?
3. Перелічіть самостійні наукові розділи сільськогосподарської метеорології та дайте їх визначення.
4. Перелічіть найважливіші задачі агрометеорології.
5. Сформулюйте основні методи агрометеорологічних досліджень.
6. Розкрийте зміст основних біологічних і екологічних законів.
7. Перелічіть основні етапи в розвитку агрометеорології.
8. Перелічіть основні дослідження в агрометеорології та їх авторів.

1. АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ ТЕРМІНИ ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Перш, ніж розглядати основи агрометеорології та агрометеорологічного забезпечення, його види та форми, розглянемо загально вживані терміни та їх визначення.

Агрометеорологічна величина - кількісний вираз агрометеорологічних показників або ознак, що визначається внаслідок взаємодії атмосфери і підстильної поверхні з об'єктами та процесами землеробства і рослинництва та одержується в результаті спостережень і агрометеорологічних узагальнень. Є складовою частиною агрометеорологічної інформації. До узагальнених агрометеорологічних величин належать середні, оптимальні значення, біологічні екстремуми, коефіцієнти продуктивності, статистичні параметри сукупності об'єктів, дані оцінки врожайності за певних агрометеорологічних умов, тощо.

Агрометеорологічні величини є неперервними (що в певних межах можуть набувати будь-яких значень) і дискретними (які змінюються переривчасто. Напр., кількість рослин на 1м² і ін).

Агрометеорологічні дані - наведені у формалізованому або неформалізованому вигляді факти, явища, процеси фізичного, морфологічного, біологічного та іншого характеру, що сумісно описують стан атмосфери, ґрунту, культур і інших с.-г. об'єктів у їх взаємозв'язку і взаємодії, як єдиної системи. Вони є основою агрометеорологічної інформації, за якою складають агрометеорологічні телеграми, агрометеорологічні бюлетені, довідки, прогнози, щорічники, посібники, довідники тощо.

Агрометеорологічна довідка - детальний опис поточних агрометеорологічних умов за певний період, що суттєво вплинули або впливають на сільськогосподарське виробництво (про ушкодження культур несприятливими гідрометеорологічними явищами, поточні погодні умови для посіву або збирання культур і т. ін.), інформація про стан посівів і їх забезпечення вологою на великих площах, отримана за даними авіаційних або наземних обстежень і т. ін.

Агрометеорологічна мережа - система пунктів агрометеорологічних спостережень, станцій, постів, засобів агрометеорологічних обстежень та ін., розташована за відповідними науковими засадами. Це гідрометеорологічні та агрометеорологічні станції і пости.

Агрометеорологічний огляд - опис агрометеорологічних умов за місяць, сезон, вегетаційний період, за холодний період, за сільськогосподарський рік і їх вплив на сільськогосподарське виробництво.

Агрометеорологічне обслуговування – спеціалізований вид гідрометеорологічного обслуговування користувача

агrometeorологічною інформацією та іншими послугами, у т.ч. за плату на договірних засадах.

Агrometeorологічний прогноз - науково-обґрунтований прогноз, що висвітлює ступінь сприяння очікуваної погоди зростанню врожаю с.-г. культур, проведенню с.-г. робіт, використанню тих або інших агротехнічних заходів.

Агrometeorологічні спостереження - система засобів, прийомів, методів одночасного визначення ознак сільськогосподарських об'єктів (стану, росту, розвитку продуктивності, врожайності с.-г. культур, стану ґрунту, технологічних операцій тощо) з характеристиками стану атмосфери.

Агrometeorологічні умови - сукупність агrometeorологічних факторів, поєднаних спільним різноманітним впливом на рослинні організми та інші об'єкти сільськогосподарського виробництва у визначеному місці за певний інтервал часу.

Агrometeorологічні фактори - зовнішні геосферні (метеорологічні, гідрологічні) причини або головні умови життєдіяльності (стану, росту, розвитку і продуктивності) та структури окремих сільськогосподарських об'єктів (с.-г. культур ґрунтів, ланів, угідь); відображаються за агrometeorологічними даними.

Біометричні вимірювання – вимірювання параметрів рослин. Фаз їх розвитку на майданчиках спостереження.

Вегетація - сукупність процесів активної життєдіяльності рослин, притаманними ознаками росту і розвитку протягом їх вегетаційного циклу.

Вегетаційний цикл - період в онтогенезі рослин, протягом якого агrometeorологічні умови сприяють вегетації і відтворенню одного покоління.

Вологозабезпечення посівів - агrometeorологічний показник ступеня задоволення вологопотреби рослин протягом усієї вегетації і в окремі міжфазні періоди за будь-якого значення запасів продуктивної вологи.

Вологопотреба рослин - біологічна властивість рослин, обумовлена спадковими ознаками споживати таку кількість вологи, яка потрібна для одержання максимальної врожайності даної культури за оптимальних умов. Кількісну вологопотребу рослин визначають показниками сумарного випаровування, оптимальних запасів вологи у ґрунті або оптимальної кількості опадів за кожний міжфазний період та за весь вегетаційний цикл.

Гідrometeorологічна послуга - вид гідrometeorологічної діяльності, спрямований на залучення юридичних і фізичних осіб як постійних клієнтів для отримання фахових, виробничих, методичних, консультаційних, наукових і інших послуг.

Гідрометеорологічна служба - система державних органів, підприємств, установ та організацій, що забезпечують виконання комплексу робіт чи проведення спостережень, збору, обробки, передачі, зберігання і використання даних у сфері гідрометеорології, кліматології, геофізики, а також базових спостережень за забрудненням навколишнього природного середовища та надання відповідної інформації.

Карта агрокліматична - карта географічна, на яку нанесено показники просторового розподілу агрокліматичних ресурсів, умов, агрокліматичних показників, небезпечних метеорологічних явищ для сільського господарства, районування території стосовно агрокліматичних особливостей вирощування сільськогосподарських культур (строків їх вегетації, умов перезимівлі озимих тощо).

Методичні рекомендації - один із видів нормативно-виробничого видання, що містить сукупність науково обґрунтованих порад, побажань щодо використання гідрометеорологічної інформації під час вирішення практичних завдань агрометеорологічного забезпечення сільського господарства.

Спостережна ділянка - спеціальна ділянка для регулярних агрометеорологічних спостережень на сільськогосподарських угіддях, що, як правило, розташована на відстані не більше ніж 10-12 км від метеорологічного майданчика гідрометеостанції.

1.1 Зміст агрометеорологічного забезпечення

В сучасних умовах сільське господарство, як один із основних секторів економіки України, потребує якісного агрометеорологічного забезпечення. Це дозволить правильно оцінити необхідну для споживача інформацію: її об'єм, точність, критичні межі, форму її надання та інші параметри.

Науково обґрунтована агрометеорологічна інформація допомагає оперативно вирішити, які дії під час очікуваних умов погоди або вже відомих кліматичних параметрів будуть економічно вигідніші. Упровадження наукових методів використання метеорологічної інформації дає змогу зменшити збитки в економіці держави за умов урахування погодних умов, одержати найбільший ефект за мінімальних витрат.

На сьогодні існують реальні можливості завчасно попередити організації та населення про настання небезпечних та особливо небезпечних явищ погоди та запобігти або зменшити їх негативний вплив.

Різні форми гідрометеорологічного забезпечення та обслуговування вміщують різні гідрометеорологічні та агрометеорологічні дані. Ефект, який отримує споживач від використання гідрометеорологічної інформації, залежить не тільки від її якості -

повноти, достовірності та завчасності - але й від того, як саме цю інформацію використовують в управлінні виробництвом.

Тільки з розвитком науки і техніки стало можливим істотно впливати на навколишнє природне середовище, послаблювати залежність різних галузей сільськогосподарського виробництва. виробництва від природних умов [1].

Основною особливістю сільського господарства. є невизначеність в одержанні результатів у зв'язку з великою мінливістю погодних умов.

Найбільший вплив погоди на розвиток сільськогосподарських культур відбувається у вегетаційний період. Найбільше рослини страждають від нестачі вологи або перезволоження фунту.

Весною згубного впливу завдають заморозки. Улітку найнесприятливіші умови спостерігаються під час посух. Значна втрата вологи з ґрунту та рослин призводить до в'янення або повної загибелі рослин. У посушливі роки врожайність с.-г. культур знижується на 10 % - 20 %, а іноді на 40 % - 50 %.

Іноді навесні та восени виникають пилові бурі, від яких дуже страждають посіви: рослини частково або повністю заносяться піском, видуваються або механічно ушкоджуються.

Тривалі або сильні дощі можуть зумовити змив посівів, особливо на полях, розміщених на схилах. Великою мірою на врожайність рослин впливає розвиток шкідників та хвороб.

Стан свійських тварин також залежить від метеорологічних умов. Сприятлива погода є основною умовою успішного утримання тварин.

До особливо небезпечних для сільського господарства явищ, які призводять до ушкодження та загибелі рослин і тварин, належать [2]:

- а) засухи і суховії;
- б) ґрунтова кірка, перезволоження та висушування ґрунту;
- в) низька температура повітря;
- г) заморозки в повітрі або на поверхні ґрунту у вегетаційний період;
- д) мінімальна температура нижча від критичної на глибині залягання вузла кущіння озимих культур та багаторічних трав;
- є) льодяна кірка, високий сніговий покрив, снігопади, заметілі;
- ж) сильні дощі, зливи, град;
- з) поява шкідників і хвороб.

Враховуючи наведене вище, можна визначити основні принципи агрометеорологічного забезпечення та обслуговування [1, 2, 3]:

По-перше, основний об'єм агрометеорологічної інформації має охопити умови вирощування основних с.-г. культур (зернових, овочевих, олійних, технічних, бульбоплодів, коренеплодів та кормових трав). Для тваринництва стійлових умов утримання - відомості про метеорологічні

умови утримання та продуктивність тварин, умови вирощування кормових культур, їх заготівлі та збереження тощо.

По-друге, агрометеорологічне забезпечення та обслуговування необхідно пов'язати з особливостями землеробства, рослинництва та тваринництва за сезонами.

По-третє, має працювати принцип зворотного зв'язку стосовно агрометеорологічного забезпечення. Це визначить дієвість агрометеорологічного забезпечення та обслуговування і дозволить проводити його корегування. Ці принципи передбачають урахування заходів, які господарства вживають після одержання інформації. Спосіб зворотного зв'язку містить засоби врахування дієвості інформації та способи аналізу її економічної ефективності.

Для виконання головного завдання агрометеорологічного забезпечення слід надати виробничим організаціям необхідну інформацію про основні характеристики агрометеорологічного режиму: кількість опадів, температуру та вологість повітря, температуру та вологість ґрунту, стан рослин залежно від погодних умов. Ці відомості використовують у виробництві під час підготовки і вжиття організаційних, агротехнічних, проектних та інших заходів для одержання максимально можливого врожаю в поточних умовах року.

1.2 Основні завдання та призначення агрометеорологічного забезпечення

Агрометеорологічне забезпечення землеробства проводять за програмою, яка визначає види, форми, регулярність, періодичність надання агрометеорологічної інформації, перелік споживачів тощо. Воно започатковане в Україні після прийняття Раднаркомом УРСР у 1921 р. Декрету про організацію Української гідрометеорологічної служби.

Агрометеорологічне забезпечення - це регулярне надання різнобічної інформації галузям сільського господарства з питань найбільш повного й раціонального використання погодних, агрометеорологічних, та агрокліматичних умов з метою:

- одержання високих та сталих урожаїв с.-г. культур;
- зведення до мінімуму втрат урожаю від впливу несприятливих умов, а також під час його збирання, транспортування та зберігання.

Для вирішення цих завдань треба провести: (згідно з [2 - 8]):

- оцінювання агрометеорологічних умов (фактичних та очікуваних) з урахуванням спеціалізації сільськогосподарського виробництва (с. г.);
- агрокліматичне обґрунтування структури с.-г. виробництва;
- агрокліматичне обґрунтування систем землеробства;
- підбір найпродуктивніших сортів;
- наукове обґрунтування структури посівних площ;

- раціональну систему обробітку ґрунту;
 - ефективне використання мінеральних та органічних добрив;
 - заходи боротьби з шкідниками та хворобами рослин та тварин;
 - визначення відповідності вимог с.-г. рослин та тварин кліматичним умовам даного району;
- обґрунтування раціонального використання кліматичних ресурсів;
 - диференційоване застосування меліоративних та агротехнічних заходів;
 - попередження про несприятливі для с. г. явища погоди.

Першочергове завдання агрометеорологічного забезпечення полягає у встановленні ступеня відповідності поточних та очікуваних умов потребам с.-г. культур, а також можливих втрат від посух, суховіїв, заморозків, сильних морозів, льодяної кірки та інших несприятливих для сільського господарства явищ погоди. Для ухвалення проектних, планових та виробничих рішень у різних галузях національної економіки підрозділи гідрометеорологічної служби надають інформацію про:

- гідрометеорологічні умови, наявні та очікувані, насамперед несприятливі на території країни, республіки, області, району, господарства;
- вплив гідрометеорологічних умов на стан посівів с.-г. культур, садів, пасовищ і формування їх продуктивності, тобто врожаю;
- практичні рекомендації, спрямовані на оптимальне використання агрокліматичних ресурсів конкретного року (сезону, періоду) або на зменшення збитків від впливу окремих (або комплексу) несприятливих гідрометеорологічних факторів;
- агрокліматичні ресурси основних районів землеробства України [8].

Контрольні питання

1. Перелічіть агрометеорологічні терміни та поясніть їх сутність.
2. В чому полягає зміст агрометеорологічного забезпечення?
3. Основні завдання агрометеорологічного забезпечення.
4. Перелічіть основні види агрометеорологічної інформації.
5. Які явища відносяться до небезпечних для сільськогосподарського виробництва?
6. В чому полягає першочергове завдання агрометеорологічного обслуговування?

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЇ

2.1 Поняття про агроекологічну систему та систему ґрунт – рослина – атмосфера

Екологічна система уявляє собою складний об'єкт, який складається із багатьох сотень видів організмів і який має здібність до накопичення та багаторазового використання речовини і енергії, має велику кількість механізмів, які підтримують цілісність його структури в умовах середовища, що постійно змінюються.

Під впливом направленої антропогенної дії природні екосистеми руйнуються і на їхньому місці утворюються штучні *агроекологічні* системи. Агроекологічною системою називається спеціальний від екосистеми - екологічна система сільськогосподарського поля, на якому вирощуються культурні рослини, ростуть інші види рослин і тварин і відбувається складний ланцюг фізичних і біогеохімічних трансформацій енергії та речовини. На відміну від природних екосистем в агроекологічних системах саморегуляція зруйнована, розірвані більшість зворотних зв'язків і зруйновано природний обмін енергією і речовиною на різних трофічних рівнях. В агроекологічній системі фітоценоз не може самовідновлюватись, для цього необхідна антропогенна діяльність.

Біотична частина агро екосистеми має всі ланки, які характерні для будь – яких надземних систем: продуценти, консументи і редуценти. Разом з популяціями живих організмів різних видів до складу агро екосистеми входять певні абіотичні компоненти, які пов'язані з біотичними компонентами та із зовнішніми різними відношеннями, які поряд із зовнішніми біотичними компонентами утворюють структуру агро екосистеми і відіграють важливу роль у функціонуванні її як єдиного цілого.

Абіотична частина системи – середовище мешкання рослин і тварин – використовується ними як життєвий простір і як джерело енергії і мінеральних елементів.

Абіотична частина системи одночасно знаходиться в двох середовищах – в приземному шарі повітря та у верхніх шарах літосфери і дуже активно взаємодіє з ними.

Із неорганічних сполук, які надходять із зовнішнього середовища, рослини синтезують вуглеводи і інші речовини багаті хімічною енергією органічної речовини. Надходження енергії відбувається на межі рослин з фізичним середовищем. Так, процес фотосинтезу відбувається в листі, стеблах та репродуктивних органах рослин, тобто на межі рослин і атмосфери. Надходження води та мінеральних речовин здійснюється через межі коріння і ґрунту. Обидва названі процеси відбуваються в

рослинах одночасно і зв'язок між ними забезпечує складна сукупність процесів переносу всередині рослин (вуглецевий і водний обмін рослин, обмін мінеральних речовин).

Склад і режим повітряного і ґрунтового середовища знаходиться під безпосередньою дією внутрішніх компонентів агроєкосистеми та відчуває сильний вплив зовнішніх атмосферних та ґрунтових процесів.

Під дією цих процесів змінюється повітряне та ґрунтове середовище мешкання рослин.

У повітряному середовищі ці зміни охоплюють наступні процеси енерго- та масообміну між рослинним покривом і атмосферою: перенесення сонячної радіації в рослинному покриві, її поглинання і розсіювання фітоелементами, поглинання і відбиття сонячної радіації ґрунтом, ослаблення швидкості вітру та зміна характеристик атмосферної турбулентності в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього, конвективне перенесення тепла в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього, виділення водяної пари з ґрунту (випаровування) і фітоелементів (транспірація) і їх перенесення в повітрі. Під впливом цих процесів формуються температурні режими ґрунту і рослинності. Разом з тепловим випромінюванням атмосфери вони зумовлюють перенесення теплового випромінювання в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього. Процеси фотосинтезу і дихання рослинного покриву визначають режим вуглекислого газу, що охоплює виділення CO_2 з ґрунту, його перенесення в повітрі і поглинання (вдень) або виділення (вночі) рослинами. Протилежно перенесенню CO_2 йде перенесення кисню та його поглинання ґрунтом і виділення (вдень) або поглинання (вночі) рослинами.

Ґрунтове середовище є свого роду фокусом агроєкосистеми, оскільки воно пов'язане з усіма іншими її компонентами, причому підтримка цих зв'язків має життєво важливе значення для функціонування всієї агроєкосистеми. Її властивості доцільно розбити на дві групи.

Перша група включає відносно консервативні властивості, хоч і різні в ґрунтах різних агроєкосистем, але в кожному конкретному типі ґрунту змінюються порівняно мало. Вони відображають початкові умови формування і сучасний комплекс екологічних чинників в даній агроєкосистемі. Це основні фізичні і хімічні властивості ґрунтової маси (щільність, пористість, механічний склад, валовий хімічний склад, вміст гумусу і азоту, кислотність, місткість катіонного обміну), а також біомаса і розподіл живих організмів.

Другу групу властивостей ґрунту утворюють досить мінливі характеристики ґрунтового профілю, які визначаються процесами взаємодії ґрунту з атмосферою і рослинним покривом. Під впливом цих процесів формується тепловий, водний і повітряний режим ґрунту, вміст в ґрунті елементів мінерального живлення.

Вся система ґрунт – рослина – атмосфера ділиться на шість горизонтальних шарів. По вертикалі від поверхні ґрунту до верхньої межі рослинності $z_o = h_o(t)$ і до нижньої межі поширення коріння $r_o(t)$ виділяється внутрішнє середовище – невід’ємна складова частина агроєкосистеми. Це відповідно атмосферне і ґрунтове середовище агроєкосистеми. До них примикають перехідні, буферні зони з верхньою межею H_1 для атмосферного середовища та нижньою межею R_1 для ґрунтового середовища агроєкосистеми. В цих зонах елементи фітомаси відсутні, але їх фізичні характеристики, завдяки процесам обміну, зберігають деяку залежність від культурного фітоценозу (*агроценозу*). Властивості внутрішнього атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми, що охоплюють приземний шар атмосфери і верхні шари ґрунту, визначаються процесами взаємодії з іншими компонентами агроєкосистеми (теплообмін, вологообмін, фотосинтез, дихання та ін.) На відміну від них властивості зовнішнього середовища агроєкосистеми ($z > H_1$ і $z < R_1$) формуються під впливом процесів іншого, більш великого масштабу, незалежних від впливу агроєкосистеми: атмосферних процесів і процесів, що протікають у підстильній породі.

Межа зовнішнього і внутрішнього середовища агроєкосистеми вельми рухлива у часі і в просторі, вона визначається ростом і розвитком агрофітоценозу. У залежності від вигляду агрофітоценозу і фази його розвитку, межа атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми може коливатися від декількох десятків сантиметрів до декількох метрів.

Для системи ґрунт рослина – атмосфера характерна висока складність, цілісність, динамічність здатність до саморегулювання і адаптації.

2.2 Радіаційний і тепловий режим рослинного покриву

Фотосинтез є матеріальною й енергетичною базою еволюційного процесу і, водночас, однією з найважливіших проблем сучасного природознавства. Це єдиний процес, що протікає на всій планеті, який йде проти падіння енергетичного потенціалу з консервацією колосальної кількості сонячної енергії в продуктах рослинного походження, завдяки котрим можливе існування різноманітних форм життя на Землі. Життєдіяльність рослин не тільки тісно пов’язана з навколишнім середовищем, але й самі рослини суттєво впливають на навколишнє середовище – на склад атмосфери, температуру і вологість повітря та ґрунту і т. п.

Інтенсивність фотосинтетичної діяльності посіву визначається рядом зовнішніх і внутрішніх факторів, які впливають на агробіоценоз як систему.

Зовнішні (*екзогенні*) фактори не входять до складу агробіоценозу, але вони мають вирішальний вплив на його утворення і розвиток. До них

відносяться – прихід сонячної радіації, температура і вологість повітря, вміст CO₂ у повітрі над посівом, швидкість вітру, кількість опадів, родючість ґрунтів та ін.

Внутрішні (ендогенні) фактори властиві самому агробіоценозу. Їх можна розділити на дві групи: *біологічні властивості рослин*, що включають комплекс особливостей рослин на клітинному рівні (структура і вміст хлоропластів, продиховий апарат і т. п.) і на рівні окремого органа рослини (кількість листя, співвідношення надземної й підземної частин рослин) та *архітектоніку посіву*, що включає у його склад, побудову і властивості середовища, які входять до складу системи, пов'язаної з рослинним покривом зворотними стосунками (радіаційний режим і фітоклімат посівів, волого-температурний режим шару ґрунту, де розташована коренева система, ґрунтова родючість).

Частина факторів зовнішнього середовища бере безпосередню участь у енерго- і масообміні (сонячна радіація, CO₂, атмосферна та ґрунтова вода, мінеральні речовини), а інші є фоном, і визначають умови проходження біологічних реакцій у рослинах (температура та вологість повітря, вітер, атмосферні явища та ін.).

Добова динаміка процесів життєдіяльності рослинності багато в чому визначається температурою і вологістю ґрунту та повітря міжлистяного простору, а також прилегло до рослинності приземного шару повітря. З іншого боку, і рослинність має певний вплив на ці характеристики. У рослинному покриві формується свій гідрометеорологічний режим як результат взаємодії рослин, продуктів їх життєдіяльності, фізичних тіл і навколишнього середовища.

Істотно впливають на продукційний процес та формування врожаю компоненти агробіоценозу, що складають разом із культурним видом рослин єдину систему. До них відносяться – бур'яни, корисні і шкідливі комахи, мікроорганізми та ін.

Вивчення впливу факторів зовнішнього середовища (метеорологічних, кліматичних, гідрологічних, ґрунтових) на ріст, розвиток та формування врожаю сільськогосподарських культур складають предмет та основні завдання агрометеорології.

Поняття про агроєкосистему і систему ґрунт – рослина – атмосфера. Екологічна система являє собою об'єкт, що складається з десятків, а нерідко з багатьох сотень видів організмів, наділених здатністю до накопичення і багаторазового використання енергії і речовини, з великою кількістю механізмів, підтримуючих цілісність його структури в змінних умовах навколишнього середовища.

При направленому антропогенному впливі природні екосистеми руйнуються і на їх місці створюються штучні екологічні системи – агроєкосистеми.

Агроекосистемою називається спеціальний вид екосистеми – екологічна система сільськогосподарського поля, на якому ростуть культурні рослини, знаходяться інші види рослин і тварин та відбувається складна низка фізичних й біогеохімічних трансформацій енергії і речовини.

На відміну від природних екологічних систем, які характеризуються повною пристосованістю і саморегуляцією та забезпечують стійкий рівноважний стан – проєктивні екосистеми, в агроекосистемах саморегуляція багато в чому порушена, вони нестабільні. В агроекологічних системах розірвана більшість зворотних зв'язків, порушений природний обмін енергією і речовиною на різних трофічних рівнях, що повторюється з року в рік.

Фітоценоз агроекосистеми не може самовідновлюватися, для цього необхідна антропогенна діяльність. Біотична частина агроекосистеми містить весь комплекс, характерний для будь-яких надземних систем: продуценти, консументи і редуценти.

Разом з популяціями живих організмів різних видів в склад агроекосистеми входять певні абіотичні компоненти, які пов'язані з біотичними компонентами, а також із зовнішніми чинниками, різноманітними зв'язками. Вони нарівні з біотичними компонентами утворюють структуру агроекосистеми і відіграють важливу роль в функціонуванні її як цілого.

Абіотична частина системи – *середовище життєдіяльності рослин і тварин* – використовується ними як «життєвий простір» і як джерело енергії та мінеральних елементів.

Сукупність рослин одночасно перебуває в двох середовищах: в приземному шарі атмосфери та верхніх шарах літосфери і активно взаємодіє з ними.

З неорганічних сполук, що надходять із зовнішнього середовища, рослина синтезує вуглеводи і інші багаті хімічною енергією органічні речовини. Надходження енергії і речовин здійснюється шляхом «крайових процесів», що протікають на межі рослини з фізичним середовищем. Так, процес фотосинтезу відбувається в листі, стеблах і репродуктивних органах, що формуються, тобто на межі рослини і атмосфери, а надходження води і мінеральних речовин здійснюється через мережу кореневої системи і ґрунту. Процеси обміну між середовищем і рослинами, що відбуваються у фітоелементах й кореневій системі, функціонально нероздільні, вони можуть відбуватися тільки одночасно. Зв'язок між ними забезпечує складна сукупність процесів перенесення всередині рослини (вуглецевий і водний обмін рослин, обмін мінеральних речовин).

Склад і режим повітряного та ґрунтового середовищ життєдіяльності рослин, що перебуває під безпосереднім і визначальним

впливом внутрішніх компонентів агроєкосистеми, передусім рослинності, зазнає сильного впливу зовнішніх атмосферних і ґрунтових процесів. Здійснюючи «крайові обмінні процеси», фітоценоз змінює повітряне й ґрунтове середовище своєї життєдіяльності, пом'якшуючи якоюсь мірою різкі коливання зовнішніх умов.

У повітряному середовищі ці зміни охоплюють наступні процеси енерго- та масообміну між рослинним покривом і атмосферою: перенесення сонячної радіації в рослинному покриві, її поглинання і розсіяння фітоелементами, поглинання і відбиття сонячної радіації ґрунтом, ослаблення швидкості вітру та зміна характеристик атмосферної турбулентності в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього, конвективне перенесення тепла в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього, виділення водяної пари з ґрунту (випаровування) і фітоелементів (транспірація) і їх перенесення в повітрі. Під впливом цих процесів формуються температурні режими ґрунту і рослинності. Разом з тепловим випромінюванням атмосфери вони зумовлюють перенесення теплового випромінювання в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього. Процеси фотосинтезу і дихання рослинного покриву визначають режим вуглекислого газу, що охоплює виділення CO_2 з ґрунту, його перенесення в повітрі і поглинання (вдень) або виділення (вночі) рослинами. Протилежно перенесенню CO_2 йде перенесення кисню та його поглинання ґрунтом і виділення (вдень) або поглинання (вночі) рослинами.

Ґрунтове середовище є свого роду фокусом агроєкосистеми, оскільки воно пов'язане з усіма іншими її компонентами, причому підтримка цих зв'язків має життєво важливе значення для функціонування всієї агроєкосистеми. Її властивості доцільно розбити на дві групи. Перша група включає відносно консервативні властивості, хоч і різні в ґрунтах різних агроєкосистем, але в кожному конкретному типі ґрунту змінюються порівняно мало. Вони відображають початкові умови формування і сучасний комплекс екологічних чинників в даній агроєкосистемі. Це основні фізичні і хімічні властивості ґрунтової маси (щільність, пористість, механічний склад, валовий хімічний склад, вміст гумусу і азоту, кислотність, місткість катіонного обміну), а також біомаса і розподіл живих організмів.

Другу групу властивостей ґрунту утворюють досить мінливі характеристики ґрунтового профілю, які визначаються процесами взаємодії ґрунту з атмосферою і рослинним покривом. Під впливом цих процесів формується тепловий, водний і повітряний режим ґрунту, вміст в ґрунті елементів мінерального живлення.

Вся система ґрунт – рослина – атмосфера ділиться на шість горизонтальних шарів (рис. 2.1). По вертикалі від поверхні ґрунту до верхньої межі рослинності $z_o = h_o(t)$ і до нижньої межі поширення коріння

$r_o(t)$ виділяється внутрішнє середовище – невід'ємна складова частина агроєкосистеми. Це відповідно атмосферне і ґрунтове середовище агроєкосистеми. До них примикають перехідні, буферні зони з верхньою межею H_1 для атмосферного середовища та нижньою межею R_1 для ґрунтового середовища агроєкосистеми. В цих зонах елементи фітомаси відсутні, але їх фізичні характеристики, завдяки процесам обміну, зберігають деяку залежність від культурного фітоценозу (*агроценозу*).

Властивості внутрішнього атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми, що охоплюють приземний шар атмосфери і верхні шари ґрунту, визначаються процесами взаємодії з іншими компонентами агроєкосистеми (теплообмін, вологообмін, фотосинтез, дихання та ін.) На відміну від них властивості зовнішнього середовища агроєкосистеми ($z > H_1$ і $z < R_1$) формуються під впливом процесів іншого, більш великого масштабу, незалежних від впливу агроєкосистеми: атмосферних процесів і процесів, що протікають у підстильній породі.

Межа зовнішнього і внутрішнього середовища агроєкосистеми вельми рухлива у часі і в просторі, має сезонні цикли в залежності від виду агроєкосистеми та їх стану. Вона визначається ростом і розвитком агрофітоценозу. У залежності від вигляду агрофітоценозу і фази його розвитку, межа атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми може коливатися від декількох десятків сантиметрів до декількох метрів.

Для системи ґрунт – рослина – атмосфера характерні такі особливості як висока складність, цілісність, динамічність, здатність до саморегулювання і адаптації.

2.3. Енерго- і масообмін між рослинним покривом і атмосферою

При розгляді процесів енерго- і масообміну в системі рослина – атмосфера буферна та зовнішня зони поєднуються в один верхній горизонтальний шар як зовнішнє атмосферне середовище агроєкосистеми. Він починається від верхньої рухомої межі рослинного покриву (РП) $z_o = h_o(t)$ і поширюється до такої висоти z_{oo} (кілька сотень метрів), де рослинність уже не впливає на атмосферні процеси. Нижній горизонтальний шар охоплює надземну частину рослинного покриву і внутрішнє атмосферне середовище агроєкосистеми. Він починається від поверхні ґрунту ($z = 0$) і поширюється до верхньої рухомої межі рослинності z_o . У цьому шарі відбувається інтенсивний енерго – і масообмін між фітоелементами і навколишнім повітрям, що викликає істотну зміну вертикальних потоків енергії і субстанції.

Часто процеси перенесення енергії і субстанції у верхньому шарі не розглядають, вважаючи метеорологічні умови на верхній межі рослинності заданими.

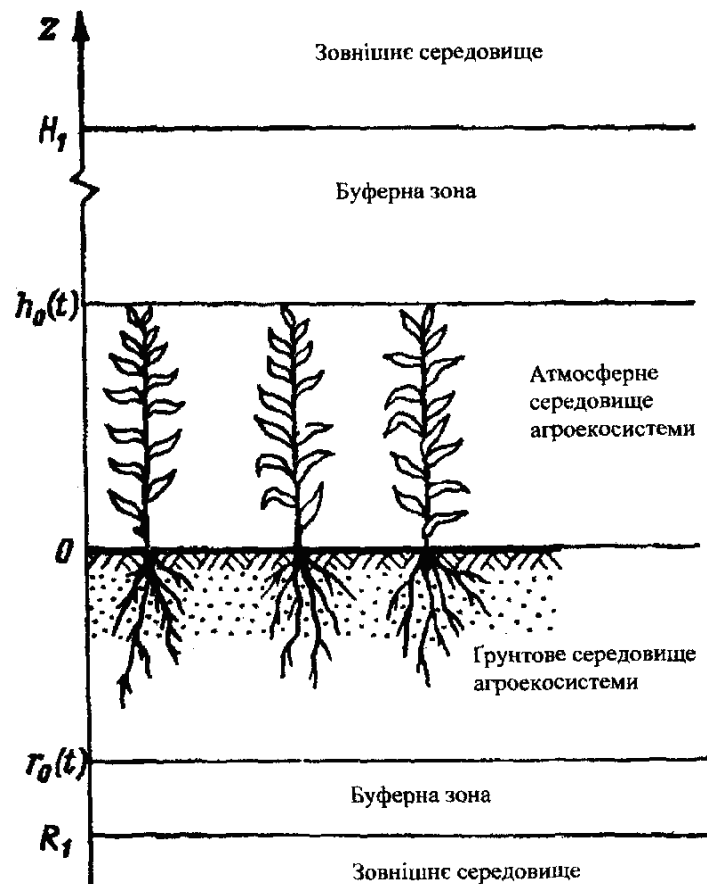


Рис 2.1 – Схема системи ґрунт – рослина – атмосфера

Слід зазначити, що рівняння перенесення енергії і субстанції в повітрі мають однаковий загальний вигляд в обох шарах повітря. При наявності рослинності у ці рівняння додатково вводять члени (функції джерел), що описують енерго- і масообмін між повітрям і рослинами.

Перенесення радіації в рослинному покриві. Сонячна радіація є первинним джерелом усіх біофізичних і фізіологічних процесів у рослинності. Частина її – фотосинтетично активна радіація (ФАР) – визначає інтенсивність фотосинтезу, інша частина – близька інфрачервона радіація – бере участь разом з тепловою радіацією у формуванні водно-теплового режиму рослинності. Радіаційний режим рослинності визначається умовами приходу на рослинність радіації, оптичними властивостями ґрунту і фітоелементів, переважно листя, і архітектонікою рослинного покриву.

Перенесення радіації в горизонтально однорідному рослинному покриві описується рівнянням:

$$\cos \Theta \frac{dI_k}{dz} = -\frac{dL}{dz} GI_k + \frac{1}{\pi} Q_k, \quad (2.1)$$

де $k = 1$ – для сонячної радіації і $k = 2$ – для теплової радіації;

Θ – zenітний кут пучка радіації інтенсивністю $I_k(z, \Theta)$, Вт·см⁻²;

dL/dz – кількість фітоплощі листя в горизонтальному шарі РП однакової товщини, см²·см⁻³;

G – коефіцієнт ослаблення радіації;

Q_k – інтенсивність функції джерела, яка неоднакова для сонячної і теплової радіації, Вт·см⁻³.

У фізичному розумінні рівняння (2.1) виражає закон збереження променистої енергії. Залежність функцій G і Q_k від напрямку падіння радіації вказує на те, що РП є оптично анізотропним. Це викликає труднощі і при розв'язанні рівняння (1.2). Вплив архітекtonіки РП, що відіграє велику роль у перенесенні радіації, входить у рівняння (1.1) через функції dL/dz , G і Q_k , причому функція dL/dz характеризує вертикальний розподіл площі фітоелементів, а функція G – їхню орієнтацію.

Масообмін між рослинним покривом і атмосферою описується рівнянням перенесення субстанції:

$$\frac{dq_i}{d\tau} = \frac{d}{dz} \left(k_i \frac{dq_i}{dz} \right) + Q_i(z, \tau), \quad (2.2)$$

де q_i – концентрація i -тої субстанції, г·см⁻³;

k_i – коефіцієнт обміну i -тої субстанції, см·с⁻¹;

Q_i – інтенсивність джерела субстанції, г·см⁻³·с⁻¹.

Над рослинністю, як правило, $Q_i = 0$

Крайові умови для рівняння (1.2) такі:

$$k_i \frac{dq_i}{dz} \Big|_{z=z_0} = F_{iA}(\tau) \quad \text{і} \quad k_i \frac{dq_i}{dz} \Big|_{z=0} = F_{iS}(\tau), \quad (2.3)$$

де F_{iA} і F_{iS} – потоки i -тої субстанції відповідно на верхній межі рослинного покриву і на поверхні ґрунту, г·см⁻²·с⁻¹.

Початкові умови для рівняння (2.2) на момент $\tau = \tau_0$ такі:

$$q_i(\tau_0, z) = q_{oi}(z). \quad (2.4)$$

При цьому враховується концентрація таких субстанцій:

– кількість руху

$$q_M = \rho_A u, \quad (2.5)$$

– кількість тепла

$$q_H = \rho_A C_p T_A, \quad (2.6)$$

– водяної пари

$$q_W = \rho_A q_A, \quad (2.7)$$

– вуглекислого газу

$$q_C = \rho_A C_A, \quad (2.8)$$

– кисню

$$q_{ox} = \rho_A C_{ox}, \quad (2.9)$$

де ρ_A – щільність повітря, $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$;

u – швидкість вітру, $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$.

C_p – питома теплоємність повітря при незмінному тиску. $\text{Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$;

T_A – температура повітря, К ;

q_A , q_C , q_{ox} – концентрація водяної пари, вуглекислого газу і кисню в повітрі відповідно, $\text{г}\cdot\text{г}^{-1}$. У випадку кількості руху розмірність q_M – $\text{г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$; Q_M – $\text{г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-2}$ і F_M – $\text{г}\cdot\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$, у випадку кількості тепла розмірність Q_H – $\text{Вт}\cdot\text{см}^{-3}$, а q_H – $\text{Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-3}$.

Звичайно передбачається, що $k_i = k_M$ для всіх субстанцій, хоча справедливність такого припущення не зовсім ясна.

Однак найбільші труднощі при розрахунку рівняння перенесення (2.2) пов'язані із визначенням інтенсивності джерела Q_i , яке визначає сумарну кількість i -тої субстанції, що поглинається ($Q_i > 0$) чи виділяється ($Q_i < 0$) в одиниці об'єму повітря за одиницю часу. Джерелами субстанції є елементи рослинності, переважно листя. Таким чином, визначення зводиться до підсумовування для усіх фітоелементів об'єму. Якщо \bar{Q}_{Li} – середня інтенсивність джерела, розрахована на одиницю поверхні фітоелемента, то:

$$Q_i(z, \tau) = \frac{dL}{dz} \bar{Q}_{Li}(z, \tau). \quad (2.10)$$

Таким чином, інтенсивність джерела Q_i для одиниці об'єму повітря визначається сукупністю інтенсивності джерела окремих фітоелементів \bar{Q}_{Li} і архітектоники рослинності, тобто кількістю, орієнтацією і закономірностями розміщення фітоелементів у рослинному покриві.

Енергетичний баланс поверхні ґрунту. Рівняння переносу радіації і субстанції (2.1) і (2.2) не є незалежними, а пов'язані між собою через інтенсивності джерел Q_i і через рівняння енергетичного балансу на поверхні ґрунту. Останнє виражає закон збереження енергії, що застосовується для поверхні ґрунту, і його можна записати у вигляді:

$$I_Q(1 - A_S) + E_{AS} - \delta_S \sigma T_{S0}^4 - F_{HS} + H_{OS} - LF_{WS} = 0, \quad (2.11)$$

де I_Q – потік сумарної сонячної радіації на поверхню ґрунту;

A_S – альbedo ґрунту;

E_{AS} – потік низхідної теплової радіації атмосфери і фітоелементів на поверхню ґрунту;

δ_S – коефіцієнт випромінювання ґрунту;

σ – постійна Стефана-Больцмана;

T_{S0} – температура поверхні ґрунту;

F_{HS} – потік конвективного теплообміну між ґрунтом і повітрям;

H_{OS} – низхідний потік тепла від поверхні ґрунту до більш глибоких шарів ґрунту;

F_{WS} – інтенсивність випаровування води з поверхні ґрунту, $\text{г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$;

L – питома теплота пароутворення, $\text{Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{г}^{-1}$.

Усі члени у формулі (2.11) мають розмірність $\text{Вт}\cdot\text{см}^{-2}$. У залежності від часу й умов потоки F_{HS} , H_{OS} і F_{WS} можуть мати і протилежний знак.

Рівняння енергетичного балансу (2.11) пов'язує між собою потоки радіації і субстанції на поверхні ґрунту. Величина окремих членів у (2.11) і роль самого рівняння (2.11) у енерго- і масообміні системи ґрунт – рослина – атмосфера істотно залежать від висоти і гущини РП.

2.4 Енерго- та масообмін між фітоелементом (листочком) і повітрям

Енерго- і масообмін між РП і атмосферою описується в основному теорією фізики приземного шару атмосфери. Опис же енерго- і масообміну між фітоелементом і повітрям вимагає застосування закономірностей тепло- і вологообміну між плоскими пластинками і повітрям, а також знання біофізичних і фізіологічних процесів, що протікають у листку.

Загальновизнаним прийомом збереження енерго- і масообмінних процесів у системі ґрунт – рослина – атмосфера є аналог у вигляді електричних ланцюжків з інтерпретацією зв'язків між об'єктами системи як опору на шляху потоку субстанції (рис. 2.2).

Для кількісного опису тепло- та масообміну використовується рівняння дифузії:

$$F_{Li} = \frac{q_{Li} - q_{Ai}}{r_i}, \quad (2.12)$$

де F_{Li} – потік i -тої субстанції між листком і повітрям, що визначає інтенсивність джерела, $\text{г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$;

q_{Li} і q_{Ai} – концентрація субстанції відповідно у листку й у повітрі, г·см⁻³;

r_i – сумарний дифузійний опір на шляху i -тої субстанції, с·см⁻¹.

Рівняння (2.12) застосовується для опису обміну тепла, водяної пари, вуглекислого газу і кисню.

Для опису перенесення кількості руху замість рівняння (2.12) згідно з експериментальними даними, використовується рівняння:

$$F_{LM} = -\rho_A \frac{C_D}{2} u^2, \quad (2.13)$$

де C_D – безрозмірний коефіцієнт опору, що залежить від нахилу листа відносно напрямку вітру, від розмірів і виду розміщення листа, від структури їхньої поверхні та ін.

Теплообмін між листком і повітрям проходить через поверхню листка, він визначається опором ламінарного шару повітря у міжлистковому просторі – опором приграничного шару листка (рис.2 2). Враховуючи рівняння (2.12) і приймаючи до уваги, що $q_H = \rho_A c_p T_A$, одержуємо для конвективного теплообміну між листком і повітрям таке рівняння

$$H_L = 2 \frac{\rho_A c_p (T_L - T_A)}{r_{aH}}, \quad (2.14)$$

де r_{aH} - дифузійний опір теплообміну приграничного шару одного боку листка. Коефіцієнт 2 указує, що враховуються обидва боки листка.

Для визначення r_{aH} застосовується теорія конвективного теплообміну і масообміну пластинок:

$$r_{aH} = \frac{\rho c_p b_L}{k_A Nu}, \quad (2.15)$$

де k_A – теплопровідність повітря, Вт·см⁻¹·К⁻¹;

b_L – характеристична довжина (ширина) листка, см;

Nu – число Нуссельта. Для плоских пластинок при ламінарному плинні $Nu = 0,60Re^{1/2}$ – випадок змушеної конвекції і $Nu = 0,50Gr^{1/4}$ – випадок вільної конвекції. Тут Re – число Рейнольдса, Gr – число Грасгофа.

Результати експериментів з модельними листками добре апроксимуються напівемпіричною формулою

$$r_{aH} = a_H (b_L / u)^{1/2}, \quad (2.16)$$

де емпірична постійна a_H , виражена в $\text{с}^{1/2} \cdot \text{см}^{-1}$, залежить від турбулентності вітру, форми й орієнтації листка та інших факторів.

Якщо листки хитаються, то a_H приблизно в 1,4 рази, а у хвойних – у 2 рази менше, ніж a_H нерухомих листків. Практично для «середнього» листка в «середніх» умовах $a_H = 0,9$.

Аналогічно визначається опір приграничного шару листка при дифузії водяної пари r_a і вуглекислого газу r_{ac} :

$$r_{aH} = 1,1 r_a \quad \text{і} \quad r_{ac} = 1,6 r_a . \quad (2.17)$$

Розходження між r_a , r_{oc} і r_{aH} зумовлене різною молекулярною масою H_2O , CO_2 і повітря.

Вологообмін між листком і повітрям (транспірація). Зовні листок (див. рис.2.2) має одношаровий епідерміс (на верхньому та нижньому боці листка). Зовнішні стінки епідермісу покриті кутикулою – вологозахисним шаром. Епідерміс разом з кутикулою створює ефективний бар'єр на шляху руху води. Між верхнім і нижнім епідермісом розміщені два види рослинної тканини (зверху – палісадний (стовпчатий) мезофіл, внизу – губчастий мезофіл) та велика кількість міжклітинників. Завдяки розвинутій системі міжклітинників мезофіл має величезну поверхню, що в багато разів перевищує зовнішню поверхню листка. Вода в міжклітинниках випаровується із всіх відкритих ділянок клітин мезофілу. У більшості видів рослин на нижньому епідермісі містяться продихові (отвори) щілини – продихи.

Під транспірацією листя розуміють перенесення водяної пари уздовж градієнта концентрації з поверхонь, що випаровують, усередині листка до зовнішньої його поверхні і далі в повітря. Випаровування з листка відбувається в двох місцях: із зовнішніх стінок клітин епідермісу і зі стінок клітин мезофілу, що виходять у міжклітинні простори, заповнені повітрям. Звідси пара рухається до поверхні листка: у першому випадку через кутикулу, долаючи кутикулярний опір r_{cut} а в другому – через продихові щілини, долаючи продиховий опір (рис. 2.2а). Коли продихи відкриті, роль кутикулярної транспірації мала. Оскільки шляхи руху водяної пари – через кутикулу і через продихи – паралельні, то й сумарний внутрішній опір водяної пари r_w виражається через продиховий опір r_s і кутикулярний опір r_{cut} формулою:

$$\frac{1}{r_w} = \frac{1}{r_{cut}} + \frac{1}{r_s} . \quad (2.18)$$

На поверхні листка на перенесення водяної пари впливає, як і при теплообміні, опір приграничного шару r_a . На шляху водяної пари опори r_w і r_a послідовні.

Приймаючи до уваги формулу (2.12), інтенсивність транспірації листка визначається формулою:

$$E_L = \rho_A \frac{q_L - q_A}{r_a + r_w}, \quad (2.19)$$

де E_L – інтенсивність транспірації листка, г $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{c}^{-1}$;

ρ_A – об'ємна густина повітря, г $\cdot \text{cm}^{-3}$;

q_L і q_A – питома вологість повітря відповідно у міжклітинному просторі всередині листка і між листками, г $\text{H}_2\text{O}/\text{г}$ повітря.

2.5 Фотосинтез, дихання і газообмін CO_2 листка

Газообмін CO_2 між листком і повітрям є результатом протікання в листку процесів фотосинтезу і дихання. При фотосинтезі листок поглинає CO_2 з повітря в міжлистковому просторі. Молекули CO_2 рухаються через примежовий (приграничний) шар повітря над листком і через продихові (устячкові) отвори в міжклітинний простір усередині листка, де вони дифундують крізь стінки мезофільних клітин (рис. 2.2б). Цей шлях CO_2 описується дифузійним рівнянням типу (2.12). На стінках мезофільних клітин молекули CO_2 розчиняються і подальший їхній шлях у центри карбоксилювання в хлоропластах описується законом дифузії розчинених газів у рідині і характеризується опором мезофіла r_{md} . У центрах карбоксилювання молекули CO_2 вступають у біохімічний цикл фотосинтезу.

У процесі дихання в темну пору доби молекули CO_2 виділяються в мітохондріях, що містяться у середині клітини на деякій відстані від центрів карбоксилювання. Тому вони можуть дифундувати або до стінок клітин і потрапити в міжклітинний простір, або до центрів карбоксилювання в межах клітини і поглинатися в процесі фотосинтезу.

У процесі світлового дихання молекули CO_2 виникають у безпосередній близькості від центрів карбоксилювання й імовірність їх дифузювання в міжклітинний простір мала. Дифузійний шлях молекул CO_2 , що виділяються в процесі дихання, істотно залежить від побудови і структури клітин.

Фотосинтез. Процес фотосинтезу в листку підрозділяється на два етапи: дифузія молекул CO_2 з повітря до центрів карбоксилювання в клітині, що описується законами біофізики, і біохімічний цикл

фотосинтезу в хлоропластах, який описується законами фітобіології і біохімії.

Для опису дифузії молекул CO₂ у листку Гаастра застосовував закон Фіка

$$\Phi_L = \frac{c_A - c_c}{r_{ac} + r_{sc} + r_{md}}, \quad (2.20)$$

де Φ_L – інтенсивність фотосинтезу, мг CO₂·см⁻²·сек⁻¹.

c_A і c_c – концентрація CO₂ відповідно в повітрі і в центрах карбоксилювання, мгCO₂·см⁻³;

r_{ac} , r_{sc} , r_{md} – дифузійні опори для молекул CO₂ відповідно в приграничному шарі листка, устячках і клітинах мезофіла.

Біохімічний цикл фотосинтезу описується рівнянням Міхаеліса-Ментен:

$$\Phi_L = \frac{1}{\frac{1}{\chi_\Phi a_\Phi I_\Phi} + \frac{r_{mx}}{c_c}}, \quad (2.21)$$

де a_Φ – нахил світлової кривої фотосинтезу;

I_Φ – інтенсивність ФАР;

χ_Φ – коефіцієнт поглинання листком ФАР;

r_{mx} – ефективний опір карбоксилювання.

Формула Ю.К. Росса і З.Н. Біхеле поєднує залежність фотосинтезу від радіації, концентрації CO₂ і від дифузійних опорів:

$$\Phi_L = \frac{1}{\frac{1}{\Phi_m} + \frac{1}{\chi_\Phi a_\Phi I_\Phi} + \frac{r_{ac} + r_{sc} + r_m}{c_A}}, \quad (2.22)$$

де Φ_m – потенційний фотосинтез, тобто $\lim_{I_\Phi \rightarrow \infty} \Phi_L = \Phi_m$, що залежить від

$$I_\Phi \rightarrow \infty$$

$$c_A \rightarrow \infty$$

температури і віку листка, а $r_m = r_{md} + r_{mx}$.

Вплив інших факторів зовнішнього середовища (температури, водного режиму, швидкості вітру і вологості повітря) на фотосинтез враховується побічно, в основному через дифузійні опори.

У формулі (1.22) фотобіологічний бік фотосинтезу визначається через кут нахилу світлової кривої a_Φ . Біохімічний цикл фотосинтезу виражається через параметри Φ_m і r_{mx} .

Дихання. Процес дихання усієї рослини охоплює дихання листка, а також дихання інших органів у денний час і дихання всіх органів у нічний час доби.

Мак Крі на підставі лабораторних експериментів запропонував розділити темнове дихання рослин на дві складові – дихання росту R_G і дихання підтримки R_M , тобто:

$$R = R_G + R_M. \quad (2.23)$$

Дихання росту характеризує витрату енергії на створення нової структурної маси, причому добове дихання росту пропорційно денній сумі фотосинтезу Φ , тобто:

$$R_G = k_1 \Phi, \quad (2.24)$$

де k_1 – безрозмірна стала.

Дихання підтримки характеризує витрату енергії на підтримку життєздатності живих структур рослини, причому дихання підтримки всієї рослини R_M пропорційно масі рослини, тобто:

$$R_M = m_P c / \varepsilon, \quad (2.25)$$

де m_P – суха фітомаса всієї рослини, г;

ε – перехідний коефіцієнт від засвоєного CO_2 до сухої фітомаси, г сухої речовини $(\text{гCO}_2)^{-1}$;

c – стала величина, час^{-1} .

2.6 Формалізація ростових процесів рослин

Для опису кількісного росту сухої фітомаси рослини довгий час використовувалися емпіричні криві росту.

Основоположник вчення про ріст рослин Ю. Сакс розумів під цим процесом збільшення об'єму рослин, зумовлене зміною їх форми. Майже такої ж думки дотримувався і В. Ротер в Росії, який визначав ріст "як остаточне, незнищене збільшення об'єму рослин".

За Д.А. Сабініним ріст – це процес новоутворення елементів структури організму, до яких відносяться органи, клітини, частини клітин і, нарешті, субмікроскопічні компоненти протоплазматичних структур до макро-молекул включно.

Ріст, як і всі інші процеси в рослині, є функцією часу, що зовні виражається в періодичних і ритмічних коливаннях його інтенсивності, а також в змінах його масштабності, спрямованості та локалізації. Найбільш

загальним виразом залежності ходу ростових процесів у часі від внутрішніх причин, їх спадковості та фізіолого-біохімічного стану є сформульований Ю. Саксом в 1856 р. закон великого періоду росту, який відображає S-подібний хід кривої інтегрального наростання розмірів або маси рослин і параболічний хід диференціальної кривої приростів величини збільшення маси за певний період.

Три послідовні гілки S-подібної кривої росту можуть бути виражені рівняннями першого і другого порядків:

- 1) нижня висхідна гілка виражається рівнянням геометричної прогресії або близькою до неї формулою експонентної кривої $y = ax$;
- 2) середня, пряма частина – рівнянням лінійної функції $y = tx + b$;
- 3) верхня низхідна гілка – рівнянням логарифмічної функції $y = \log a^x$.

Початок і кінець росту також протікають згідно із законом лінійної функції. Зміна приросту маси рослин у часі при оптимальних умовах середовища відбувається за типом параболічної функції $y = \pm\sqrt{2p}$.

Враховуючи ці закономірності росту, а також наявність функціональної залежності між ростом, часом і масою (або розмірами) рослини, багато дослідників застосовують математичні методи опису ростової динаміки і на цій основі шукають шляхи прогнозування темпів росту та формування врожаю. Так, В.Х. Блекман виразив ріст рослин рівнянням складних процентів:

$$\frac{d\omega}{dt} = KW, \quad (2.26)$$

де W – маса або розмір рослини;

t – час росту;

K – коефіцієнт пропорційності.

В основу цієї формули покладено уявлення про здатність кожної одиниці маси організму (старої і новоутвореної) збільшуватися за одиницю часу на певний процент. Після інтегрування цього рівняння воно має вигляд:

$$W_t = W_o e^{rt}, \quad (2.27)$$

де W_t – маса або розмір рослини через інтервал часу;

W_o – початкова маса при $t = 0$;

e – основа натуральних логарифмів;

t – час;

r – середній процент росту маси або розмірів рослини (питома швидкість росту).

Величина r не залишається постійною навіть при одних і тих же умовах середовища. Вона знаходиться шляхом логарифмування рівняння В.Х. Блекмана:

$$r = \frac{\log W_1 - \log W_0}{t \log e} \quad (2.28)$$

Однак і рівняння В.Х. Блекмана описує лише експонентну частину сигмаподібної кривої росту і до того ж не враховує вплив на ріст умов навколишнього середовища.

Т.В. Робертсон запропонував описувати динаміку росту рівнянням автокаталітичних реакцій:

$$\frac{dW}{dt} = K_1 N(A - W), \quad (2.29)$$

де K_1 – емпірична константа;

W – маса або розмір рослини;

A – кінцева величина, що досягається при рості.

Після інтегрування рівняння набуває вигляду:

$$K = \frac{1}{t - t_1} \log \frac{W}{A - W}, \quad (2.30)$$

де $W = 1/2 A$.

Ці рівняння застосувати практично неможливо, оскільки треба знати дві істотні величини A і $1/2A$. Припущення Т.В. Робертсона про те, що гальмування росту при наявності достатньої кількості початкових продуктів є результат взаємодії авто-каталітично діючих продуктів росту, експериментально не доведене. Тому його рівняння можуть бути застосовані лише для визначення проміжних точок на сигмаподібній кривій росту, між A і $1/2A$, і тільки при постійних умовах середовища.

І.І. Шмальгаузен розробив теорію параболічного росту для вираження ембріонального росту тварин за допомогою наступного рівняння:

$$z = z_0 t^k, \quad (2.31)$$

де z – маса ембріона на задану дату;

z_0 – початкова маса ембріона при $t = 0$;

t – час росту;

k – емпіричний коефіцієнт.

Математичну інтеграцію закону великого періоду росту дає також Г.З. Вінцкевич. Він вводить поняття про три етапи росту: перший – вся біомаса складається тільки з активних елементів ($z = ma$); другий – нарівні з активними елементами виникають консервативні елементи ($z = ma + mk$), третій – коли залишаються тільки одні консервативні елементи ($z = mk$). На основі цих уявлень, використовуючи формулу В.Х. Блекмана, що виражає експоненційний ріст, Г.З. Вінцкевич запропонував свої рівняння сигмаподібної кривої росту і методи розрахунку її констант.

При уявленні про ріст як про ряд клітинних ділень, В.Г. Карманов і В.К. Вікторов вивели рівняння росту, що нагадує формулу Робертсона:

$$\frac{dm}{dt} = a(u) - b(u)m^2, \quad (2.32)$$

де m – математичне очікування розміру (маси) ростового утворення;

u – чинник, що вивчається;

a і b – коефіцієнти.

Методом динамічного програмування з використанням цієї формули визначається залежність, при якій необхідно міняти значення чинника у часі, щоб отримати максимальний ріст рослин.

2.7 Агрометеорологічні умови та фотосинтетична продуктивність посівів

Продуктивний процес рослин – це сукупність окремих взаємопов'язаних процесів, з яких фундаментальними є фотосинтез, дихання і ріст, в ході яких відбувається формування урожаю (рис. 2.2). Продуктивний процес рослин залежить від умов зовнішнього середовища і сам перетворює довкілля, в основному через архітектоніку, газообмін та транспірацію фітоценозу.

Рослини, поглинаючи листям з атмосфери CO_2 і кореневою системою воду з ґрунту, створюють в процесі фотосинтезу під впливом енергії сонячної радіації органічну речовину у вигляді асимілятів. Одночасно відбувається транспірація, яка відповідальна за забезпечення рослин водою і елементами мінерального живлення і за регуляцію теплового режиму рослин. У залежності від інтенсивності ФАР, водного і температурного режиму, швидкості вітру, концентрації CO_2 в повітрі, родючості ґрунту і видових особливостей рослин процес фотосинтезу може йти з більшою або меншою швидкістю.

Інший фундаментальний процес – дихання – забезпечує постачання енергією різних біохімічних процесів синтезу, пов'язаних із ростом, побудовою нових структурних елементів рослин і з транспортом речовин,

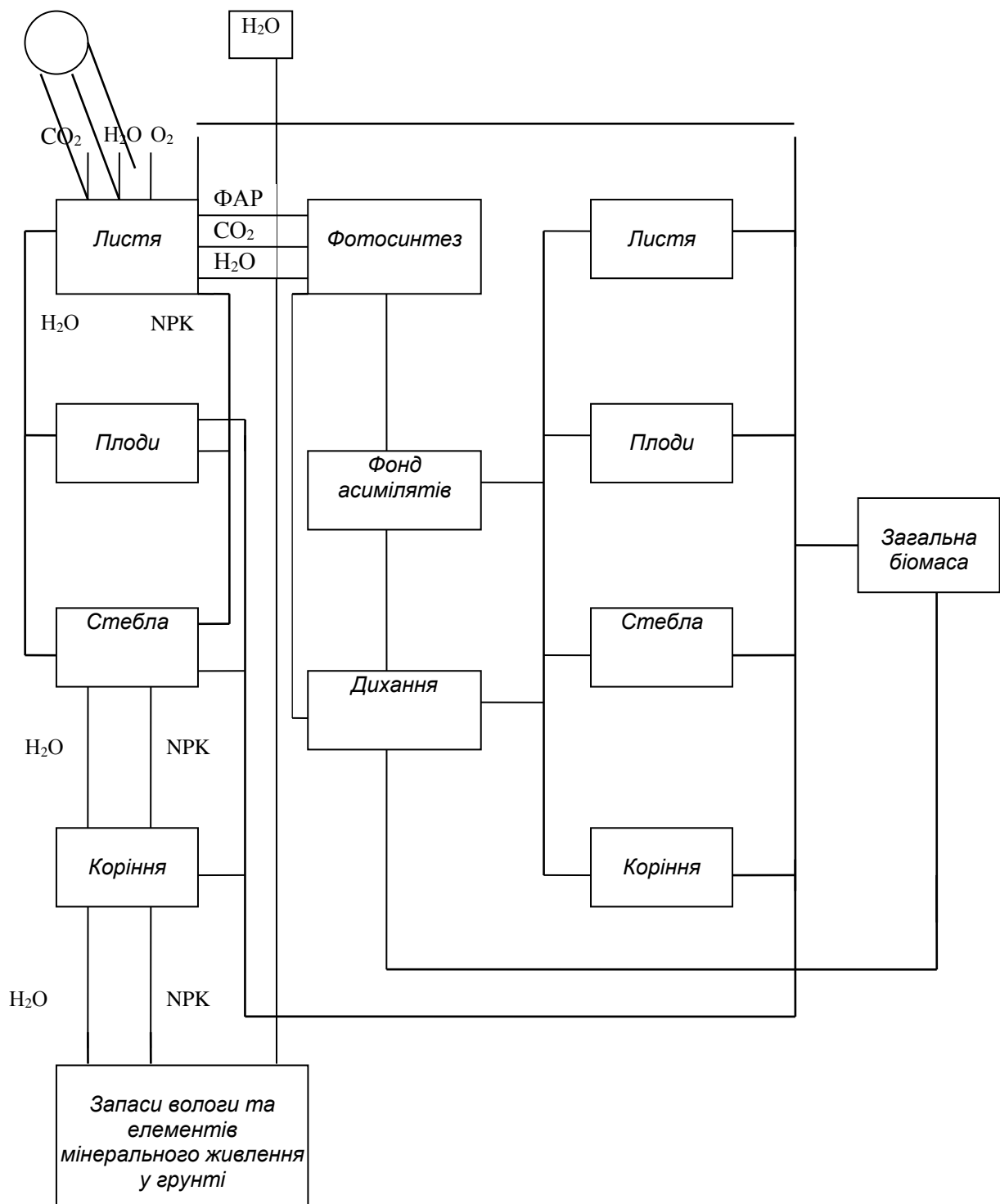


Рис. 2.2 – Блок-схема продуктивного процесу

а також підтримкою життєдіяльних структур органів рослин. При цьому витрачаються органічні речовини, накопичені в органах рослин.

Третій фундаментальний процес – ріст. Фотосинтез і ріст розглядаються як взаємопов'язані процеси. Енергетичне забезпечення ростової функції з боку фотосинтезу є неодмінною умовою росту. Система донорно-акцепторних відносин є основним виявленням інтеграції фотосинтезу і росту на рівні цілого організму. Між донором і акцептором формуються тимчасові проміжні фонди асимілятів. Фонди можуть знаходитися в кожному органі, але більш мобільні з них, ймовірно, знаходяться в листках і стеблах. Запасні асиміляти на більш тривалий період переважно нагромаджуються у корінні. В умовах екологічного стресу, коли пригнічується фотосинтез, величина фондів стає істотним чинником формування урожаю.

Фонди забезпечують часткову автономність функції фотосинтезу і росту. Можливе обмеження росту без фотосинтезу за умови, що енергетичне постачання відбувається за рахунок запасних субстратів попереднього фотосинтезу. Таким шляхом ростуть паростки, пагони і листя з бруньок дерев. Так відбувається ріст в нічні години і т.д. Налив зерна у зернових культур і формування бульб у картоплі здійснюється також не тільки за рахунок "свіжих" асимілятів, що утворюються в листках, але і шляхом використання фондів асимілятів.

Ріст – це складова частина продуктивного процесу, який супроводжується збільшенням маси і розмірів органів, органел і живого організму в цілому.

Найбільш елементарний показник росту фітомаси – це приріст, тобто різниця між сухою фітомасою за певний проміжок часу

$$\Delta M = M_2 - M_1. \quad (2.33)$$

Приріст сухої фітомаси не є вичерпною характеристикою при оцінці росту органів рослин, оскільки не враховує хімічний склад фітомаси. Приріст сухої маси відбувається за якийсь інтервал часу Δt , тому вживається поняття абсолютної швидкості росту:

$$\Delta M / \Delta t = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1) \quad (2.34)$$

і відносного приросту:

$$R_r = (M_2 - M_1) / [\bar{M}(t_2 - t_1)], \quad (2.35)$$

де \bar{M} – середня суха маса рослини за період часу $t_2 - t_1$.

При аналізі приросту біомаси використовується і величина чистої продуктивності фотосинтезу посівів $E_{n.ф.}$, яка розраховується за формулою:

$$E_{n.ф.} = \frac{1}{\bar{L}_0} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta t}, \quad (2.36)$$

де \bar{L}_0 – середня сумарна площа листя рослини за період Δt .

Величина $E_{n.ф.}$ широко використовується для характеристики фотосинтетичної активності листкової поверхні.

За період вегетативного росту і в оптимальних умовах збільшення структурної маси відбувається пропорційно самій масі (стадія експоненціального росту). Ріст окремих органів рослини в оптимальних умовах протягом всього онтогенезу має характерні для даного виду закономірності, що задані генетичним кодом рослини. При нестачі будь-якої фондової речовини ріст обмежений і пропорційний концентрації фондової речовини. При повних фондах лімітування росту фондами відсутнє.

Крім фондів вуглеводів і N, P, K, істотний вплив на ріст проявляють температура і водний режим рослин. Ріст відбувається в певному температурному інтервалі, в середині цього інтервалу при оптимальній температурі ріст досягає максимальної швидкості. При великих значеннях водного потенціалу вода не лімітує його ріст, однак при погіршенні водного режиму ріст рослини буде затримуватись і припиниться, якщо водний потенціал досягне деякого критичного значення.

Згідно з роботами Х.Г. Тоомінга найвища продуктивність посівів сільськогосподарських культур може бути досягнута при наступних умовах:

- формується оптимальний за розмірами і по тривалості роботи фотосинтетичний апарат;
- досягається найкраща за інтенсивністю і за якісною спрямованістю його робота в різних фазах росту та розвитку рослин;
- забезпечується найкраще використання продуктів фотосинтезу з найменшими їх витратами на процеси загального метаболізму і росту;
- хід цих процесів підтримується оптимальним співвідношенням чинників середовища: світла, тепла, вологи, вуглекислого газу і елементів мінерального живлення.

Передумовою для створення математичних моделей продуктивного процесу рослин є знання закономірностей залежності вищезазначених фундаментальних процесів від чинників зовнішнього середовища і від внутрішніх біологічних, видових та адаптивних особливостей рослин у взаємозв'язку і в динаміці онтогенезу.

2.8 Розподіл асимілятів та рівняння росту рослин

Для кількісного опису накопичення загальної сухої фітомаси принципово нове балансове рівняння, яке пов'язує фотосинтез і дихання з ростом рослин, було запропоновано Л.О. Івановим:

$$M + \Delta m_{on} = \Phi L \tau - R M_I \tau_I, \quad (2.37)$$

де M – суха маса всієї рослини за період, що розглядається;
 Δm_{on} – маса відмерлих та опалих частин органів за цей час;
 Φ – інтенсивність фотосинтезу;
 L – площа асимілюючої поверхні;
 τ – тривалість світлого часу доби;
 R – інтенсивність дихання;
 M_I – маса органів;
 τ_I – час дихання.

Розглядаючи ріст як підсумковий процес, що відображає баланс речовин при фотосинтезі та диханні, І.Л. Давідсон і І.Р. Філіпп запропонували наступне рівняння росту:

$$\frac{dM}{dt} = \varepsilon(\bar{\Phi} - \bar{R}), \quad (2.38)$$

де M – суха біомаса;
 $\bar{\Phi}$ – сумарний фотосинтез;
 \bar{R} – сумарне дихання рослини;
 ε – емпіричний коефіцієнт пропорціональності між кількістю засвоєного CO_2 і накопиченою біомасою.

Система рівнянь росту Ю.К. Росса стала основою для інтенсивного розвитку динамічного моделювання продуктивного процесу і на цей час є загальновизнаною. Система диференціальних рівнянь Ю.К. Росса для опису росту органів рослини має вигляд

$$\frac{DM_j}{dt} = \varepsilon_{\Phi} \sum_{i=1}^4 A_{ij} \bar{\Phi}_{ci} - \varepsilon_R \bar{R}_{cj} - V_j + M \sum_{i=1}^4 B_{ij}, \quad (2.39)$$

де i та j – органи рослини (1 – листя, 2 – стебла, 3 – корені, 4 – репродуктивні органи);
 M_j – суха маса органа j ;
 ε_{Φ} – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;
 ε_R – коефіцієнт ефективності дихання;

$\bar{\Phi}_{ci}$ – сумарний фотосинтез органа i за добу;

\bar{R}_{cj} – сумарне дихання органа j за добу;

V – втрати сухої фітомаси за добу внаслідок її опадання;

M – сумарна суха маса рослин;

A_{ij} – частка утворених за добу в i -му органі рослини "свіжих" асимілятів, які перетікають на протязі доби в j -ий орган;

B_{ij} – обмін "старих" асимілятів між i -м та j -м органами, віднесений до одиниці сухої фітомаси всієї рослини;

A_{ij} і B_{ij} подаються у вигляді "ростових матриць". У спрощеному випадку, коли основними синтезуючими органами є листя, замість ростових матриць для періоду вегетативного росту розглядаються функції вегетативного росту A_j , а для періоду репродуктивного росту – функції репродуктивного росту або так звані функції припливу - відтоку B_j .

Рівняння росту для j -го органа тоді записується так:

$$\frac{\Delta m_j}{\Delta t} = A_j \frac{\Delta M}{\Delta t} + MB_j, \quad (2.40)$$

де $\sum A_j = 1$ та $\sum B_j = 0$.

В роботі Х.Г. Тоомінга рівняння Ю.К. Росса трохи модифіковане. Він включив в рівняння (1.39) замість $\Delta M/\Delta t$ добовий газовий обмін посіву і одержав таке рівняння:

$$\frac{\Delta m_j}{\Delta t} = \varepsilon A_j(t) \left[\int_t^{t+1} \int_0^{L_0(t)} (\Phi_1 - R_1) dL d\tau - \sum_{i=2}^n \bar{R}_{ci} \right] + MB_j, \quad (2.41)$$

де $\sum_{i=2}^n \bar{R}_{ci}$ – сумарне за добу дихання всіх органів, крім листя;

t – тривалість світлого часу доби.

Виходячи з припущення, що відтік асимілятів із j -го органа пропорційний масі живої частини \tilde{m}_j цього органа, Є.П. Галямін запропонував функцію репродуктивного росту визначати за виразом:

$$b_j = \frac{\Delta m_j}{\Delta t} \cdot \frac{1}{\tilde{m}_j}, \quad (2.42)$$

де \tilde{m} – біомаса, в складі якої є компоненти, що здійснюють і регулюють обмін речовин, названа А.М. Польовим *функціонуючою біомасою*.

Її кількість оцінюється згідно з роботами А.М. Польового на основі використання універсального закону старіння біологічних систем. Для періоду активного росту рослини вся біомаса є функціонуючою, отже приріст загальної і функціонуючої біомаси однаковий:

$$\frac{\Delta \tilde{m}_j}{\Delta t} = \frac{\Delta m_j}{\Delta t} \geq 0. \quad (2.43)$$

При виникненні стресових умов або при старінні рослин, коли кількість загальної біомаси знижується внаслідок переваги процесів розпаду над процесами синтезу, зміна кількості функціонуючої біомаси знаходиться за виразом:

$$\frac{\Delta \tilde{m}_j}{\Delta t} = - \left(\frac{\Delta m_j}{\Delta t} \frac{1}{k_s} \right), \quad (2.44)$$

де k_s – параметр, що характеризує долю життєдіяльних структур в загальній біомасі органа.

Для опису динаміки росту сухої біомаси окремих органів А.М. Польовим запропонована така система рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta m_i^j(p)}{\Delta t} &= \frac{\beta_i^j \Phi^j}{1 + c_{Gi}} - \frac{(\alpha_{Ri}^j c_{mi} \varphi_R^j + g_i^j) \tilde{m}_i^j}{1 + c_{Gi}}, \\ \frac{\Delta m_p^j}{\Delta t} &= \frac{\beta_p^j \Phi^j}{1 + c_{Gp}} - \frac{\left(\alpha_{Rp}^j c_{mp} \varphi_R^j \tilde{m}_p - \sum_i^{l,s,r} g_i^j \tilde{m}_i^j \right)}{1 + c_{Gp}}, \end{aligned} \quad (2.45)$$

$$\frac{\Delta m_g^j}{\Delta t} = \frac{\Delta m_{g_{\max}}^j}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta \tilde{m}_p^j / \Delta t}{k_g + \Delta \tilde{m}_p^j / \Delta t},$$

де $\frac{\Delta m_i^j(p)}{\Delta t}$ – приріст біомаси i -го вегетативного (репродуктивного) органа;

$\tilde{m}_{i(p)}$ – функціонуюча біомаса i -го вегетативного (репродуктивного) органа;

$\Delta m_g / \Delta t$ – приріст сухої біомаси зерна;

$\Delta m_{g \max} / \Delta t$ – максимально можлива в реальних умовах швидкість

приросту сухої біомаси зерна;

β_i – ростова функція вегетативного періоду;

\mathcal{G}_i – ростова функція репродуктивного періоду;

c_{Gi} – коефіцієнт дихання росту;

α_R – онтогенетична крива дихання;

c_{mp} – коефіцієнт дихання підтримки;

φ_R – температурна крива дихання;

k_g – константа Міхаеліса-Ментен;

i – органи : l – листя; s – стебла; r – коріння; p – колосся.

Останнім часом все більшого значення і поширення набувають методи кількісного опису процесів росту, розвитку, продуктивного процесу і ходу формування урожаю з використанням ПЕОМ. Вирішальною умовою ефективності таких методів є відбір найбільш інформативних динамічних показників, які тісно корелюють з продуктивним процесом, кількість яких повинна бути мінімальною і в той же час достатньою для практичних цілей моделювання і прогнозування формування урожаю.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте біотичну і абіотичну частини середовища.
2. Що розуміють під зовнішніми і внутрішніми факторами?
3. Основні закони перенесення радіації в рослинному покриві.
4. Енерго та масообмін між фотоелементами і повітрям.
5. Вологообмін між листком і повітрям.
6. Опишіть процес фотосинтезу.
7. Опишіть процес дихання усієї рослини.
8. Що розуміють під «продуктивним процесом»?
9. Рівняння росту рослин.
10. Що називається функціонуючою біомасою?
11. Як визначається міра використання ФАР рослинним покривом?
12. Що називається «листяним індексом»?
13. Що таке світлова крива фотосинтезу?
14. Яка система рівнянь використовується для опису динаміки росту сухої біомаси?

3. ЗЕМНА АТМОСФЕРА ЯК СЕРЕДОВИЩЕ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Ріст, розвиток і продуктивність сільськогосподарських культур обумовлюються зовнішніми факторами та біологічними особливостями самих рослин. Виходячи із основних біологічних законів землеробства і рослинництва і будемо розглядати значення усіх факторів зовнішнього середовища у сільськогосподарському виробництві.

3.1 Склад атмосфери і ґрунтового повітря

Газова оболонка земної кулі, яка обертається разом з нею, називається *атмосферою*. Атмосфера нашої планети - це механічна суміш газів з домішками твердих та рідких часток природного походження та тих, що надходять внаслідок господарської діяльності людини. Між атмосферою та біосферою встановилась природно обумовлена динамічна рівновага. Тому людина і об'єкти сільськогосподарського виробництва пристосовані до складу того повітря, яким вони дихають і який їм необхідний для існування.

Суміш газів, які складають атмосферу, називається *повітрям*, головними складовими якого є азот (N_2), кисень (O_2), аргон (Ar), вуглекислий газ (CO_2) та водяна пара (H_2O). Інші гази знаходяться в атмосфері в незначній кількості. Склад сухого чистого повітря нижніх шарів атмосфери постійний для всієї планети. Це обумовлюється безперервним перемішуванням повітря в горизонтальному та вертикальному напрямках. Тільки кількість вуглекислого газу, озону та деяких інших газів може змінюватись в часі і просторі. Характеристика газів, що складають сухе повітря, наведена в табл. 3.1.

Крім того, в атмосфері завжди присутні зважені тверді та рідкі частки як природного походження (ґрунтовий порошок, моська сіль, спори рослин, краплини води і ін.), так і ті, що попали в атмосферу внаслідок господарської діяльності людини (виробничий порошок, частки диму, добрив та ін.) Ці частки називаються аерозолем.

У природі до складу повітря також входить вода у газоподібному, рідкому та твердому стані. Відсотковий вміст водяної пари у повітрі коливається від 0 до 4 %.

Склад ґрунтового повітря якісно майже не відрізняється від складу наземного повітря за винятком болотних ґрунтів, в яких є метан та сірководень. Інші гази, що входять до складу ґрунтового повітря, мають інше співвідношення, ніж у наземному повітрі. Життєдіяльність мікроорганізмів та коріння, процеси гниття і розпаду зменшують запаси кисню у ґрунтовому повітрі та збільшують кількість вуглекислоти. Кількість азоту у ґрунтовому повітрі зменшується внаслідок розпаду

білків та денітрифікації речовин, що вміщують азот, під дією мікроорганізмів.

Таблиця 3.1 – Характеристика складових сухого повітря поблизу земної кулі

Газ	Об'ємний вміст, %	Відносна молекулярна маса	Густина	
			абсолютна, г/м ³	по відношенню до сухого повітря
Азот (N ₂)	78,084	28,106	1250	0,967
Кисень (O ₂)	28,946	31,9988	1429	1,105
Аргон (Ar)	0,934	39,948	1786	1,379
Вуглекислий Газ (CO ₂)	0,033	44,010	1977	1,529
Неон (Ne)	1,818 · 10 ⁻³	20,683	900	0,695
Гелій (He)	5,239 · 10 ⁻⁴	4,0026	178	0,138
Криптон (Kr)	1,14 · 10 ⁻⁴	83,700	3736	2,868
Водень (H ₂)	0,5 · 10 ⁻⁴	2,016	90	0,070
Ксенон (Xe)	8,7 · 10 ⁻⁶	131,300	5891	4,524
Озон (O ₃)	(0...0,07) · 10 ⁻⁴	48,000	2140	1,624
Сухе повітря	100	28,966	1293	1,000

Вміст азоту, кисню та вуглекислого газу у ґрунтовому повітрі непостійний і залежить від типу ґрунтів, їх властивостей, пори року, погодних умов, внесення органічних добрив. Також на склад ґрунтового повітря впливають волога та температура ґрунту.

Між атмосферою та ґрунтом існує безперервний обмін повітрям – аерація ґрунту, яка обумовлюється дифузією газів та дією вітру і коливанням атмосферного тиску. Інтенсивність газообміну залежить і від структури ґрунту.

3.2 Будова атмосфери

Атмосферу можна уявити собі як неймовірну за розмірами сферу, що складається із декількох концентричних шарів у вертикальному напрямку.

Атмосфера за своїми фізичними властивостями неоднорідна як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках. Змінюються усі параметри, що характеризують стан атмосфери: температура, тиск, густина повітря, газовий склад, особливо вологість, концентрація твердих та рідких аерозолей, швидкість вітру. Найбільшою мірою вони змінюються у вертикальному напрямі. Температура повітря, наприклад, на

кожний кілометр висоти в середньому змінюється на $6,5^{\circ}\text{C}$ у нижньому шарі атмосфери товщиною до 11 км, а в горизонтальному напрямі – на таку ж величину на відстані 500 – 600 км.

Тиск повітря зменшується з висотою. В залежності від того, який з параметрів атмосфери беруть за основу, запроваджується відповідний принцип поділу атмосфери на шари (рис. 3.1).

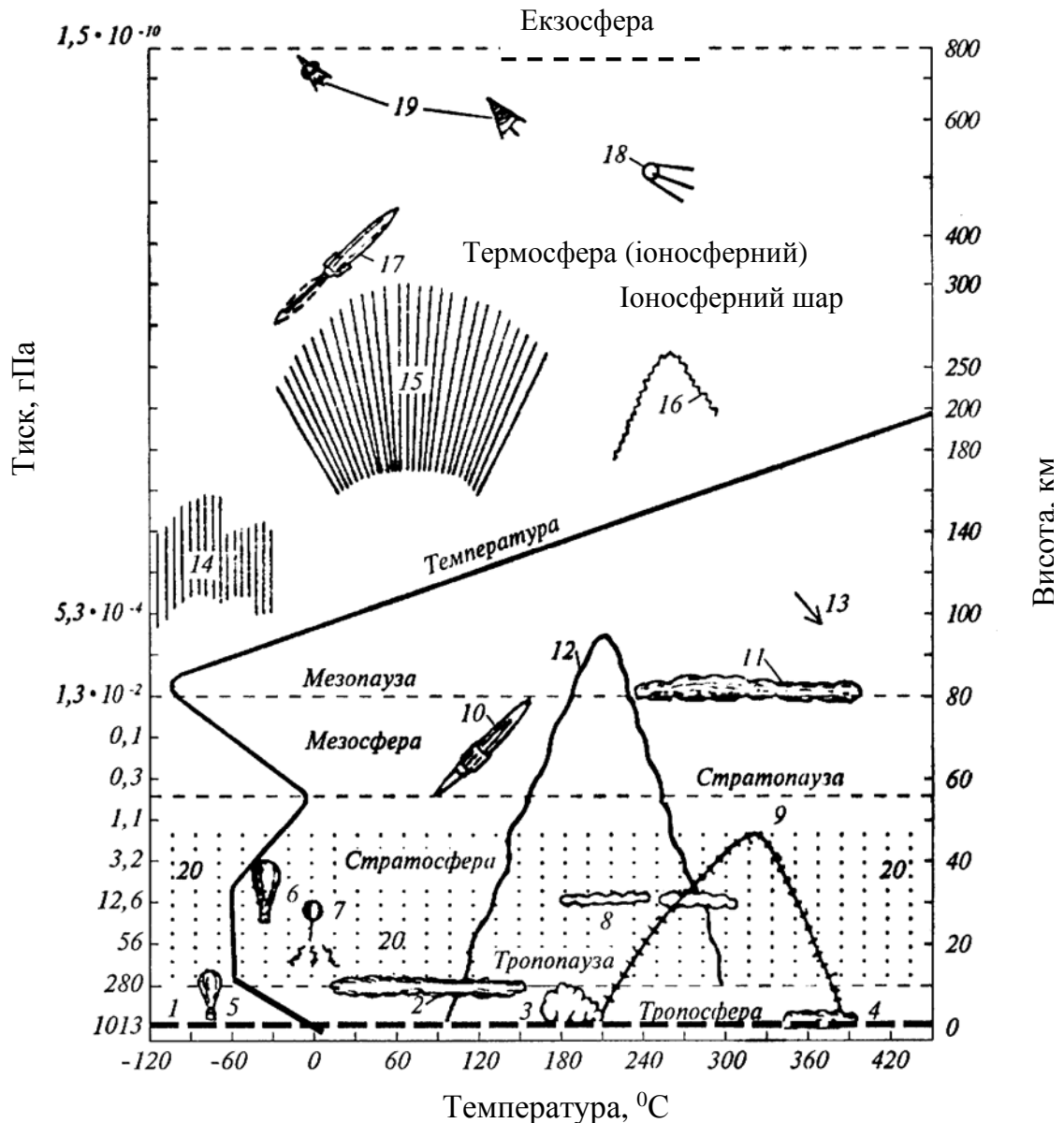


Рис. 3.1 – Будова атмосфери. 1-рівень моря; 2- перисті хмари; 3- купчасті хмари; 4-шаруваті хмари; 5 – вільний аеростат; 6 – стратосфера; 7 – радіозонд; 8 – перламутрові хмари; 9 – відбиття звукових хвиль; 10 – метеорологічна ракета; 11 – сріблясті хмари; 12 – шар відбиття середніх радіохвиль; 13 – метеори; 11,12 – полярне сяйво; 16 – відбиття коротких радіохвиль; 17 – геофізична ракета; 18 – штучний супутник землі; 19 – космічні кораблі; 20 – озоновий шар.

Розглядають п'ять принципів, на підставі яких атмосферу у вертикальному розрізі поділяють на шари: за розподілом температури повітря з висотою; за складом атмосферного повітря; за наявністю заряджених часток; за характером взаємодії атмосфери з поверхнею землі; за впливом атмосфери на апарати.

За зміною температури з висотою атмосферу поділяють на п'ять основних шарів: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу та екзосферу. Між ними розташовуються проміжні шари: тропопауза, стратопауза, мезопауза, термопауза.

Тропосфера – шар атмосфери, розташований між поверхнею землі та тропопаузою. Характеризується падінням температури з висотою з середньою швидкістю $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 м висоти.

Тропопауза – перехідний шар між тропосферою та стратосферою. Її висота і температура залежать від широти. У полярних широтах тропопауза розташована на висоті близько 8 км з температурою повітря $200\text{ }^{\circ}\text{K}$ в той час коли на екваторі її висота досягає 18 км , а температура повітря близько $190\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Стратосфера – шар атмосфери, який розташований після тропопаузи до висоти більше 50 км . У нижній частині (до 20 км) температура з висотою змінюється мало. Вище вона зростає і на верхній межі становить $270\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Стратопауза – перехідний шар між стратосферою та мезосферою і знаходиться на висоті $47 - 52\text{ км}$. Температура в цьому шарі змінюється мало.

Мезосфера – шар атмосфери, що розташовується вище стратопаузи, і температура в ньому падає до висоти 85 км . На цій висоті спостерігається другий мінімум температури повітря (перший був на рівні тропопаузи). Температура на верхній межі мезосфери у середньому становить $186\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Мезопауза – перехідний шар між мезосферою та термосферою. Вона спостерігається на висотах $85 - 95\text{ км}$ і характеризується постійною температурою (біля $186\text{ }^{\circ}\text{K}$)

Термосфера – шар земної атмосфери, який розташовується вище мезопаузи та простягається у середньому до висоти 450 км . Температура повітря у термосфері зростає від $186\text{ }^{\circ}\text{K}$ до $200\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Екзосфера – верхній шар атмосфери, поширюється від висоти 450 км до верхньої межі атмосфери. Він характеризується дуже малою густиною повітря. Молекули та атоми газів цієї області атмосфери можуть викидатися у міжпланетний простір та назавжди залишати Землю. Стратосферу, мезосферу, термосферу та екзосферу називають верхньою атмосферою, а тропосферу – нижньою атмосферою.

За складом повітря атмосфера розділяється на два шари: гомосферу та гетеросферу.

Гомосфера поширюється від земної поверхні до висоти 95 км. Вона характеризується тим, що відносний склад газів (азоту, кисню та аргону) та відносна молекулярна маса повітря практично не змінюються з висотою.

Гетеросфера поширюється в атмосфері вище 95 км, в ній поряд з молекулами кисню і азоту є і атоми цих газів. Концентрація атомарних кисню та азоту з висотою збільшується. Тому у гетеросфері відносна молекулярна маса з висотою зменшується.

Молекули повітря до висоти 50 – 60 км не несуть на собі зарядів. З цієї точки зору шар атмосфери від земної поверхні до позначеної висоти називають нейтральною атмосферою. Вище за рахунок поглинення квантів сонячної енергії кількість заряджених часток (іонів та електронів) швидко збільшується. Тому атмосферу вище 50 – 60 км називають *іоносферою*.

3.3. Значення основних газів повітря для біосфери

Найбільше значення для біосфери мають гази – азот, кисень, вуглекислий газ і водяна пара.

Азот має особливе місце в ґрунтовому живленні рослин. Вільний азот не споживається рослинами, але вступає в зв'язок з ґрунтовими та бульбочковими бактеріями, і збагачує ґрунт сполуками азоту, які легко засвоюються рослинами. З опадами за рік в ґрунт надходить біля 5 кг азоту на 1 га. Для покращання ґрунтового живлення рослин мінеральні та органічні сполуки азоту вносяться у вигляді добрив.

Кисень необхідний для дихання та розкладання органічних речовин, гниття і горіння. При взаємодії органічних речовин з киснем в клітинах живих організмів виділяється енергія, яка забезпечує життєдіяльність рослин та тварин. Збагачення ґрунту киснем відбувається при поліпшенні аерації ґрунту. Корінням дерев споживається за добу біля 1 мг кисню.

Озон або трьохатомний кисень знаходиться в шарі від земної поверхні до висоти 70 км. Найбільша кількість озону (90 %) знаходиться на висотах від 10 – 17 км до 50 км і називається озоновим шаром або озоносферою. Озоновий шар має дуже велике значення для життя на Землі. Він поглинає жорстку ультрафіолетову радіацію з довжиною хвиль 0,22 ... 0,29 мкм.

Руйнування озонового шару може призвести до змін температури і загальної циркуляції атмосфери, вплинути на тепловий баланс. У 1986 році дослідження показали, що в Антарктиді озоновий шар зменшився на 40% та на 20 % на 50 – 60° п. ш. Це викликало появу озонових дірок. Руйнування озону відбувається за рахунок забруднення повітря об'єктами промисловості та вживанням фреону.

Вуглекислий газ – це важкий газ і накопичується він біля поверхні Землі та є джерелом повітряного живлення рослин. Крім того, він відіграє значну роль у тепловому балансі Землі, зменшуючи її охолодження.

Водяна пара – важливий ланцюжок у кругообігу води у природі. Вона обумовлює утворення хмар та випадання опадів, впливає на інтенсивність випаровування, бере участь у створенні оранжерейного ефекту. Водяна пара впливає на прозорість атмосфери, її радіаційний режим та поглинає різні речовини, що її забруднюють.

3.4 Методи дослідження атмосфери

Для спостережень за станом атмосфери та впливом метеорологічних явищ на сільськогосподарське виробництво створена мережа метео- та агрометеорологічних станцій і обсерваторій. На них візуально та за допомогою приладдя виконуються спостереження за метеорологічними та агрометеорологічними елементами в приземному шарі атмосфери.

Для вивчення високих шарів атмосфери організовані високогірні обсерваторії і станції. Крім того, використовуються аеростати, кулі-пілоти, радіозонди. Широкого розповсюдження набуло зондування атмосфери на літаках та вертольотах. Найвищі шари атмосфери досліджуються за допомогою метеорологічних і геофізичних ракет та космічних систем спостереження Землі – “Метеор”, “Океан”, “Ресурс” і т. ін.

Для сільського господарства спостереження супутників надають інформацію про запаси води в снігу, температуру підстильної поверхні, рівномірності розподілу фітомаси на угіддях та пасовиськах, міру пошкодження посівів несприятливими явищами, шкідниками, хворобами, про очікуваний врожай та. ін.

Питання для самоперевірки

- 1. Що називається атмосферою?*
- 2. Будова атмосфери.*
- 3. Яке значення мають основні гази в повітрі?*
- 4. Які ви знаєте методи дослідження атмосфери?*
- 5. Яку інформацію надають штучні супутники для сільського господарства?*
- 6. Які наслідки слід очікувати від руйнування озонового шару?*
- 7. На які шари поділяється атмосфера?*

4 ЗНАЧЕННЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ В ЖИТТІ РОСЛИН ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

4.1 Промениста енергія

Головним джерелом енергії майже всіх процесів, які відбуваються на Землі, в атмосфері є промениста енергія Сонця.

Сонячна енергія є головною умовою існування біосфери та одним із найголовніших кліматоутворюючих факторів. У зв'язку з тим, що Земля охоплена суцільною оболонкою атмосфери, сонячне проміння проходить крізь всю товщу атмосфери, яка частково відбиває це проміння, або розсіює його. При відбитті та розсіюванні променів змінюється кількість і якість світла, що приходить на Землю. Промениста енергія Сонця розподіляється на потоки: пряма сонячна радіація, розсіяна, сумарна, відбита сонячна радіація, власне випромінювання Землі та пересічне випромінювання атмосфери.

Інтенсивність сонячної радіації – це потік радіації, що надходить в одиницю часу на одиницю поверхні. У міжнародній системі (СИ) інтенсивність потоку сонячної радіації виражають у $\text{Вт}/\text{м}^2$ [$1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв}) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2$]. Суми радіації виражають у $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ та ін. ($1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 4.19 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{м}^2$).

Рослинний світ отримує здебільшого пряму та розсіяну сонячну радіацію і значно менше – відбиту.

Пряма сонячна радіація. Радіація, яка надходить на верхню межу атмосфери і потім на поверхню Землі безпосередньо від сонячного диска у вигляді пучка паралельного проміння, називається прямою сонячною радіацією. Пряма сонячна радіація незначно змінюється з часом, тому її називають *сонячна стала* (S_0). $S_0 \approx 1400 \text{ Вт}/\text{м}^2$, якщо відстань до Сонця $149,5 \cdot 10^6 \text{ км}$.

Надходження прямої радіації на земну поверхню залежить від кута падіння сонячного проміння. Потік прямої радіації на горизонтальну поверхню називають *інсоляцією* :

$$S' = S \cdot \sin h \quad (4.1)$$

Якщо ж поверхня не горизонтальна, то надходження радіації залежить також від нахилу поверхні.

Середні багаторічні суми прямої радіації на території України збільшуються від $210 \text{ МДж}/\text{м}^2$ на півночі до $290 \text{ МДж}/\text{м}^2$ на півдні.

Розсіяна сонячна радіація. Коли сонячне проміння проходить крізь товщу атмосфери, відбувається його послаблення, викликане поглиненням

(15 %), відбиттям від хмар і розсіюванням (25 %). Та частина радіації, яка після розсіювання атмосферою та відбиття від хмар надходить на поверхню Землі, називається *розсіяною сонячною радіацією* (D).

Кількість розсіяної радіації залежить від кількості хмар, їх вертикальної потужності та оптичних властивостей. Середні багаторічні суми розсіяної радіації за рік на території країни складають 200 – 215 МДж/м².

Сумарна сонячна радіація. Пряма і розсіяна сонячні радіації складають сумарну сонячну радіацію

$$Q = S' + D \quad (4.2)$$

Співвідношення прямої та розсіяної радіації у складі сумарної радіації залежить від висоти Сонця, хмарності і забруднення атмосфери, висоти поверхні над рівнем моря. Висота Сонця змінюється в залежності від: географічної широти, від місяця або сезону, від часу доби.

Рослини отримують світло та тепло завдяки сумарній сонячній радіації. Тому для сільського господарства мають велике значення величини сумарної радіації за добу, місяць, вегетаційний період. Суми сумарної радіації на території України за період від дати переходу температури повітря через 10 °С навесні до дати переходу її через 10 °С восени, які подані на карті (рис. 4.1).

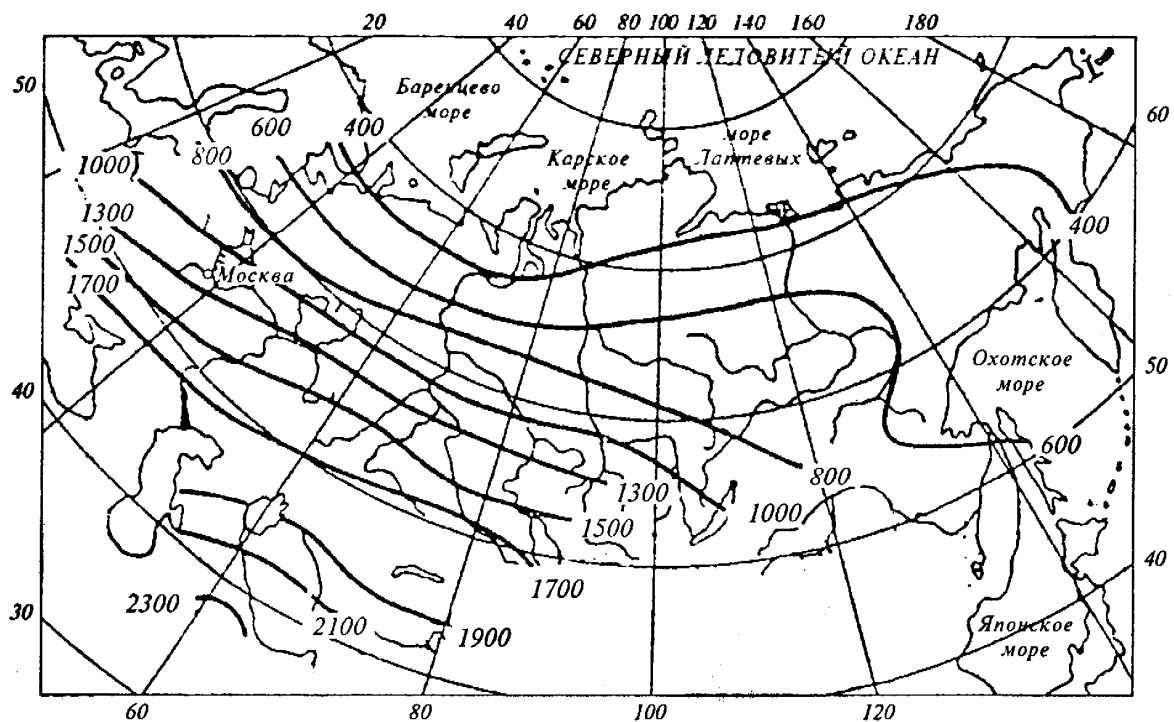


Рис. 4.1 – Розподіл середніх багаторічних сум ФАР за період активної вегетації, МДж/м²

Як видно з рис. 4.1, суми сумарної радіації змінюються за вегетаційний період в значних межах – від 2700 МДж/м² на півночі до 3750 МДж/м² на півдні.

Відбита сонячна радіація. Альbedo. Сумарна радіація, що дійшла до земної поверхні, частково відбивається від неї і створює відбиту сонячну радіацію (R), яка має напрям від земної поверхні в атмосферу.

Відбивна здатність поверхні характеризується *альbedo* (A).

Альbedo – це відношення відбитої радіації до сумарної:

$$A_k = (R_k / Q) 100\% \quad (4.3)$$

Альbedo залежить від вологості ґрунту. Із збільшенням вологості значення альbedo зменшується. Альbedo має досить добре визначений денний та річний хід. Найменше його значення у полуденні години, а впродовж року – влітку.

Залишок між потоками променистої енергії, що приходять і відходять, називається радіаційним балансом земної поверхні.

Прибуткова частина радіаційного балансу земної поверхні вдень складається із прямої та розсіяної сонячної радіації і випромінювання атмосфери (E_a). Витратна частина балансу складається із випромінювання земної поверхні (E_z) та відбитої сонячної радіації (R):

$$B = S' + D - E_a - E_z - R_k \quad (4.4)$$

Для нічної пори рівняння радіаційного балансу має вигляд :

$$B = E_a - E_z, \quad \text{або} \quad B = -E_{ef} \quad (4.5)$$

Якщо приплив радіації перевищує витрати, то радіаційний баланс має позитивний знак і діяльна поверхня нагрівається. При від'ємному балансі вона охолоджується. Влітку радіаційний баланс вдень позитивний, вночі – від'ємний. Перехід через 0 °С відбувається вранці, за годину після сходу Сонця, а ввечері за 1 – 2 год до заходу Сонця.

Радіаційний баланс в районах, де встановлюється стійкий сніговий покрив, в холодну пору року має від'ємний знак, в теплу – позитивний.

Радіаційний баланс має ярко виражений добовий хід (рис. 4.2).

Мінливість середніх багаторічних сум радіаційного балансу має широтний характер. У високих широтах радіаційний баланс суші становить близько 0, на півдні – 1500 – 1700 Мдж/ (м² · рік).

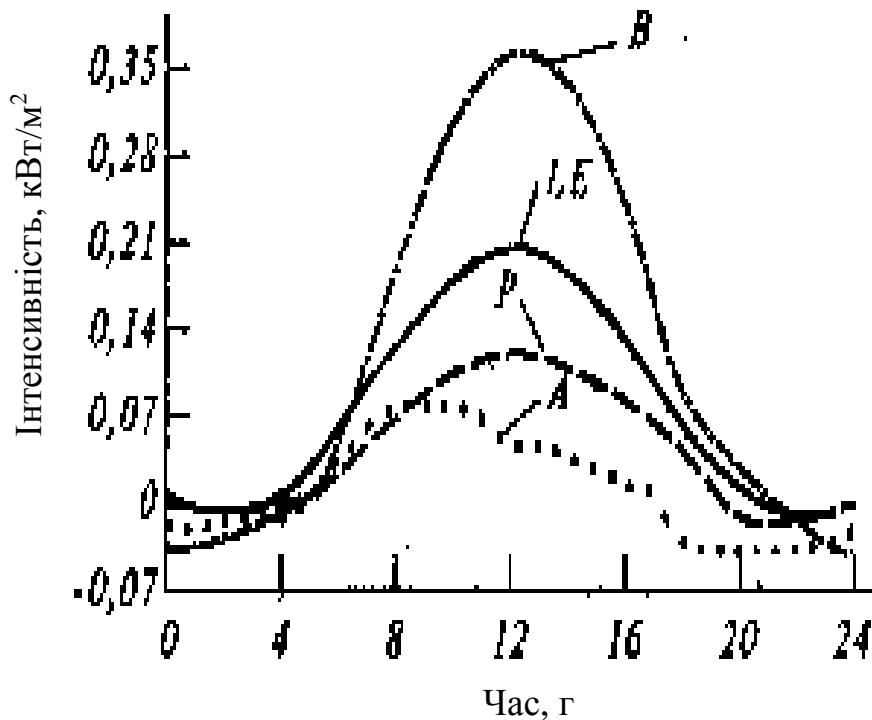


Рис. 4.2 – Добовий хід складових теплового балансу.

Радіаційний режим земної поверхні суттєво впливає на розподіл температури у ґрунті та приземному шарі атмосфери, а також на процеси випарування, сніготанення, утворення туманів і приморозків, трансформацію повітряних мас.

Значення радіаційного балансу необхідні для оцінки різних заходів регулювання температури та вологості ґрунту, випарування, для розрахунку кількості радіації, поглиненої посівами та ґрунтом та ін.

Промениста енергія складається із електромагнітних хвиль різної довжини (λ). Спектр сонячного світла розділяється на три частини: невидимі ультрафіолетові промені з довжиною хвиль $\lambda < 0,40$ мкм, видимі промені з довжиною хвиль $0,40 < \lambda < 0,75$ мкм і невидимі інфрачервоні промені з довжиною хвиль $0,76 \leq \lambda \leq 4$ мкм.

Біологічна дія різних видів радіації на рослини різна. Ультрафіолетова радіація уповільнює ростові процеси але прискорює проходження етапів формування репродуктивних органів у рослин. Близька інфрачервона радіація споживається водою листя та стебел рослин і створює тепловий ефект.

Дія далекої інфрачервоної радіації на рослини дуже незначна.

Видима частина сонячного спектра створює освітленість і до цього спектра відноситься переважна частина так званої фізіологічної радіації, тобто радіації, що поглинається пігментами листків. У межах видимої

частини сонячного спектра знаходиться і так звана фотосинтетично активна радіація (ФАР) з довжиною хвиль 0,38 – 0,71 мкм. У процесі фотосинтезу рослин використовується тільки 1 – 3 % ФАР для створення різноманітних органічних речовин. Різна дія радіації на рослини представлена в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Біологічне значення різних ділянок спектру (за Ю.К. Росом і ін.)

Вид радіації	Ділянка спектру, мкм	Відсоток сонячної радіації	Ефект дії радіації на рослини		
			тепловий	фотосинтез	ріст та розвиток
Ультрафіолетова	0,01...0,39	0...4	не суттєвий	не суттєвий	суттєвий
ФАР	0,38...0,71	21...46	суттєвий	суттєвий	суттєвий
Ближня інфрачервона	0,76...4,00	50...79	суттєвий	не суттєвий	суттєвий
Далека інфрачервона	Більше 4	-	суттєвий	не суттєвий	не суттєвий

Встановлено, що для фотосинтезу необхідна інтенсивність сонячної радіації, яка перевищувала б визначену межу, котра називається компенсаційною точкою. Вона для більшості рослин знаходиться у межах від 209 до 349 Вт/м². Значення компенсаційної точки змінюється впродовж вегетації сільськогосподарських рослин.

Засвоєння рослинами енергії сонячної радіації відбувається за допомогою хлорофілу – зеленого пігменту, якого найбільше в листі та однолітніх пагонах.

Оскільки ФАР є одним з найважливіших факторів продуктивності рослин, то має дуже велике значення інформація про надходження ФАР, розподіл по території та за часом. Інтенсивність ФАР можна виміряти, але для цього необхідні світлофільтри, які би пропускали хвилі в діапазоні від 0,38 до 0,71 мкм.

Інтенсивність ФАР можна розрахувати за даними прямої (S') та розсіяної (D) або сумарної радіації (Q) за допомогою коефіцієнтів, запропонованих Б.І. Гуляєвим, Х.Г. Тоомінгом та Н.О. Єфимовою :

$$Q_{\text{ФАР}} = 0.43 S' + 0.57D \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{ФАР}} = 0.52 Q \quad (4.7)$$

Ефективність використання сонячної радіації фітоценозами характеризується коефіцієнтом корисної дії ФАР (ККД). Він визначається

відношенням кількості енергії, що накопичилась у продуктах фотосинтезу або утвореного у фітомасі врожаю до кількості поглиненої радіації:

$$\eta = \frac{qV \cdot 100}{\sum Q_{\text{ФАР}}} \quad (4.8)$$

де q – калорійність рослин, кДж/г;

V – біологічний врожай загальної фітомаси, г/см²;

$\sum Q_{\text{ФАР}}$ – сума ФАР за вегетаційний період, Мдж/м²

Середня калорійність сухої біомаси у різних рослин коливається від 16,7 до 20,5 кДж/г.

ККД посівів залежить від строків сівби та гущини посіву, кількості внесених добрив, погодних умов та ін. За значеннями ККД (О.О. Ничипорович) посіви поділяються на групи: що звичайно спостерігаються – 0,5 – 1,5 %, добрі – 1,6 – 3%, рекордні – 3,1 – 5 %, теоретично можливі – 6 – 8 %.

ККД листя рослин більше, ніж ККД всього посіву і залежить від зміни інтенсивності освітлення. Рослини по-різному реагують на зміну освітленості і, в залежності від реакції на інтенсивність освітлення, всі форми рослинності поділяють на три групи: світлолюбні, тіньовитривалі нейтральні.

Сонячна радіація також впливає на хімічний склад сільськогосподарської продукції. Наприклад, на вміст цукру у фруктах та ягодах, вміст білка у зерні зернових культур, кількості масла у насінні соняшнику і ін. Деякі хвороби сільськогосподарських рослин найбільш активно розвиваються за недостатньої освітленості.

Інтенсивність фотосинтезу лист за ярусами неоднакова, тому що світло падає на листя однієї і тієї ж рослини під різними кутами (рис.4.3).

Залежність інтенсивності фотосинтезу від приходу ФАР характеризується світловими кривими фотосинтезу і газообміну. Світлові криві різних рослин характеризують залежність інтенсивності фотосинтезу [мг СО₂/(дм²)] від кількості сонячної радіації, що надходить.

Стан, коли при збільшенні ФАР інтенсивність фотосинтезу за даних умов утримується на одному найвищому рівні, називається рівним плато (рис. 4.4).

Сонячна радіація має добовий ритм (чергування дня і ночі). Встановлено, що рослини переходять до генеративного розвитку при визначеному співвідношенні тривалості дня і ночі (фотоперіодична реакція). За фотоперіодичною реакцією рослини класифікуються на групи:

- короткого дня (рис, просо, сорго, кукурудза та ін.) Їм необхідна тривалість дня 10 – 12 год.;

- довгого дня (жито, овес, пшениця, льон, горох і ін.). Їм необхідна тривалість дня до 18 – 20 год.;
- нейтральні до тривалості дня (томати, гречка та ін.).

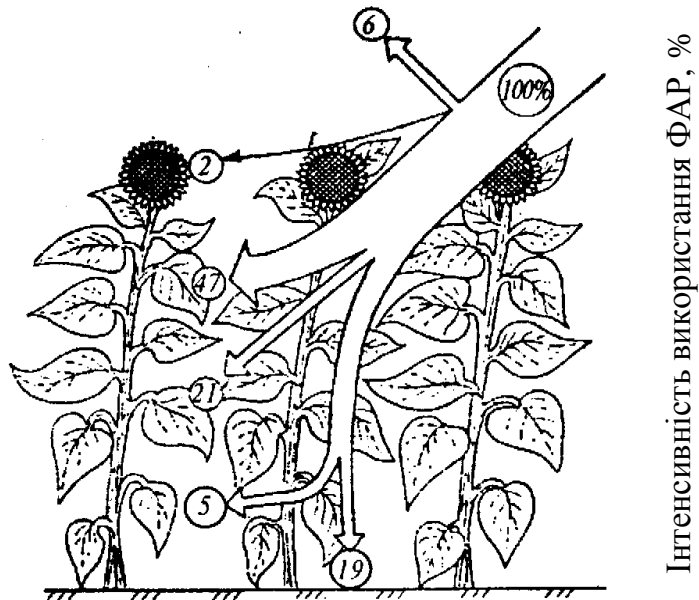


Рис.4.3 – Розподіл ФАР по ярусах листя в посівах соняшника

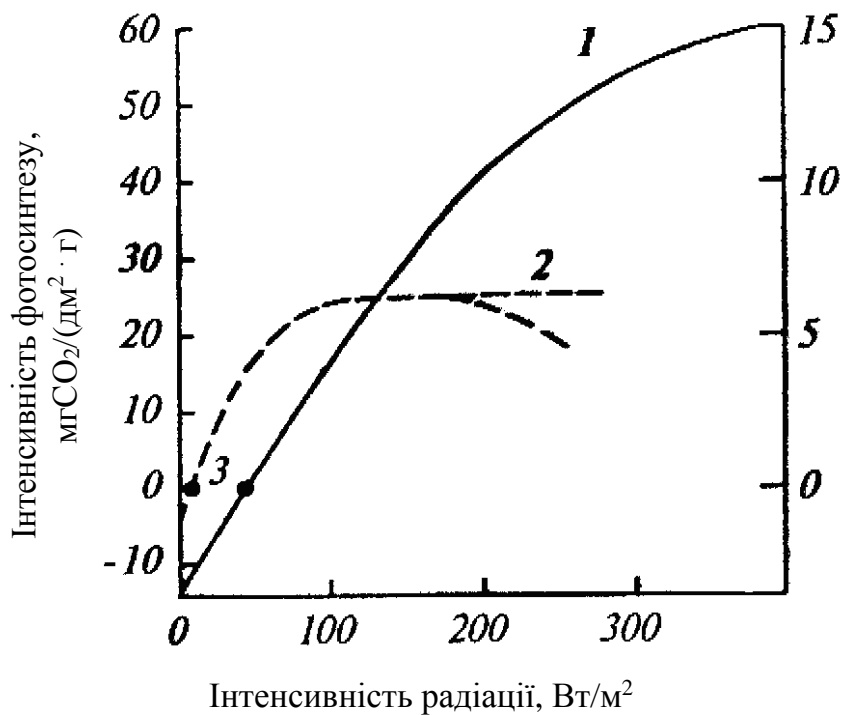


Рис. 4.4 – Світлова крива фотосинтезу світлолюбних (1) і тіньовитривалих (2) рослин (3 – компенсаційні точки. За О.М. Шульгіним)

Різні сорти культур як короткого, так і довгого дня в залежності від інших факторів по-різному реагують на тривалість дня і ночі. В цілому рослини довгого дня пристосовані до умов високих широт, а короткого – до низьких широт.

Встановлено, що для початку цвітіння в променистому потоці повинен бути головним цілком визначений спектральний склад. Рослини короткого дня швидше розвиваються, якщо максимум випромінювання приходить на синьо – фіолетове проміння, а рослини довгого дня – на червоне проміння.

Зв'язок між тривалістю дня і фотоперіодичною реакцією рослин досліджується при використанні географічних посівів культур і в дослідах з різними термінами сівби.

Тривалість світлої пори доби (астрономічна тривалість дня) залежить від пори року і географічної широти. На екваторі тривалість дня становить 12 год. ± 30 хв. І збільшується після весняного рівнодення (21.03) при переміщенні на північ та зменшується при переміщенні на південь. Після осіннього рівнодення (23.09) – навпаки.

При збільшенні тривалості дня у північних широтах у вегетаційний період продовжується період фотосинтезу рослин.

При визначенні астрономічної тривалості дня не враховується вечірній тривалий перехід від заходу Сонця до настання нічної темряви. І ранішній перехідний період від закінчення темряви до сходу Сонця. Для рослин надходження розсіяної радіації в ці години має фізіологічне значення, тому необхідно враховувати фізіологічно значущу для рослин тривалість дня, особливо в північних районах. І.А. Шульгін визначив фізіологічну тривалість дня в залежності від географічної широти на 15 число кожного місяця (табл. 4.2).

При збільшенні тривалості дня в північних широтах впродовж вегетаційного періоду збільшується період фотосинтезу рослин.

Тривалість освітлення має велике значення також для формування якості врожаю (наприклад на вміст цукру в коренеплодах, олії в насінні олійних культур), а також впливає на розвиток хвороб рослин. При збільшенні тривалості дня стійкість рослин до хвороб збільшується.

4.2 Температура повітря і ґрунту

Промениста енергія Сонця, яка поглинається поверхнею суші, океану, перетворюється в тепло. Тепловим режимом атмосфери називається характер розподілу і зміни температури в атмосфері. Тепловий режим атмосфери визначається здебільшого її теплообміном з навколишнім середовищем. Велику роль у розвитку процесів, пов'язаних із взаємодією атмосфери та зеленої поверхні, відіграє приземний шар атмосфери. Він

Таблиця 4.2 – Фізіологічна тривалість дня на широтах від 0 до 70° на 15 число кожного місяця (за І.А. Шульгіним)

Місяць	Широта, град							
	0	10	20	30	40	50	60	70
січень	12.54	12.22	11.54	11.19	10.41	9.49	8.32	5.44
лютий	12.51	12.35	12.18	12.01	11.39	11.16	10.42	9.40
березень	12.51	12.48	12.46	12.48	12.49	12.57	13.08	13.36
квітень	12.50	13.06	13.24	13.47	14.13	14.55	16.07	18.55
травень	12.53	13.21	13.55	14.35	15.27	16.45	19.16	24.00
червень	12.53	13.31	14.12	15.02	16.08	17.50	22.19	24.00
липень	12.54	13.26	14.04	14.48	15.51	17.24	20.46	24.00
серпень	12.51	13.13	13.37	14.06	14.47	15.46	17.37	23.16
вересень	12.50	12.55	13.00	13.02	13.26	13.46	14.23	15.38
жовтень	12.51	12.39	12.27	12.17	12.06	11.57	11.41	11.18
листопад	12.51	12.25	12.00	11.31	11.00	10.19	9.26	7.12
грудень	12.52	12.21	11.47	10.29	10.26	9.26	7.54	4.16

має товщину декількох десятків метрів і його стан дуже впливає на флору і фауну, на умови життєдіяльності всього живого.

Основним джерелом нагрівання приземного шару є тепло, що надходить від діяльної поверхні. Перенесення тепла між діяльною поверхнею і атмосферою, а також у самій атмосфері, здійснюється через конвективний і турбулентний потоки. *Потік тепла* – це об’єм тепла, що переноситься потоком повітря через одиницю площі за одиницю часу у напрямку, перпендикулярному до площі.

Конвективний потік тепла обумовлюється горизонтальними складовими швидкості вітру. Турбулентний потік тепла формується завдяки переносу тепла турбулентними полями. Він формується всередині атмосфери внаслідок закрученого хаотичного руху повітря, тобто турбулентності. Турбулентні потоки поділяються на *динамічні* і *термічні*. *Динамічні потоки* виникають внаслідок появи сили тертя. Теплові потоки (теплова конвекція) – виникає внаслідок нерівномірного нагрівання різних ділянок поверхні. Теплова конвекція на суші розвивається вдень і влітку, над морем – вночі і взимку.

Конвективні і турбулентні потоки тепла обумовлюють зміну температури приземного шару повітря як впродовж доби, так і впродовж року. Добовий хід температури повітря має максимум о 14 – 15 год. І мінімум перед сходом сонця. Амплітуда температурних коливань залежить від погодних умов, пори року, рельєфу, фізичних властивостей ґрунту та є важливою характеристикою клімату.

У ясну погоду амплітуда температур вища ніж у похмуру, оскільки хмари затримують випромінювання і тим самим підвищують нічну

температуру. Також амплітуда температур у середніх широтах взимку менше, ніж влітку.

Річний хід температури повітря у різних географічних зонах різний і залежить від широти місця, континентальності його, знаходження та висоти над рівнем моря. Характеристикою річного ходу температури є амплітуда річних коливань температури повітря (різниця між середніми місячними температурами самого теплого та самого холодного місяця).

За величиною середньої багаторічної амплітуди температур і часом наступу екстремальної температури виділено чотири типи річного ходу температури повітря (рис.4.5).

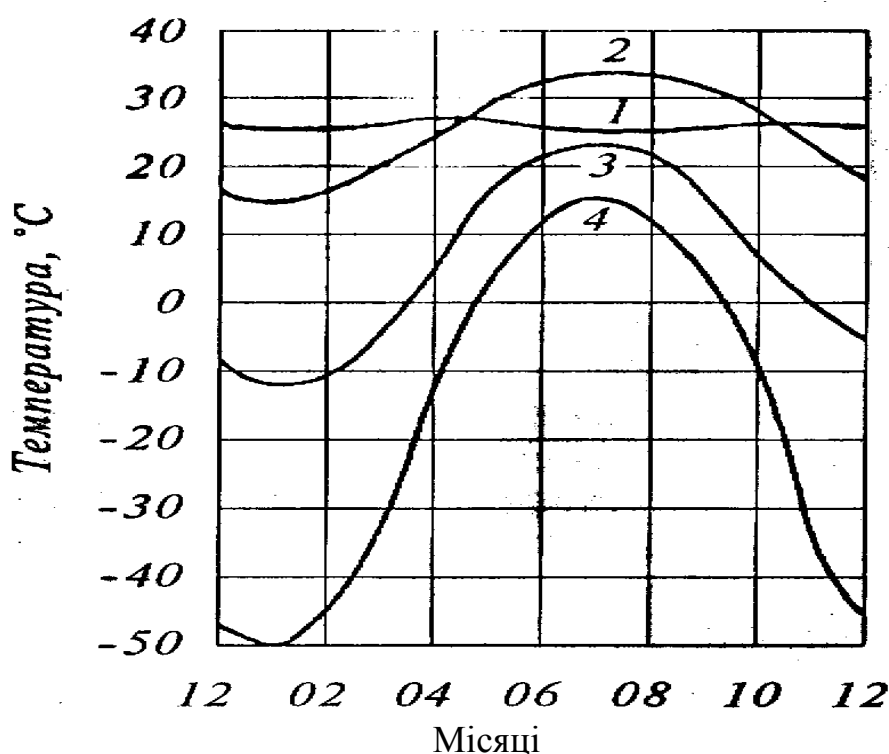


Рис.4.5 – Типи річного ходу температури повітря: 1 – екваторіальний (Джакарта, $\varphi = 6^{\circ}$ півд. шир.); 2 – тропічний (Асуан, $\varphi = 24^{\circ}$ півн. шир.); 3 – помірного поясу (Саратов, $\varphi = 52^{\circ}$ півн. шир.); 4 – полярний (Верхоянськ, $\varphi = 67^{\circ}$ півн. шир.).

Температура повітря у тропосфері з висотою зменшується приблизно на $0,6^{\circ}\text{C}$ на кожні 100 м висоти. Але в приземному шарі повітря розподіл температури може бути будь-яким: збільшуватись, зменшуватись, залишатись без змін.

Розподіл температури з висотою характеризується вертикальним градієнтом ($BГТ$):

$$BГТ = (t_H - t_B) / (Z_B - Z_H) , \quad (4.9)$$

де $t_H - t_B$ – різниця температури між нижнім та верхнім рівнями, $^{\circ}\text{C}$;
 $Z_B - Z_H$ – відстань між двома рівнями, м.

Зазвичай ВГТ розраховується на 100 м висоти.

У приземному шарі повітря значення вертикального градієнту залежить від погодних умов, пори року, пори доби, вітру, вологості ґрунту, наявності рослинного покриву.

4.2.1 Вплив температури повітря на ріст, розвиток і формування врожаїв сільськогосподарських культур

Фізіологічні процеси, що протікають в організмах рослин – фотосинтез, дихання, транспірація, живлення та інші, відбуваються за певних рівнів температури. Вимоги рослин до тепла змінюються в досить широких межах і визначаються трьома кардинальними точками: температурним мінімумом, нижче якого рослини не розвиваються (біологічний мінімум), температурним оптимумом, тобто найсприятливішою температурою для розвитку рослин та температурним максимумом, за межами якого рослини існувати не можуть.

Значення температури між температурним оптимумом та мінімумом називається *толерантною зоною*.

Для оцінки температурного режиму використовуються такі температурні характеристики:

- середня за добу температура повітря, визначається як середнє арифметичне із усіх значень температури, виміряних в усі строки спостережень (це або чотири, або шість, або вісім значень). На разі на усіх типах гідрометеорологічних станцій мережі Департаменту гідрометеорології температура повітря визначається 8 раз на добу;
- середня температура за декаду, визначається як середнє арифметичне із середньодобових температур за 10 або 11 діб;
- середня температура за місяць, визначається також як середнє арифметичне значення із середньодобових температур.
- середньорічна температура, визначається як середнє арифметичне із середніх за добу, декаду або місяць значень температури повітря.

У сільськогосподарському виробництві найчастіше використовуються значення середньої температури за декаду, міжфазний період розвитку рослин. *Міжфазний період* – це відрізок часу у днях між двома якісно новими становищами рослин, що настають один за одним впродовж всієї вегетації рослин. *Якісно нове становище рослин, яке настає після проходження певного відрізка часу та накопичення фізіологічних змін в стані рослин* (наприклад: сходи пшениці та утворення

третього листка, або розпускання бруньок плодкових дерев та цвітіння та ін.).

Однак середні характеристики на відтворюють добовий хід температури повітря, що дуже важливо для сільськогосподарського виробництва. Особливо це необхідно у перехідні сезони року (весна, осінь). Тому вживається поняття максимальних та мінімальних температур вище чи нижче будь-якої межі (0, 5, 10, 15, -5, -10 °С).

Окрім середніх, максимальних та мінімальних температур ще використовуються для характеристики теплового режиму суми температур. Відрізняють кліматичні і біологічні суми. *Кліматичні суми температур* – це суми температур вище будь-якої межі (наприклад, від дати переходу температури повітря через 5 °С навесні до такої ж дати восени) .

Біологічні суми температур – це суми температур за вегетаційний період культури. *Вегетаційним періодом називається період у днях від сівби до збирання врожаю.*

Рослини розвиваються тільки у тому випадку, якщо середня температура повітря досягає межі біологічного мінімуму. Біологічний мінімум для холодостійких рослин (пшениця, жито, овес, ячмінь та ін.) становить + 5 °С, для теплолюбних рослин він становить – +10 – 15 °С (кукурудза, рис, виноград, бавовна, деякі овочеві культури). Біологічний мінімум розвитку культур змінюється впродовж вегетації (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Біологічний мінімум температури у різні періоди вегетації /за В.М. Степановим/

Культури	Поява сходів і формування вегетативних органів, °С	Формування генеративних органів, °С
Зернові культури (пшениця, жито, ячмінь)	4 – 5	10 – 12
Горох	4 – 5	8 – 10
Льон	5 – 6	10 – 12
Соняшник	7 – 8	12 – 15
Просо	10 – 11	12 – 15
Кукурудза	10 – 13	12 – 15
Бавовна	14 – 15	15 – 20
Рис	14 - 15	18 – 20

Потреба рослин в теплі за вегетаційний період характеризується сумами середніх за добу температур. Кожна рослина потребує для повного розвитку певну суму температур. Для визначення сум температур, необхідних для розвитку сільськогосподарських культур, використовуються суми температур: активних і ефективних.

Сума активних температур – це сума середніх за добу температур після переходу їх через біологічний мінімум.

Сума ефективних температур – це сума середніх за добу температур, зменшена на величину біологічного мінімуму. Оскільки значення біологічного мінімуму різне не тільки для різних рослин, а і для різних міжфазних періодів однієї і тієї ж рослини, то сума ефективних температур також різна при однакових значеннях середньої за добу температури.

Дослідженнями Ю.І. Чиркова встановлено, що є деяка мінливість сум ефективних температур за міжфазні періоди в залежності від рівня середньої температури повітря за добу. Підвищення середньої за добу температури вище оптимальних значень температури для даної культури не викликає прискорення її розвитку. Температури, що не викликають прискорення розвитку рослин, називаються *баластними*.

Суми активних та ефективних температур мають екологічне значення, оскільки відображують зв'язок рослин з середовищем мешкання.

Діапазон дії (або *зона толерантності*) температури повітря (або іншого будь-якого чинника) обмежується крайніми пороговими значеннями температури, при якій можливе існування рослинного організму (рис. 4.6).

Точка на осі абсцис, що відповідає найкращим умовам життєдіяльності рослинних організмів, визначає оптимальне значення елемента. Одну точку визначити досить складно тому, за звичай, визначають зону оптимуму (*зону комфорту*).

Точки мінімуму, оптимуму та максимуму визначають можливі реакції рослинного організму на даний фактор.

Температура повітря є також одним із головних метеорологічних факторів, який визначає можливість вирощування рослин у будь-якій природно-кліматичній зоні, можливість виникнення хвороб рослин та розповсюдження шкідників.

Температура повітря обумовлює життєдіяльність збудників хвороб та можливість їх збереження і розповсюдження.

Тепло – один із основних екологічних факторів життєдіяльності біоценозів, тому його необхідно враховувати при розміщенні сільськогосподарських культур та проведенні агротехнічних заходів.

Для оцінки загальних термічних ресурсів території використовується сума активних температур вище 10 °С, оскільки за такого значення

температури активно відбувається вегетація більшості рослин. Для оцінки потреб рослин у теплі використовується біологічна сума температур, тобто сума температур повітря за вегетаційний період рослин (табл. 4.6).

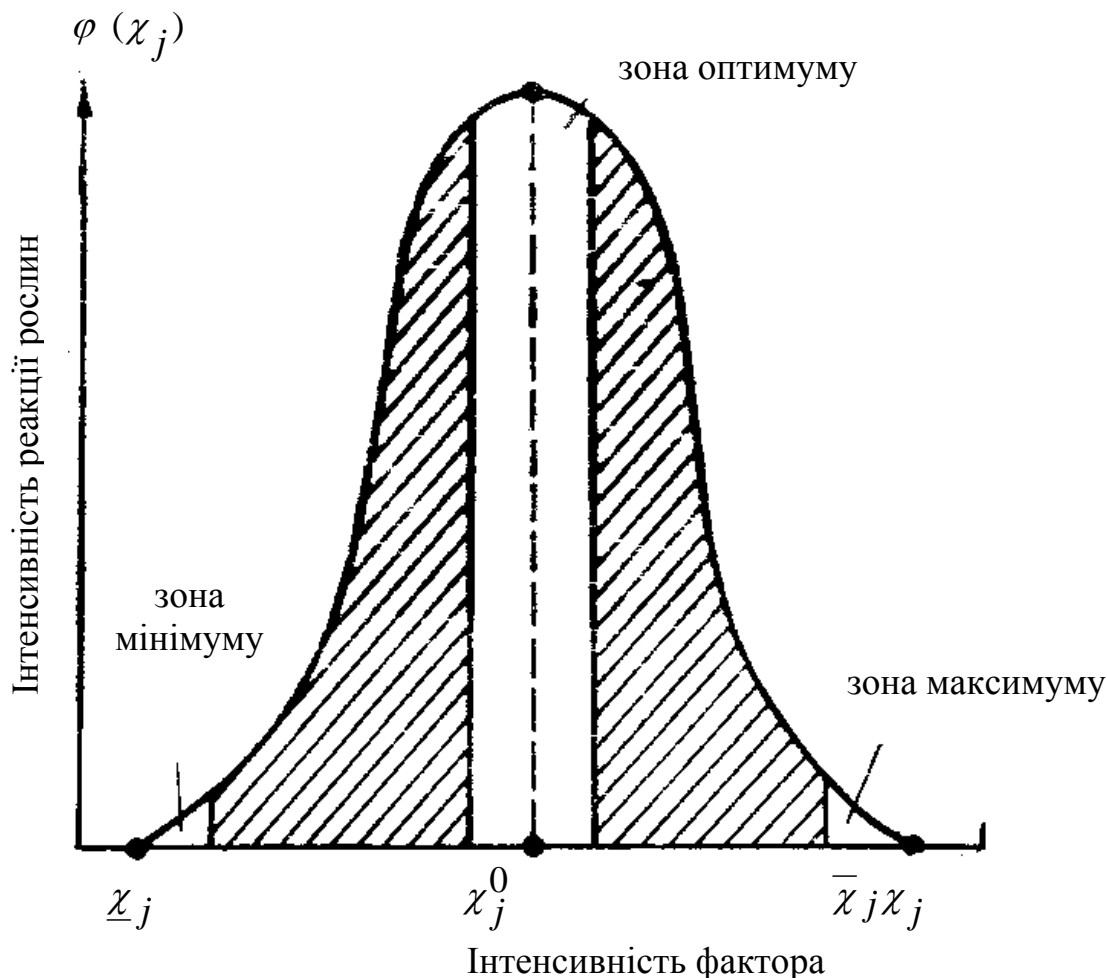


Рис. 4.6 – Схема дії температури повітря на рослини (за К.М.Ситником, А.В.Брайоном, О.В.Городецьким). x_j – точка мінімуму, x_j^0 – точка оптимуму; \bar{x}_j – точка максимуму.

Дослідження біологічних сум температур, проведені С.О. Сапожниковою та Д.І. Шашко [49] показали, що вони змінюються в залежності від континентальності клімату.

Характеристика термічного режиму тієї чи іншої місцевості не вичерпується тільки середніми сумами температур за період вегетації сільськогосподарських культур. Для вирішення цілої низки питань необхідно знати, як швидко накопичується тепло навесні та які суми температур бувають за окремі міжфазні періоди. Ф.Ф.Давітая [25] встановив, що розвиток весняних, літніх та осінніх процесів на великих

просторах іде закономірно. Ця закономірність обумовлюється макропроцесами: припливом сонячної радіації, циркуляцією атмосфери та особливостями підстильної поверхні. Тому темпи наростання тепла на весні змінюються мало, вони тільки зміщуються за часом.

Таблиця 4.6 – Потреба сільськогосподарських культур в теплі (в біологічних сумах температур повітря)

Культура	Скоростиглість сорту	Період	Біологічна сума температур для широти 55 ⁰ півн.ш.
Яра пшениця	Ранні	Сівба	
	Середні	воскова	
	Пізні	стиглість	1400
Ячмінь	Ранні	„	1500
	Середні	„	1700
	Пізні	„	1250
Овес	Ранні	„	1350
	Середні	„	1450
	Пізні	„	1250
Озима пшениця	Ранні	„	1450
	Середні	„	1550
	Пізні	„	1400
Кукурудза	Ранні	„	1450
	Середні	„	1500
	Середньо-пізні	„	2200
Гречка	Ранні	„	2500
	Середні	„	2700
	Пізні	„	1200
Рис	Ранні	„	1300
	Середні	„	1400
	Пізні	„	2500
Соняшник	Ранні	„	2820
	Середні	„	3320
	Пізні	„	1850
Картопля	Ранні	„	2000
	Середні	„	2300
	Пізні	„	1400
Томати	Ранні	„	1600
	Середні	„	1800
	Пізні	„	1750
			1950
			2100

4.3 Температура ґрунту

У ґрунті природного складу першопричиною процесу теплообміну є вертикальний температурний перепад, що змінює знак від дня до ночі. Завдяки цьому виникає процес теплопровідності. Теплообмін у ґрунті здійснюється завдяки: теплопровідності вздовж окремої частки ґрунту, передачі тепла від однієї частки до іншої, молекулярній теплопровідності у середовищі поміж частками, теплопередачі на межі твердих часток і середовища, конвекції газів і вологи.

Денне нагрівання і нічне охолодження ґрунту викликають добові коливання його температури. Максимум температури на поверхні ґрунту спостерігається близько 13 години (за сонячним часом). Мінімум температури ґрунту спостерігається перед сходом Сонця. Різниця між максимумом і мінімумом у добовому або річному ході називається *амплітудою ходу температури*.

На величину добової амплітуди температури поверхні ґрунту впливають: пора року, географічна широта, рельєф, рослинний і сніговий покрив, колір ґрунту, стан поверхні, вологість ґрунту, хмарність.

Хід температури впродовж року визначається різною кількістю сонячної радіації – найменша у січні, найбільша – в липні або серпні. Амплітуда ходу температури впродовж року збільшується із збільшенням широти (у добовому ході цього не спостерігається). В районі екватора вона складає 2 – 3 °С, у полярних широтах (Якутія) 70 °С.

Нагрівання та охолодження ґрунту залежать здебільшого від його теплофізичних характеристик: теплоємності та теплопровідності. Теплоємність – це кількість тепла, необхідна для підвищення температури ґрунту на 1 °С. Теплоємність буває питома та об'ємна. *Питома теплоємність* (C_{num}) – це та кількість тепла, що необхідна для нагрівання 1 кг ґрунту на 1 °С. *Об'ємна теплоємність* ($C_{об}$) – кількість тепла, необхідна для нагрівання 1 м³ ґрунту на 1 °С. Одиниця вимірювання питомої теплоємності – Дж/(кг·К), об'ємної – Дж/(м³·К).

Теплоємність різних ґрунтів залежить від складу твердої частини ґрунту і кількості повітря і води, що знаходяться у порах. Теплоємність води становить $4,2 \cdot 10^3$ кДж/(м³·К), а теплоємність повітря – 1,2 кДж/(м³·К). Таким чином видно, що за однакової кількості надходження тепла сухі ґрунти нагріваються і охолоджуються більше і швидше, ніж вологі.

Здатність ґрунту передавати тепло від шару до шару називається теплопровідністю. Мірою теплопровідності ґрунтів є коефіцієнт теплопровідності (λ). Коефіцієнт теплопровідності – це кількість тепла в Дж, що проходить за 1 сек. крізь перетин основи стовпчика ґрунту діаметром 1 м² і висотою 1 м. Одиниця виміру λ у системі СИ – Вт/(м·К).

Коефіцієнт теплопровідності залежить від пористості, вологості, температури та щільності ґрунту. Теплопровідність збільшується при збільшенні вологості і зниженні температури. Із зменшенням щільності ґрунту теплоємність і теплопровідність сухого ґрунту зменшуються. Деякі теплофізичні характеристики наводяться у табл. 4.7.

Для оцінки швидкості вирівнювання температури різних шарів ґрунту використовується його теплопровідність.

Таблиця 4.7 – Теплофізичні характеристики і щільність основних компонентів ґрунтів (по де Фрізу)

Складові частини ґрунту	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Щільність, кг/м ³	Об'ємна теплоємність, кДж/(м ³ ·К)	Коефіцієнт	
				теплопровідності, Вт/(м·К)	температуропровідності, м ² /с
Пісок	0.74	2.65·10 ³	2.0·10 ³	8.80	4.40·10 ⁻⁶
Більшість ґрунтових мінералів	0.80	2.65·10 ³	2.1·10 ³	2.90	1.40·10 ⁻⁶
Органічна речовина	2.50	1.10·10 ³	2.7·10 ³	0.25	0.09·10 ⁻⁶
Вода	4.20	1.00·10 ³	4.2·10 ³	0.60	0.14·10 ⁻⁶
Повітря (t = 20 ⁰ С)	1.00	1.20	1.20	0.03	21·10 ⁻⁶

Мірою температуропровідності ґрунту є коефіцієнт температуропровідності, що характеризує швидкість розповсюдження тепла у ґрунті і визначається як відношення коефіцієнта теплопровідності (α) до об'ємної теплоємності ($C_{об}$):

$$K_T = \alpha / C_{об} \quad (4.10)$$

Величина коефіцієнта температуропровідності ґрунту залежить здебільшого від вмісту в ньому води і повітря, а також щільності.

Тепло в ґрунті розповсюджується за законами загальної теорії молекулярної теплопровідності, які мають назву законів Фур'є:

- незалежно від типу ґрунту період коливань температури з глибиною не змінюється;
- незалежно від типу ґрунту період коливань температури з глибиною не змінюється;

- незалежно від типу ґрунту період коливань температури з глибиною не змінюється;
- зростання глибини в арифметичній прогресії викликає зменшення амплітуди в геометричній прогресії. Це видно з добового ходу температури ґрунту на різних глибинах (рис. 4.7).
- максимальні і мінімальні температури на глибинах настають пізніше.

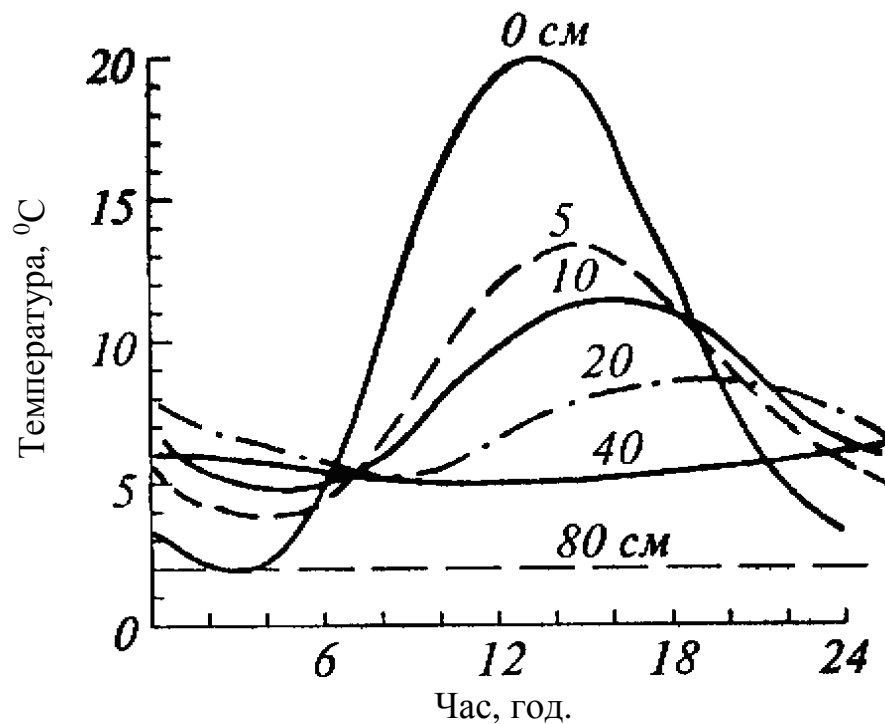


Рис. 4.7 – Добовий хід температури ґрунту на різних глибинах

Як видно з рис. 4.7, на глибині 70 – 100 см незалежно від типу ґрунту амплітуда температури практично дорівнює 0. Річні коливання температури розповсюджуються з глибиною за тими ж законами. Шар ґрунту, в якому спостерігається добовий і річний хід температури називається *активним або діяльним шаром*.

З особливостями добового та річного ходу температури пов'язаний розподіл температури ґрунту по вертикалі в різний час доби і пору року. Розподіл температури впродовж доби, декади, місяця, року розглядають за допомогою графіків (рис. 4.8), які дозволяють визначити зміну температури ґрунту в залежності від часу і глибини. Для побудови такого графіка на вертикальній осі відкладається глибина, на горизонтальній – час. На графік наносять середню температуру за певний відрізок часу.

Потім точки з однаковими значеннями температури з'єднуються плавними лініями – *термоізоплетами*.

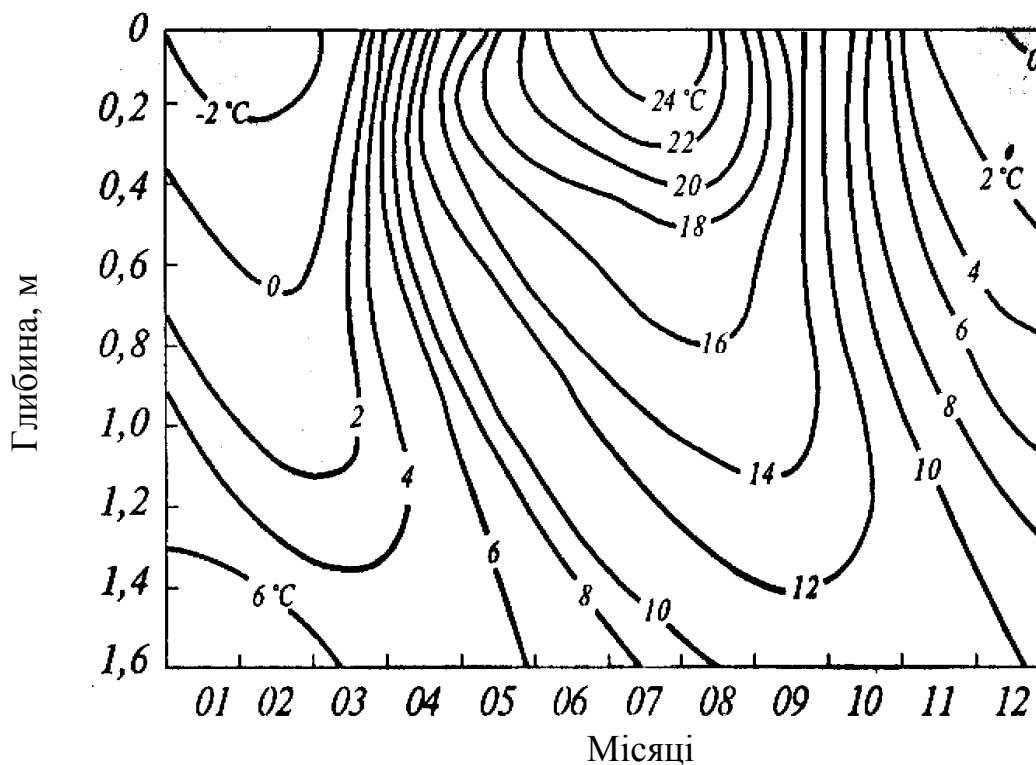


Рис. 4.8 – Термоізоплети річного ходу температури ґрунту

Такі графіки використовують для визначення критичних температур вимерзання озимих культур, а також при розрахунках меліорацій, у комунальному господарстві та при будівництві шляхів.

На температуру ґрунту суттєво впливає рельєф. Навесні і восени південні схили вдень тепліші, а північні холодніші, ніж відкрите рівне місце. Це обумовлено розподілом сумарної сонячної радіації.

На температуру ґрунту впливає наявність рослинного покриву. Дія рослинного покриву на термічний режим ґрунту і приземного шару повітря дуже різноманітна. Нерівномірне затінення ґрунту викликає неоднорідність термічного і радіаційного поля під посівами. Вдень поверхня під рослинами нагрівається менше і менше охолоджується вночі за рахунок зменшення випромінювання. Транспірація рослин та її мінливість з часом в значній мірі визначає розподіл температури у міжлистовому просторі і також зменшує температуру ґрунту за рахунок витрат тепла на випаровування. В холодну пору року на тепловий режим ґрунту дуже впливає наявність снігового покриву. Сніг завдяки малій теплопровідності перешкоджає сильному охолодженню і промерзанню ґрунту. За даними О.М.Шульгіна глибина промерзання ґрунту різко

зменшується із збільшенням товщини снігу. Крім того, зменшується середня із абсолютних мінімальних температур на глибині 3 см.

4.3.1 Значення температури ґрунту для рослин

Температура ґрунту має велике значення для перезимівлі озимих культур. Особливо велике значення має температура ґрунту на глибині 3 см. На цій глибині здебільшого розташовується вузол кущіння озимих культур – головний орган, у якому накопичуються речовини, необхідні рослинам у суворих умовах зими. О.М. Шульгіним встановлено, що головними показниками умов перезимівлі озимини є температура ґрунту на глибині 3 см, висота снігу, глибина промерзання ґрунту. Ці три чинники обмежують просування озимих культур у більш північні райони у ЄЧ СНД і в райони Сибіру. Якщо у озимих культур або багаторічних трав пошкоджується вузол кущіння і коренева шийка, то рослини гинуть і навесні їх життєдіяльність не відновлюється.

Навесні температура ґрунту також є важливим фактором в житті рослин. Після сівби проростання насіння, розвиток коріння, засвоєння ним продуктів живлення, життєдіяльність мікрофлори ґрунту залежать від температури ґрунту. З підвищенням температури та за умов доброго зволоження ґрунту всі процеси прискорюються. Зменшення температури ґрунту навесні призводить до загнивання і пошкодження насіння, що, в свою чергу, викликає зрідження посівів.

Проростання насіння зернових культур відбувається при температурі 0 – 5 °С; соняшника, картоплі – 5 – 8 °С; кукурудзи, капусти – 8 – 10 °С; рису 10 – 12 °С; томатів, баклажанів, перцю – 12 – 15 °С; бавовни, гарбузів – 13 – 15 °С; динь, огірків – 15 – 18 °С.

При підвищенні температури ґрунту проростання насіння прискорюється, але прискорення спостерігається тільки до оптимальних значень температури. Якщо сівба культур проводиться рано у холодний ґрунт, то поява сходів затримується, але прискорюється розвиток коріння. При пізній сівбі – навпаки. Цій закономірності не підлягають озимі культури, бо вони розвиваються восени на фоні безперервного зниження температури повітря і ґрунту.

Температура ґрунту відіграє важливу роль у біологічних та хімічних процесах, що визначають напрям і швидкість перетворення питомих речовин у ґрунті. Встановлено, що при температурі ґрунту 5 °С надходження азоту і фосфору в рослини в 3 рази менше, ніж при температурі 20 °С. Перетворенню елементів живлення у доступну для рослин форму сприяють мікроорганізми, активність яких збільшується при підвищенні температури.

З температурою тісно пов'язане розповсюдження шкідників і хвороб. У теплолюбних культур в холодні весни захворювання і пошкодження проростків збільшується.

В холодному ґрунті ($t \leq 5^{\circ}\text{C}$) збільшується кількість личинок проволочника. В теплому ґрунті ($t = 10 - 12^{\circ}\text{C}$) збільшується кількість бурякового довгоносика, капустної мухи, озимої совки та ін.

Температура ґрунту, як і температура повітря, має добовий і річний хід.

4.3.2 Тепловий баланс земної поверхні

Температурний режим ґрунтів здебільшого обумовлюється радіаційним балансом. Промениста енергія у діяльному шарі перетворюється в теплову. При позитивному балансі (вдень, влітку) частина цього тепла витрачається на нагрівання приземного шару повітря, рослин, на випаровування води з ґрунту і рослин. При від'ємному значенні балансу (вночі, взимку) витрати тепла, пов'язані з ефективним випромінюванням, компенсуються приходом тепла від діяльного шару. Ці надбання і витрати енергії на діяльній поверхні характеризуються рівнянням теплового балансу:

$$B=A+P+LE, \quad (4.9)$$

де B – радіаційний баланс діяльної поверхні;

A – потік тепла між діяльною поверхнею і нижніми шарами;

P – потік тепла між діяльною поверхнею і приземним шаром повітря;

LE – витрати тепла на випаровування.

Інші складові теплового балансу: потоки тепла від опадів, енергії вітру, витрати на фотосинтез і ін., дуже незначні і до уваги приймаються лише при занадто точних обрахунках.

Складові теплового балансу мають чіткий добовий хід.

Зміна теплових потоків повторює зміну радіаційного балансу. Такі ж закономірності спостерігаються і в річному ході теплового балансу.

4.3.3 Заходи впливу на температуру ґрунту

З метою покращання температурного режиму ґрунтів у сільськогосподарському виробництві застосовують цілу низку заходів. У північних районах, де ґрунти холодні, заходи спрямовані на підвищення температури ґрунту. В південних районах, де спостерігається надмірне надходження тепла при нестачі вологи, застосовують заходи для зменшення температури поверхні ґрунту і орного шару (0 – 20 см).

Заходи активного впливу на температуру ґрунту поділяють на три групи: *агротехнічні, агро меліоративні і агро метеорологічні.*

До *агротехнічних* заходів належать: глибока оранка, утворення гребенів, прикатування і інші. Цим зменшується альbedo ґрунту і тим самим змінюється його температурний режим. Температура ґрунту підвищується на 3 – 5 °С.

До *агро меліоративних* заходів належать: мульчування ґрунту, снігова меліорація, зрошення та осушування. *Мульчування* – це покриття ґрунту різними матеріалами (плівками, торфом, соломною та ін.). В залежності від типу покриття температура ґрунту може змінюватись від ± 4 до ± 7 °С.

Снігова меліорація підвищує температуру ґрунту внаслідок збільшення товщини снігу за рахунок снігозатримання.

Зрошення та осушування полів змінює тепловий режим ґрунту за рахунок зміни витрат тепла на випаровування. Зрошення збільшує теплоємність і теплопровідність ґрунтів. Осушення – навпаки. На зрошуваних полях температура поверхні ґрунту зменшується на 15 – 30 °С, на осушених полях – підвищується на 4 – 8 °С.

До *агро метеорологічних* заходів відноситься створення полезахисних лісосмуг, утворення димових завіс та ін.

Лісосмуги впливають на швидкість вітру, на температуру повітря і ґрунту, на вологість повітря і ґрунту. В зимову пору року лісосмуги сприяють накопиченню снігу.

Димові завіси застосовують при загрозах весняних або осінніх приморозків для захисту плодових дерев, сходів різних культур та ін. Димові завіси зменшують ефективно випромінювання і зменшують таким чином інтенсивність приморозків.

Вміле і вдале регулювання теплового режиму ґрунту сприяє відновленню родючості ґрунтів і значно підвищує врожайність сільськогосподарських культур.

Контрольні питання

1. Що називається інсоляцією?
2. Види сонячної радіації?
3. Перелічіть складові теплового балансу.
4. Які особливості пропускання сонячної радіації рослинами?
5. Яка радіація називається фотосинтетично активною?
6. Вплив радіації на фотосинтетичну діяльність рослин.
7. Що називається потоком тепла?
8. Які ви знаєте типи річного ходу температури ґрунту?
9. Що називається міжфазним періодом?
10. Яка температура називається «активною», «ефективною»?

5 ВОЛОГІСТЬ ПОВІТРЯ ТА ЇЇ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

5.1 Вологість повітря

Вологістю повітря називається вміст водяної пари в атмосфері.

Водяна пара постійно надходить в атмосферу внаслідок випарування води з поверхні водоймищ, ґрунту, снігу, льоду та рослинного покриву. В атмосфері вміст водяної пари та води складає $1,29 \cdot 10^3$ %.

Вологість повітря характеризується величинами:

- абсолютна вологість (a , г/м³) – кількість водяної пари у грамах в 1 м³ повітря;

- парціальний тиск (e) – фактичний тиск водяної пари, що є в повітрі, вимірюється у міліметрах ртутного стовпчика (мм. рт. ст.), мілібарах (мб) або гектопаскалях (гПа) ;

- тиск насиченої водяної пари або пружність насичення (E) – найбільше значення парціального тиску за даної температури, вимірюється також у мм, мб, гПа;

- відносна вологість (f) – це відношення парціального тиску водяної пари, що є в повітрі, до тиску насиченої водяної пари за даної температури, вимірюється у відсотках.

$$f = (e / E) \cdot 100 \quad (5.1)$$

- нестача насичення повітря водяною парою (дефіцит насичення водяної пари) (d) – це різниця між пружністю насичення і фактичною пружністю водяної пари;

$$d = E - e \quad (5.2)$$

Нестача насичення вимірюється у мм, мб, гПа;

- точка роси (t_a , °C) – температура, при якій водяна пара, що є у повітрі за даного тиску, сягає стану насичення відносно хімічно чистої плоскої поверхні води;

- питома вологість (q , г/кг) – кількість водяної пари у грамах, що вміщується в 1 кг вологого повітря

$$q = 622e / p, \quad (5.3)$$

де e – пружність водяної пари, гПа; p – атмосферний тиск, гПа.

В атмосфері вміст водяної пари змінюється як за часом, так і за простором. Найбільша кількість водяної пари знаходиться біля поверхні, з

якої йде випаровування. У вищі шари атмосфери водяна пара проникає внаслідок турбулентної дифузії. Розподіл водяної пари в атмосфері нерівномірний, але в середньому з висотою її кількість зменшується.

У приземному шарі повітря спостерігається добовий і річний хід вологості повітря.

Добовий хід пружності водяної пари і абсолютної вологості над океанами, морями та в прибережних зонах суші майже такий, як хід температури води і повітря. Такий же хід пружності водяної пари над материками взимку.

У теплу пору року над материками добовий хід вологоємності має вигляд подвійної хвилі (рис.5.1).

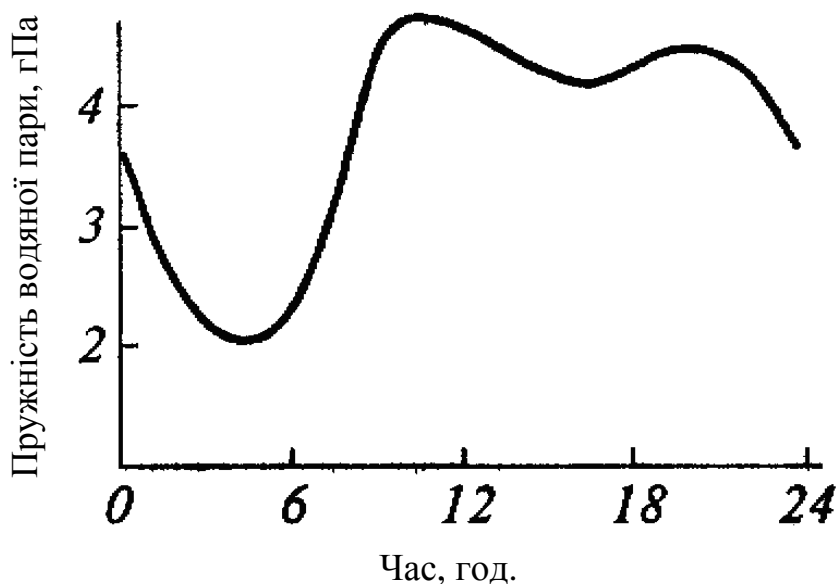


Рис. 5.1– Добовий хід пружності водяної пари над материком

Добовий хід відносної вологості залежить від значень пружності водяної пари і пружності насичення. Підвищення температури викликає підвищення як пружності водяної пари, так і пружності насичення. Але пружність насичення зростає значно швидше, тому значення відносної вологості зменшується. Амплітуда коливань добових значень відносної вологості більша над материками, ніж над водоймищами.

І в річному, і в добовому ході значення відносної вологості змінюються у зворотному порядку ходу температури.

На вологість повітря впливає рослинний покрив. Рослини випаровують велику кількість вологи, а також зменшують швидкість вітру і тим самим збільшують вологість повітря приземного шару. В середині посівів пшениці і жита відносна вологість на 15 – 30 %, а серед

високорослих посівів (кукурудза, соняшник, кунжут та ін.) – на 20 – 30 % більше, ніж на відкритому місці. В середині посіву найбільші значення відносної вологості спостерігаються біля поверхні ґрунту.

Оскільки рослинний покрив значно впливає на такі елементи як: радіаційний баланс, температура повітря і ґрунту, вологість повітря, то в середині нього формується особливий метеорологічний режим, який має назву *фітоклімат*.

5.2 Вплив вологості повітря на сільськогосподарське виробництво

Вологість повітря має суттєвий вплив на сільськогосподарське виробництво. Вологість повітря в значній мірі обумовлює інтенсивність транспірації рослин. При високій температурі і незначній вологості повітря інтенсивність транспірації збільшується і виникає невідповідність між надходженням води та її витратами, що уповільнює ріст і розвиток рослин.

Надмірно висока вологість сприяє великоклітинній будові тканин рослин, що у подальшому викликає полягання у зернових культур. У період цвітіння висока вологість перешкоджає нормальному запиленню рослин, що призводить до зменшення врожаю.

Висока вологість у період досягання хлібів затримує наступ повної стиглості, збільшує вологість зерна і соломи, що, по-перше, ускладнює збирання хлібів, по-друге – викликає проростання зерна. Зменшення дефіциту насичення до 3 гПа викликає повне припинення збирання зерна. Сприяє збиранню значення $d \geq 8$ гПа.

Підвищена вологість повітря влітку обумовлює виникнення і розповсюдження грибкових захворювань рослин: мучнистої роси, білої гнилі, фітофтори, різних видів іржі, а також мільдю на винограді.

Ще більше неприємностей рослинам завдає низька вологість. Зменшення відносної вологості до 30 % і нижче викликає втрату тургору у листках, а якщо це явище спостерігається декілька днів, то листя всихає, зменшується фотосинтезуюча поверхня і втрачається частина врожаю. Особливо шкідливе зменшення вологості повітря до 30 % у період цвітіння і наливу зерна хлібних злаків. Низька вологість викликає пересихання пилку, що сприяє неповному заплідненню і явищу череззерниці. Крім того, низька вологість у період наливання зерна викликає щуплість зерна, зменшення його врожаю.

Особливо небезпечна низька вологість вкупі з нестачею ґрунтової вологи. Якщо відносна вологість становить 30 % і менше, а запаси продуктивної вологи в орному шарі не більше 5 мм, а в метровому – не

більше 30 мм в період наливання зерна, то зерно стає щуплим, погіршується його якість.

Високі температури повітря (вище 25 °С), низька відносна вологість ($\leq 30\%$) і малі запаси продуктивної вологи (≤ 30 мм у шарі 1 м) викликають явища “запалу” і “захвату” зерна.

“Запал” – неповноцінне наливання зерна через високі температури і високу сухість повітря. “Захват” – неповноцінне наливання внаслідок високої температури і малих запасів продуктивної вологи або швидке висушування зерна під впливом суходіїв.

Низька відносна вологість повітря і високі температури збільшують тривалість міжфазного періоду кукурудзи “цвітіння волоті – утворення початку” на 10 – 15 днів.

Поєднання низької вологості повітря, високих температур та малих запасів продуктивної вологи призводить до утворення дрібних плодів і ягід, зменшує їх врожай та викликає слабку закладку бруньок під врожай наступного року.

Але низька вологість повітря у період дозрівання винограду і цукрових буряків підвищує вміст цукру у ягодах та коренеплодах. Від вологості повітря також залежать строки проведення сільськогосподарських робіт: сушка зерна, закладка силосу, боротьба з бур’янами і ін.

Контрольні питання

- 1. Якими величинами характеризується вологість повітря?*
- 2. Яка роль вологості повітря в житті рослин?*
- 3. Охарактеризуйте добовий хід вологості повітря.*
- 4. Що називається фітокліматом?*
- 5. Як впливає вологість повітря на якість урожаю?*
- 6. Дайте визначення «запалу» і «захвату» зерна.*
- 7. Як впливає вологість повітря на якість зерна в період збирання хлібів?*

6 ВИПАРОВУВАННЯ ТА ВИПАРОВУВАНІСТЬ

6.1 Випаровування з поверхні води, ґрунту, рослин

Випаровуванням називається процес переходу речовин із рідкого або твердого стану у газоподібний.

Кількісно випаровування характеризується *швидкістю випаровування* – масою води (товщина шару δ), яка випаровується за одиницю часу. Шар води висотою в 1 мм, що випарувалась з площі 1 м², відповідає масі води в 1 кг або в 1 л (1 мм шару води = 10 м³/га = 10 т/га). В природних умовах інтенсивність випаровування залежить від багатьох факторів: від температури поверхні, з якої відбувається випаровування, нестачі насичення повітря вологою у шарі повітря та швидкості вітру.

Згідно закону Дальтона, швидкість випаровування (w) прямо пропорційна різниці між тиском насиченої пари (E_1), що визначається за температурою випарної поверхні, та нормальним тиском водяної пари (e), що знаходиться у повітрі, і зворотно пропорційна атмосферному тиску (P)

$$w = A(E_1 - e) / p \quad , \quad (6.1)$$

де A – коефіцієнт пропорційності, який залежить від швидкості вітру (найчастіше).

У зв'язку з тим, що біля поверхні землі атмосферний тиск коливається у порівняно невеликих межах, то він несуттєво впливає на швидкість випаровування і враховується тільки при порівнянні швидкості випаровування на різних висотах у гірській місцевості. За рівних інших обставин швидкість випаровування з висотою зростає.

Залежність швидкості випаровування від швидкості вітру пояснюється турбулентною дифузиею водяної пари, яка зростає при підсиленні вітру.

Швидкість випаровування залежить не тільки від перелічених вище метеорологічних факторів, а і від властивостей поверхні, з якої йде випаровування.

З поверхні води швидкість випаровування зростає із підвищенням температури води, зростанням нестачі насичення повітря вологою, швидкості вітру. Крім того, вона залежить від розмірів водоймища. З малих водоймищ випаровування йде більш інтенсивно завдяки приходу з суші більш сухого повітря. Швидкість випаровування також залежить від солоності води. З водоймища з прісною водою випаровування збільшується, оскільки пружність насичення над прісною водою вище, ніж над розчином.

У деякій мірі випаровування з водної поверхні залежить і від прямої сонячної радіації, що значно прогріває товщу води. Чим прозоріша вода, тим глибше вона прогрівається.

Швидкість випаровування з поверхні ґрунту залежить від стану його поверхні, фізичних властивостей, температури і вологості, рельєфу, наявності та виду рослинного покриву, вологості повітря, швидкості вітру і т. ін.

З вологих і темних ґрунтів випаровування більше, з нерівної поверхні поля (оранка) інтенсивність випаровування більше. Тому навесні у посушливих районах для зменшення випаровування оранку поля притрамбовують катками. Піщані ґрунти випарюють води менше, ніж глиняні. Чим більші частинки піску, тим менше випаровування. Якщо діаметр піщинок 2 мм і більше, випаровування майже не спостерігається.

П.А.Костичев встановив, що випаровування з поверхні ґрунту різко зменшується, якщо орний шар ґрунту має будову грудочками.

На випаровування води впливає також глибина залягання ґрунтової води. Випаровування буде більше там, де ґрунтова вода ближче до поверхні.

Рельєф обумовлює зміну швидкості вітру, а це призводить до зміни режиму випаровування. На пагорбах швидкість вітру вище, ніж на рівному місці, тому і випаровування там більше. Рослинний покрив затінює ґрунт від сонячних променів, зменшує перемішування повітря, значно зменшує випаровування з ґрунту.

Випаровування води рослинами називається *транспірацією*. Споживаючи воду з ґрунту, рослини забезпечують себе питомими речовинами та посилюють процеси фотосинтезу.

Кількість води, яка необхідна рослинам для утворення одиниці маси сухої речовини, називається *коефіцієнтом транспірації*. Значення коефіцієнта транспірації залежить від виду і сорту рослини, стану та фази її розвитку, а також від стану навколишнього середовища. Для багатьох рослин помірного поясу коефіцієнт транспірації змінюється від 300 до 800 (табл. 6.1).

Значення коефіцієнтів транспірації змінюється також в залежності від умов вирощування: у вологому кліматі, при значних дозах добрив коефіцієнт транспірації зменшується.

На інтенсивність транспірації впливає вологість шару ґрунту, де розташована переважна більшість коріння. В залежності від умов вирощування рослини мають різні системи регулювання, які дозволяють зменшувати випаровування. В основному це продихове регулювання випаровування.

Таблиця 6.1 – Значення коефіцієнтів транспірації різних культур (орієнтовано)

Культура	Коефіцієнт транспірації	Культура	Коефіцієнт транспірації
Пшениця	450-600	Льон	400-500
Овес	600-800	Соняшник	500-600
Жито	500-800	Трави	500-700
Горох	290-420	Картопля	300-600
Гречка	500-600	Овочі	500-800
Просо	200-250	Ячмінь	310-770
Рис	500-800	Листяні дерева	400-600
Кукурудза	250-300		

Сумарне випаровування – це транспірація, випаровування з ґрунту і випаровування вологи, затриманої рослинами під час опадів.

Складові сумарного випаровування впродовж вегетаційного періоду значно змінюються. На початку вегетації випаровування з поверхні ґрунту більше, ніж з рослин. Під час найбільшого розвитку рослин випаровування з поверхні рослинного покриву значно збільшується, а з поверхні ґрунту – зменшується.

Випаровування впродовж доби та впродовж року змінюється. Найбільші значення сумарне випаровування має о 13 – 14 год. В теплу пору року добовий хід сумарного випаровування чіткіший, ніж взимку (рис. 6.1).

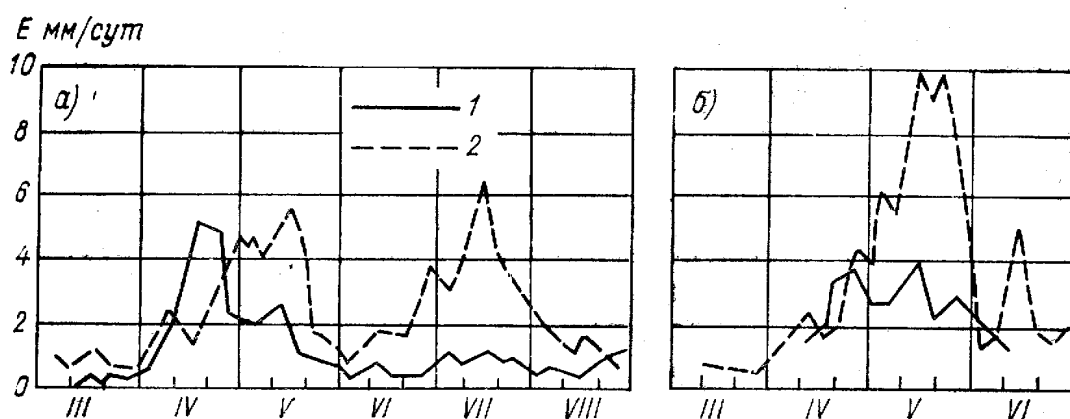


Рис. 6.1 – Інтенсивність сумарного випаровування (E , мм/доб) при природному зволоженні з поля озимої пшениці (за С.І.Харченко, 1975): а – цілина, б – озима пшениця.

Річне значення сумарного випаровування залежить від ходу температури та вологості повітря і ґрунту. В сухий рік інтегральне значення сумарного випаровування, попри значні енергетичні затрати, значно нижче, ніж у вологі роки (рис. 6.2), коли інтенсивність випаровування через високі вологозапаси значно вища.

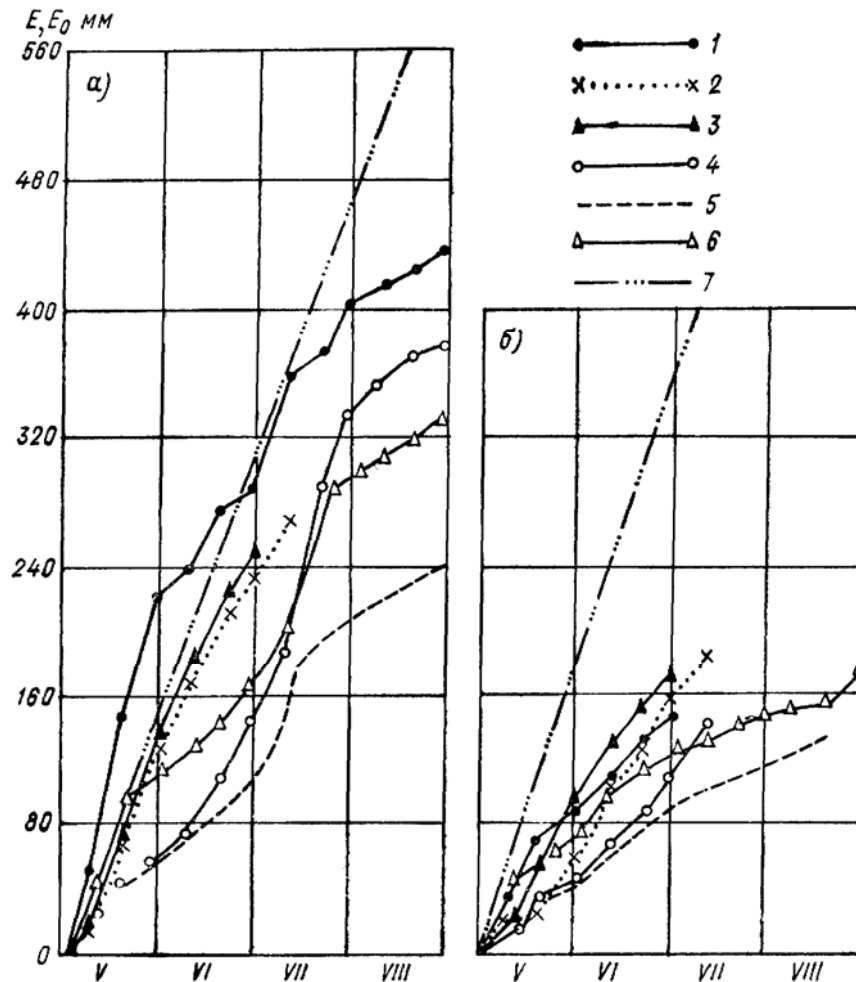


Рис. 6.2 – Інтегральні криві сумарного випаровування (E):
а) 1997 р., б) 2000 р.

- 1) сумарне випаровування з поля озимої пшениці;
- 2) сумарне випаровування з поля кукурудзи;
- 3) випаровуваність.

Випаровуваність називається потенційно можливе, не обмежене запасами води, випаровування в даній місцевості із зволоженої поверхні ґрунту або води за існуючих метеорологічних обставин.

Випаровуваність, як і випаровування вимірюється у мм шару води. На теренах СНД випаровуваність змінюється з північного заходу на південний схід від 320 до 1200 мм.

В агрометеорології випаровуваність прирівнюється до вологопотреби рослин, тобто кількості води, що рослина споживає за даних метеорологічних умов при безперебійному постачанні води корінням.

Сумарне випаровування – вологоспоживання або інакше кількість води, що витрачається з поля, зайнятого рослинами, при природному зволоженні за даних метеорологічних умов.

Випаровування з поверхні ґрунту вимірюється за допомогою лізиметрів або ґрунтових випарників ГГІ – 500-50 або ГГІ – 500-100. Це ґрунтові моноліти з непорушеною структурою всередині металевих циліндрів. Найбільш досконалим приладом для вимірювання випаровування є гідравлічний ґрунтовий випарник (ГГВ). Досить складний прилад, в якому ґрунтовий моноліт масою 400 кг з випарною поверхнею 2000 см² поміщено у поплавок, що знаходиться у баку з водою. Глибина занурення моноліту змінюється в залежності від випаровування.

Для вимірювання випаровуваності з поверхні води застосовуються випарники ГГІ – 3000 (площа 0,3 м², глибина 60 см) або будуються випарувальні басейни, площа яких становить 20 м².

Величини випарування і випаровуваності мають велике значення для вирішення багатьох задач, серед яких провідними є водопостачання, зрошення, осушування та ін. Тому в практиці для визначення випаровування та випаровуваності застосовують різні емпіричні методи. Для розрахунків сумарного випаровування застосовують методи водного балансу, турбулентної дифузії, метод М.І.Будико, комплексні методи М.І. Будико – Л.І. Зубенок, С.І. Харченко, Пенмана, Торнтвейта, О.Р. Констянтинова і ін.

Для визначення випаровуваності застосовуються методи О.М. Алпатєва, М.М. Іванова, Г.Т. Селянінова та ін. Деякі методи (М.І. Будико, С.І. Харченко) використовуються як для розрахунків сумарного випаровування, так і для розрахунків випаровуваності.

Однією з найважливіших задач агротехніки є зменшення непродуктивного випаровування з ґрунту та бур'янами. Вирішення цієї задачі досягається різними заходами.

Суттєво змінюють режим випаровування з полів знищення бур'янів, оранка полів на зяб, боронування зябу навесні, обробка полів у міжряддях широкорядних культур, безвідвальна оранка восени, створення лунок на зябу, мульчування стернею, торфом, перегноєм, тирсою, соломною, листям.

Крім перелічених заходів змінює режим випаровування посадка лісозахисних смуг, які зменшують швидкість вітру і послаблюють турбулентне перемішування повітря у приземному шарі. Сприяють накопиченню вологи і куліси із високостебельних рослин.

6.2 Конденсація водяної пари. Опали

6.2.1 Конденсація водяної пари

Конденсацією називається перехід водяної пари із газоподібного стану в рідкий. За певних умов водяна пара може перейти в твердий стан, не переходячи в рідину. Такий перехід називається *сублімацією*. Ці процеси проходять у навколишньому середовищі.

Для конденсації водяної пари необхідно, щоб пружність водяної пари (e) була вище пружності насичення (E), тобто $e > E$, а також щоб були ядра конденсації. Це відбувається за умов, коли температура повітря нижче температури точки роси.

Зменшення температури повітря нижче температури точки роси можливе у випадках:

- 1 – охолодження діяльної поверхні шляхом випромінювання та охолодження шару атмосфери, що прилягає до поверхні;
- 2 – зіткнення теплого повітря з холодною діяльною поверхнею;
- 3 – змішування двох мас повітря, що вміщують насичену або дуже близьку до насичення водяну пару і мають різну температуру;
- 4 – адіабатичне підняття повітря.

В залежності від умов охолодження утворюються різні види продуктів конденсації: хмари, тумани, роса, іній, ожеледиця, паморозь.

Роса – дрібні краплі води, які утворюються на рослинах, на поверхні ґрунту та інших предметах, якщо точка роси вище 0°C . Роса має велике значення для рослин, тому що є додатковим ресурсом вологи, особливо у посушливих районах. В таких районах за теплу пору року за рахунок роси буває від 10 до 30 мм опадів. Крім того, важливу роль роса відіграє у заморозконебезпечних районах. Утворення роси супроводжується виділенням схованої теплоти пароутворення, внаслідок чого охолодження поверхні уповільнюється, приморозок затримується або і зовсім не настає.

Але роса відіграє і негативну роль, особливо в період наливу зерна та збирання врожаю. В період наливу зерна роса на колосі відіграє роль лінзи, спричиняє швидке висушування і тим самим викликає щуплість зерна. В період збирання хлібів роса збільшує вологість соломи і зерна, що ускладнює роботу комбайнів, погіршує обмолот та призводить до втрат зерна.

Паморозь – це утворення льоду на деревах, проводах та інших предметах при туманах внаслідок сублімації водяної пари або намерзання крапель переохолодженого туману. Товщина паморозі може бути від 1 см до декількох десятків сантиметрів.

Іній – утворюється із дрібних крапель води, якщо температура на поверхні предметів нижче 0°C . Іній утворюється переважно при інверсії температури повітря.

Тумани. Накопичення продуктів конденсації або сублімації (а також разом), завислих у повітрі безпосередньо над поверхнею Землі, утворює тумани. Спостерігаються тумани охолодження і тумани випаровування. Тумани охолодження утворюються при надходженні повітря з теплої підстильної поверхні на холодну – це адвективні тумани. Крім того, тумани охолодження виникають через те, що сама підстильна поверхня охолоджується радіаційним шляхом – це радіаційні тумани.

Тумани випаровування утворюються переважно восени та взимку (або вночі влітку) у холодному повітрі над більш теплою відкритою водою.

Тумани в житті рослин відіграють подвійну роль. Вони мають позитивне значення в період пізніх весняних та ранніх осінніх заморозків, бо затримують охолодження підстильної поверхні. Крім того, при утворенні туманів виділяється теплота конденсації, яка зменшує імовірність виникнення радіаційних заморозків.

Але тумани відіграють і негативну роль в житті рослин. Так, у період цвітіння тумани затримують дозрівання пилку, ускладнюють виліт комах, а це, в свою чергу, зменшує продуктивність запилення і утворення зав'язі.

В період формування нижнього міжвузля зернових культур тумани обумовлюють великоклітинну будову тканин, що призводить до послаблення стійкості рослин, до вилягання.

Тумани, що утворюються в період формування та досягання плодів, погіршують їх якість та скорочують термін зберігання. Крім того, в період збирання хлібів тумани підвищують вологість зерна і соломи, що погіршує умови збирання і часто викликає втрати зерна через недомолот.

В період туманів складаються умови для виникнення грибкових хвороб рослин – мучнистої роси, лінійної іржі, мільдю та ін.

Краплі води і кристали льоду, що утримуються в повітрі, зменшують його прозорість, тому видимість у тумані може бути дуже малою – від декількох метрів до 1 км.

Хмари. Конденсація або сублімація водяної пари у вільній атмосфері призводить до утворення хмар. Розміри хмарних елементів – крапель і кристалів – дуже малі і переміщуються повітряними потоками. При збільшенні відносної вологості повітря хмароутворення прискорюється і навпаки – при зменшенні відносної вологості хмари розсіюються.

За складом хмари діляться на три групи:

- 1 – водяні хмари, що складаються з крапель;
- 2 – льодові хмари, що складаються тільки з кристаликів при низьких температурах;
- 3 – змішані хмари, що складаються з переохолоджених крапель та кристаликів льоду при помірно від'ємних температурах.

Висота хмар, їх будова пов'язані з висотою рівня конденсації, нульової температури, обмерзання. Нижня межа хмар, зазвичай,

знаходиться на рівні конденсації. Між цим рівнем і рівнем температури, що дорівнює 0°C , хмари складаються із крапель або сніжинок, які тануть. Вище, до рівня замерзання, хмари складаються із переохолоджених крапель і сніжинок, а вище рівня замерзання – із кристаликів льоду. Верхня межа хмар визначається висотою підняття повітря.

Процеси, що призводять до утворення хмар, дуже різноманітні. Тому і форми хмар теж дуже різноманітні. На разі при метеорологічних спостереженнях застосовується морфологічна міжнародна класифікація хмар, яка включає чотири сімейства і десять видів форм.

А. Сімейство хмар верхнього ярусу (висота підшви більше 6 км): перисті, перисто-купчасті, перисто- шаруваті;

Б. Сімейство хмар середнього ярусу (висота підшви 2 – 6 км): висококупчасті, високошаруваті;

В. Сімейство хмар нижнього ярусу (висота – 2 км): шаруваті, шарувато-купчасті, шарувато-дощові;

Г. Сімейство хмар вертикального розвитку (нижня підшва на висоті 0,5 – 1,5 км, вершина сягає верхнього ярусу): купчасті, купчасто-дощові.

Хмари за формою, кількістю і потужністю характеризують ті фізичні процеси, що відбуваються в атмосфері. Різні форми хмар і послідовність їх появи тісно пов'язані з типом погоди та її змінами, що очікуються. Хмари є однією із найважливіших ознак визначення погоди на короткий термін (3 – 4 год.).

Значення хмар для сільськогосподарського виробництва полягає в тому, що вони затримують частину сонячної радіації і тим самим впливають на світловий і тепловий стан діяльної поверхні. Крім того, хмари перешкоджають тепловому випромінюванню Землі. Але найголовніше значення хмар у тому, що з них випадають опади, які є найголовнішим джерелом зволоження підстильної поверхні.

6.2.2 Види і типи опадів

За певних умов хмарні елементи (краплі, кристали) збільшуються до таких розмірів, що повітря, яке піднімається, не може утримувати їх у завислому стані і вони випадають на землю у вигляді опадів.

Атмосферні опади за фазовим станом поділяють на рідкі, тверді, змішані. Вид опадів залежить від температури повітря.

До *рідких* опадів належать дощ (діаметр крапель 0,5 – 0,7 мм) і мряка (діаметр менше 0,5 мм). *Тверді* опади – це сніг, снігова крупа, льодяна крупа, снігові зерна, льодовий дощ тощо. До *змішаних* опадів належить мокрий сніг. За характером випадання опади підрозділяють на облогові, зливові та мрячні. Тип опадів визначається видом хмар.

Облогові опади випадають із шарувато-дощових та високошаруватих хмар. *Зливові* опади (дощ, град, снігова і льодова крупа, мокрий сніг) випадають із купчасто-дощових хмар. *Мрячні* (мряка, снігові зерна) випадають із шаруватих хмар.

Кількість опадів вимірюється товщиною шару води у мм або сантиметрах. Шар опадів 1 мм на площі 1 га відповідає об'єму води 10 м³ або масі 10 т.

Визначити добовий хід опадів дуже складно. Тому над сушею відрізняють два типи добового ходу – континентальний і морський. Для континентального добового ходу притаманні два максимуми – вранці та після полудня. Для морського максимум опадів – вночі, мінімум – після полудня.

В динаміці опадів за рік відрізняють чотири основних типи: екваторіальний, тропічний, субтропічний, помірних широт.

На Європейській частині СНД річні суми опадів теплої пори року (квітень-жовтень) більші ніж суми опадів холодної пори року (листопад-березень).

6.2.3 Значення опадів для сільського господарства

Опади – це головне джерело поповнення вологи в ґрунті. Вони відіграють важливу роль у розвитку рослин і формуванні врожаю. Вплив опадів на рослини залежить від їх інтенсивності і тривалості, а також від міри розвитку рослин та їх стану.

Сильні зливи з градом і вітром викликають полягання зернових культур, водну ерозію ґрунтів. Тривалі опади у період цвітіння плодкових дерев змивають пилок, ускладнюють запліднення і тим самим зменшують врожай.

У зернових тривалі опади в період дозрівання зерна викликають явище “стікання” зерна – вимивання питомих речовин з зерна надмірною вологою. Крім того, у період збирання хлібів дощова погода ускладнює роботу збиральної техніки, викликає проростання зерна, полягання хлібів. Тривала дощова погода викликає загнивання кошика соняшника. А дощі інтенсивністю більше 1 мм ускладнюють збирання картоплі та цукрових буряків, погіршуючи ще й якість врожаю. Часті дощі в період дозрівання винограду зменшують кількість цукру в ягодах, викликають розтріскування ягід. Крім того, дощі і часті роси змивають з ягід винограду восковий наліт, який захищає ягоди від загнивання.

В той же час відсутність дощів та ще й при малих запасах продуктивної вологи викликає різке погіршення стану всіх рослин. При тривалій відсутності дощу починається метеорологічне явище – посуха (детальніше див. розділ “Несприятливі явища”). Навіть у районах

достатнього зволоження відсутність дощів протягом 10 днів у червні-серпні викликає різке зменшення запасів продуктивної вологи, а ще більш тривала відсутність дощів при високій температурі сприяє повному пересушуванню орного шару ґрунту. А це, в свою чергу, викликає різке зменшення накопичення рослинами органічної речовини, поступове в'янення рослин, а потім їх засихання.

Поповнення запасів продуктивної вологи за рахунок дощів залежить від характеру підстильної поверхні, типу ґрунтів, їх зволоження, рельєфу місцевості та інтенсивності і тривалості опадів. Високо структурні ґрунти засвоюють більше вологи, ніж безструктурні. Якщо опади випадають на поверхню, вкриту рослинами, то частина опадів втрачається на змочування рослин і тому не досягає поверхні ґрунту. На змочування рослин витрачається від 10 до 35 % опадів. Тому поле без рослин отримує вологи більше. Пухкий ґрунт засвоює більше опадів, ніж щільний. Сухий ґрунт утримує більше опадів, ніж зволожений.

Якщо опади мають облоговий характер, то вони добре засвоюються ґрунтом. Зливові інтенсивні опади засвоюються менше і їх більша частина витрачається на стік.

6.2.4 Сніговий покрив

Сніг, що випадає при від'ємних температурах на діяльну поверхню, утворює сніговий покрив. Тривалість зберігання снігу на полях залежить від широти місця і особливостей ходу атмосферних процесів і становить від декількох днів до 4 – 6 міс. Середня висота снігового покриву за зиму коливається від 1 до 90 – 100 см.

Сніговий покрив за фізичними властивостями має слабку теплопровідність і тому ґрунт, вкритий снігом, захищений від різких коливань температури. Ця властивість снігу дуже корисна для зимуючих культур, бо він є вирішальним фактором формування ґрунтового клімату взимку (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Вплив снігового покриву на екстремальні температури ґрунту на різних глибинах (за О.М. Шульгіним)

Температура, °С	На поверхні снігу висотою 25 см	На глибині		
		3 см	15 см	25 см
Максимальна	0.0	-1.4	-1.0	-0.7
Мінімальна	-35.5	-7.4	-6.3	-4.5
Амплітуда	35.5	6.0	5.3	3.8

Чисельні дослідження показали, що добре зимують озимі культури в місцевостях, де морози не дуже сильні і висота снігу сягає 20 см (південь Європейської частини СНД).

Крім того, сніговий покрив акумулює опади холодної пори року і навесні дає багато води, частина якої проникає в ґрунт. Кількість вологи, що надходить в ґрунт, залежить від висоти снігу, його щільності, глибини промерзання ґрунту, наявності льодової кірки і характеру весни.

Сніг також захищає ґрунт від прогрівання при відлигах і тим самим затримує рослини від передчасного пробудження.

Температура ґрунту на глибині 3 см під снігом характеризується більш рівномірним ходом впродовж зими. При висоті снігу більше 30 см температура ґрунту на глибині 3 см на 15 – 16⁰С вища, ніж на голому полі. О.М. Шульгін запропонував номограму для розрахунку температури ґрунту на глибині 3 см за даними температури повітря і висоти снігу (рис. 6.3).

Сніговий покрив також зменшує глибину промерзання ґрунту. Однак тривале залягання снігу висотою більше 30 см викликає випрівання озимих культур.

В захисті озимих культур від вимерзання, у збільшенні вологи після танення снігу важливу роль відіграють снігові меліорації, основною з яких є снігозатримання.

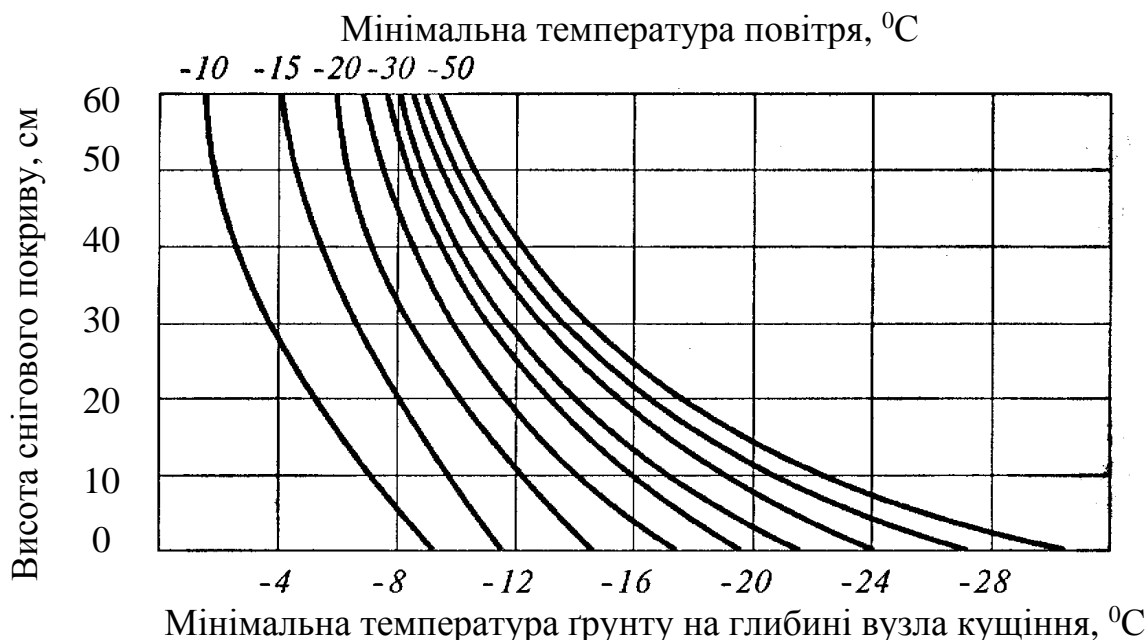


Рис. 6.3 – Зв'язок мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см з мінімальною температурою повітря за різної висоти снігу (за О.М. Шульгіним).

Снігозатримання сприяє зменшенню глибини промерзання ґрунту, захисту посівів від сильних морозів та великих амплітуд температури, збільшенню запасів вологи навесні, збільшенню тривалості залягання снігу та зменшенню інтенсивності стоку навесні.

У тих районах, де висота снігу перевищує 50 см, може спостерігатись випрівання посівів, сніг ущільнюють за допомогою котків.

Для правильного виконання снігових меліорацій необхідно враховувати запаси вологи на полях восени, динаміку висоти снігового покриву впродовж зими, домінуючий напрямок вітру, а також процеси в атмосфері.

Контрольні питання

- 1.Що таке «випаровування» та «випаровуваність». В яких одиницях вони вимірюються?*
- 2.Як розраховується значення сумарного випаровування?*
- 3.Що називається транспірацією?*
- 4.Значення конденсації водяної пари в житті рослин.*
- 5.Яке значення мають опади для сільськогосподарських культур?*
- 6. Яку роль відіграє сніговий покрив в житті сільськогосподарських культур?*
- 7. Які ви знаєте основні причини пошкодження озимих культур в період зимівлі?*
- 8. Як розраховується мінімальна температура ґрунту на глибині залягання вузла куціння?*
- 9. Які ви знаєте методи збільшення висоти снігу взимку?*
- 10.Що називається сніговою меліорацією?*

7 ГРУНТОВА ВОЛОГА

Грунтова волога є одним із головних факторів життя рослин. Волога у шарі розповсюдження коріння – практично єдине джерело водозабезпеченості рослин. Поглинена корінням вода переносить з собою розчинні поживні речовини, підтримує тургор листя, йде на будову органічних сполук, забезпечує терморегуляцію рослин.

Тому в системі гідрометеорологічної служби на станціях і постах проводяться візуальні і інструментальні спостереження за вологістю ґрунту.

7.1 Основні властивості ґрунтової вологи

Атмосферні опади частково стікають по поверхні ґрунту, часткового проникають у ґрунт. У ґрунті опади трансформуються в інші природні форми вологи: водяну пару, ґрунтову вологу, ґрунтові води.

Внаслідок постійного обміну між ґрунтом, рослинами, атмосферою вміст вологи в ґрунті постійно змінюється. Під *режимом вологості* ґрунту розуміють сукупність усіх коливань вмісту вологи у ґрунті.

Поведінка води у ґрунті визначається властивостями самої води та розміром і формою ґрунтових пор. Грунтова волога знаходиться у порах різних розмірів і форм, має велику поверхню розділу і вміщує позитивні і негативні іони, що обумовлюють неоднорідність фізичних і хімічних властивостей ґрунтової вологи. Властивості цієї вологи дуже відрізняються від властивостей вільної рідкої води.

Відповідно до механізму утримання виділяють три різних за фізичними і хімічними властивостями категорії ґрунтової води: зв'язану, капілярну і гравітаційну.

Зв'язана вода утримується адсорбційними силами на поверхні ґрунтових часток. Завдяки величезній поверхні часток ґрунт адсорбує значну кількість вологи. За своїми властивостями адсорбційна вода близька до твердого тіла. Вона має назву *міцно зв'язаної води* і може рухатись тільки у вигляді водяної пари.

При віддаленні від адсорбуючої поверхні властивості зв'язаної води змінюються, енергія зв'язку зменшується і молекули утримуються з меншою силою. Зовнішні шари адсорбційної вологи називаються крихкозв'язаною водою. За своїми властивостями вона менше відрізняється від звичайної води. Утворення крихкозв'язаної води починається за рахунок водяної пари.

Капілярна волога утримується в ґрунті за рахунок різниці поверхневих тисків, що утворюється поверхнями розділу вода – повітря

різної кривизни. Капілярні сили визначаються геометрією пор і властивостями ґрунтового розчину. Капілярна вода розташовується поверх плівкової. Температура її замерзання біля 0 °С. Капілярна вода здатна розчиняти речовини, рухлива. Рухається під впливом сили тяжіння та меніскових (капілярних) сил. Вона доступна для рослин.

Відрізняють капілярно-підвішену і капілярно-підперту воду. Капілярно-підвішена вода утворюється при проникненні води з поверхні, капілярно-підперта – при надходженні води знизу (від ґрунтових вод). Зона (шар) над дзеркалом ґрунтових вод, насичена капілярно-підпертою водою, називається капілярною каймою. При сполученні капілярно-підвішеної і капілярно-підпертої води, вода заповнює всі пори, витісняє з них повітря. Такий стан води, коли вона утворює суцільне тіло, а повітря або відсутнє, або знаходиться в ізольованих порах, називається *капілярним станом*. Переміщення повітря у порах припиняється і ґрунт переходить в стан капілярного насичення.

Гравітаційна вода. За відсутності від'ємного тиску вся вода, що додатково надходить, під силою тяжіння проникає вниз. Така вода називається гравітаційною. Гравітаційна вода у ґрунті знаходиться в некапілярних порах. Вона не зв'язана з часточками ґрунту і за властивостями не відрізняється від вільної води у масі.

В ґрунті при зниженні температури до 0 °С і нижче вода замерзає, утворюється лід, який характеризується силами зчеплення в десятки атмосфер, щільність менше одиниці, теплоємність – 0,5.

У природних умовах невід'ємною складовою частиною ґрунту є пароподібна волога. Вона легко утворюється з усіх категорій ґрунтової вологи. Вода у ґрунті постійно переміщується. При цьому кожна категорія води має свої механізми переміщення, про що сказано вище.

7.2 Агροгідрологічні властивості ґрунтів

Вивчення взаємозв'язків води з ґрунтом, пересування води у ґрунті та засвоєння її рослинами дозволило встановити, що за зміни вологи у ґрунті спостерігаються деякі вузли, в яких змінюється поведінка води, її властивості та споживання рослинами. Такі вузли називаються агрогідрологічними властивостями. До них відноситься недоступна рослинам волога або інакше мертвий запас, максимальна гігроскопічність (МП), вологість стійкого в'янення або вологість розриву капілярів (ВРК), найменша вологоємність (НВ), капілярна вологоємність (КВ), повна вологоємність (ПВ).

За основу визначення агрогідрологічних властивостей взято розподіл ґрунтової вологи за тісністю сполучення, рухливості та доступності до рослин.

Недоступна волога – це волога, що утримується у ґрунті силами, більшими за осмотичний тиск клітинного соку кореневих мочок та волосків. Вона не може бути спожита рослинами. Коли кількість вологи у ґрунті досягає рівня недоступної вологи, починається повне в'янення листя. Спостерігається повна втрата тургору не тільки надземною частиною рослин, а і клітинами коріння. Інколи недоступну вологу прирівнюють до вологи стійкого в'янення. Недоступну вологу ще називають мертвим запасом та її кількість практично відповідає кількості міцно зв'язаної води.

Найпростіший засіб визначення міцно зв'язаної води – це по найбільшій кількості гігроскопічної води, яку може поглинути та утримати ґрунт у атмосфері, насичений водяною парою ($f = 96 - 98\%$) – максимальна гігроскопічність.

Максимальна гігроскопічність ґрунту визначається його питомою поверхнею. За даними С.О. Веріго та Л.О. Разумової максимальна гігроскопічність ґрунтів різного гранулометричного складу та вологості стійкого в'янення буде:

Гранулометричний склад ґрунту	Вологість стійкого в'янення, (ВСВ), %	Максимальна гігроскопічність
Піщаний	0,5-1,5	0,5-1,0
Супіщаний	1,5-4,0	1,0-3,0
Легкий суглинок	3,5-7,0	3,0-5,0
Середній суглинок	5,0-7,0	4,0-7,0
Важкий суглинок	8,0-12,0	6,0-9,0
Глинистий	12,0-20,0	9,0-15,0
Торф'яний	40,0-50,0	30,0-40,0

Вологість стійкого в'янення не залежить від виду рослин і становить півтори-дві максимальні гігроскопічності. Чим багатший гумусом ґрунт, тим вище ВСВ. ВСВ залежить від гранулометричного складу ґрунту.

Вологість розриву капілярів, або вологість пригнічення, характеризує межу оптимальної вологості ґрунту і залежить від гранулометричного та агрегатного складів, будови ґрунту і складає приблизно 50 – 70 % НВ.

Якщо вода у ґрунті становить менше ніж ВРК, то зростання рослин уповільнюється і зменшується їх продуктивність.

Найменша вологоємність (НВ) – це найбільша кількість капілярно-підвішеної вологи або найбільша кількість води, яка фактично утримується ґрунтом у природних умовах в стані рівноваги, коли немає випаровування та додаткового припливу води.

НВ залежить від гранулометричного складу, вмісту гумусу, структури і будови ґрунту. НВ визначається на провідних агрометеорологічних станціях 1 раз у 5 років.

Якщо НВ не визначається, то у грубому наближенні її приймають:

для суглинків у шарі ґрунту	0-20см – 40 - 50мм
	0-100см – 170 - 190мм
для супіщаних ґрунтів	0-20см – 30 - 40мм
	0-100см – 150 - 170мм
для піщаних ґрунтів	0-20см – 20 - 30мм
	0-100см – 80...120мм

Різниця між значеннями НВ і фактичними запасами продуктивної вологи називається *дефіцитом вологи у ґрунті*.

Повна вологоємність (ПВ) – кількість води, яка утримується в ґрунті, коли дзеркало ґрунтових вод сягає поверхні і всі пори і шари зайняті водою. При ПВ з ґрунту повністю витісняється повітря, припиняється аерація і рослини пригнічуються.

Значення ПВ практично рівне шпаруватості і становить від 20 – 40 до 50 – 60 % загального об'єму ґрунту.

Капілярна вологоємність (КВ) – це найбільша кількість капілярно-підпертої води, яка може утримуватись у шарі ґрунту над дзеркалом ґрунтових вод. КВ залежить від шпаруватості ґрунту, глибини залягання ґрунтових вод. В суглинках та в глинистих ґрунтах вода може підійматись на висоту до 3 м, в супіщаних – до 1,0 – 1,5 м, у піщаних ґрунтах та у торфі – до 0,5 – 1,0 м.

7.3 Продуктивна волога

Для оцінки водопостачання рослин, які вирощуються на різних ґрунтах, використовується поняття продуктивна волога, тобто волога, яка може бути спожита рослинами. Кількість продуктивної вологи визначається як різниця між загальною вологою і непродуктивною вологою, тобто вологою яка не може бути спожита рослинами.

Для того, щоб визначити вплив вологи на зростання рослин та формування їх врожаю, необхідно спостерігати вміст вологи у ґрунті впродовж всього періоду вегетації рослин. Спостереження проводяться на всій глибині кореневого шару. Найбільш поширеним способом визначення вмісту вологи в ґрунті є спосіб висушування зразків. Існують і інші способи, але саме спосіб висушування зразків є еталоном.

Запаси продуктивної вологи у ґрунті – величина, яка постійно змінюється. Це і надходження води у ґрунт із різних джерел, найсуттєвішим із них є опади, це витрати вологи за рахунок проникнення у нижні шари ґрунту та за рахунок випаровування і т. ін. Сукупність усіх величин надходження вологи у ґрунт та витрат називається *водним балансом*. Щодо потреб сільськогосподарського виробництва, то залишок водного балансу визначається у мм продуктивної вологи. Водний баланс складається із прихідної частини, яка вміщує (θ_{on}), а при зрошенні ще й норму поливу (θ_{zp}), надходження із ґрунтових вод (θ_{gp}) і за рахунок конденсації водяної пари (θ_k), а також надходження води внаслідок переміщення із сусідніх шарів ґрунту (θ_{nn}) і за рахунок просочування (θ_{en}) та витратної частини: витрат води на випаровування (θ_e), поверхневий стік (θ_{nc}), транспірацію (θ_{mp}) та переміщення всередині ґрунту (θ_{ec}), а також інфільтрацію (θ_{in}). Таким чином, якщо початковий запас води у ґрунті – W_n і кінцевий W_k , то рівняння водного балансу має вигляд:

$$W_k - W_n = [(\theta_{on} + \theta_{zp}) + \theta_{gp} + \theta_{nn} + \theta_{en} + \theta_k] - [(\theta_e + \theta_{zp}) + \theta_{nc} + \theta_{ec} + \theta_{in}] \quad (7.1)$$

Рівняння може бути скорочено за відсутності будь-якої складової. Крім того, в залежності від пори року складові рівняння водного балансу також змінюються. С.О. Веріго та Л.О. Разумовою [3] встановлено, що формування запасів продуктивної вологи у холодну та теплу пори року відбувається з різних джерел. Взимку поповнення запасів вологи відбувається за рахунок опадів, талих вод та пересування вологи всередині ґрунту під впливом кристалізації. В теплу пору року динаміка запасів продуктивної вологи в першу чергу залежить від кількості та розподілу опадів у часі, від температурного режиму, стану поверхні ґрунту, міри розвитку рослин та їх виду, глибини залягання ґрунтових вод. Швидкість витрат води влітку впродовж вегетаційного періоду рослин дуже змінюється. Величина змін залежить від ґрунтово-кліматичної зони, рельєфу, виду сільськогосподарських культур та стану їх розвитку. В кожній ґрунтово-кліматичній зоні тип річної зміни запасів продуктивної вологи свій.

7.4 Визначення запасів продуктивної вологи

Роль ґрунтової вологи у житті рослин важко переоцінити. Волога потрібна рослинам протягом усього їхнього життя. У різні періоди вегетації для нормального росту та розвитку рослинний організм потребує різну кількість ґрунтової вологи та використовує її з різних шарів ґрунту.

На рослину однаково несприятливо впливає як нестача, так і надлишок ґрунтової вологи. Через це вологість ґрунту часто є вирішальним фактором отримання врожаю. Крім цього, присутність вологи у верхньому шарі ґрунту повністю визначає умови обробки ґрунту та впливає на проведення інших видів сільськогосподарських робіт.

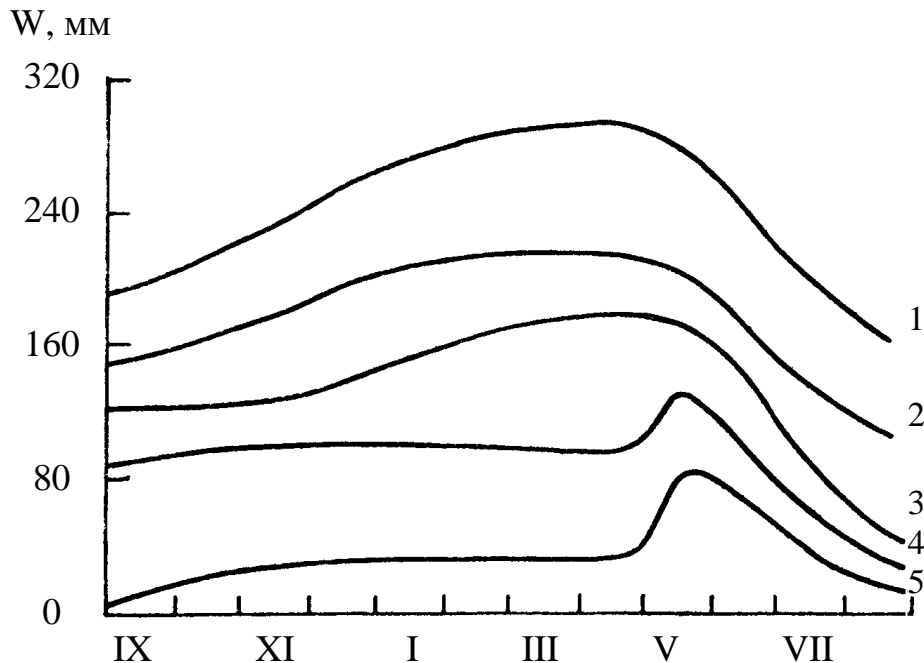


Рис. 7.1 – Типи річного ходу запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту під озимими культурами, посіяними по чорному пару (С.А. Веріго, Л.О. Разумова).
 Типи: 1 – обводнення; 2 – капілярного зволоження; 3 – повного весняного промочування; 4 – слабого весняного промочування в посушливих районах; 5 – слабого весняного промочування в сильно посушливих районах.

Таким чином, вологозабезпеченість рослин, а також можливість та якість проведення сільськогосподарських робіт залежить від вмісту вологи у ґрунті, який буває неоднаковий по території та безупинно змінюється з часом. Тому треба систематично його враховувати. Це досягається регулярними спостереженнями.

У системі Держкомгидромету кількість вологи, яка міститься в ґрунті, визначають за масою води, що випаровується внаслідок висушування відібраних у полі зразків ґрунту. Для сушки ґрунту використовують електричні шафи з терморегуляторами. Висушування ґрунтових проб, які розташовуються у спеціальних алюмінієвих стаканчиках, проводять при

температурі 100-105°C до постійної маси. Це дозволяє вилучити з ґрунту і зв'язану вологу. Зважують ґрунт на технічних вагах (механічних або електричних) з точністю до 0,1 г. Отже, до величини вологості ґрунту входить сума ґрунтової вологи усіх категорій, як доступної, так і недоступної для рослин.

Вміст вологи у ґрунті не залишається постійним. Він змінюється у часі та у просторі в залежності від метеорологічних факторів, типу ґрунту, рельєфу, виду, віку рослин та ін. Спостереження за вологістю ґрунту проводять регулярно, у теплий період року кожен декаду, по восьмих днях у чотирикратній повторності до глибини 1,0 – 1,5 м, відбираючи зразки ґрунту через кожні 10 см. Для отримання зразків використовують ґрунтовий бур АМ – 26М, а при його відсутності – АМ – 26.

Записують результати спостережень за вологістю ґрунту у книжку КСГ–3. У цій же книжці виконують первинну обробку даних спостережень, розраховують процент вологості у кожному шарі ґрунту окремо по повторностях.

Вологість ґрунту у відсотках ($W\%$) розраховують як відношення різниці маси зразку ґрунту до сушки ($M_{\text{вол}}$) та після неї (M_c) до маси абсолютно сухої наважки (M_c)

$$W\% = \frac{M_{\text{вол}} - M_c}{M_c} \cdot 100, \quad (7.2)$$

де $M_{\text{вол}}$, M_c – маса зразків до висушування і після, г.

Вологість ґрунту розраховують з точністю до 0,1 %.

Якщо з будь-якої причини дані проби випадають, їх треба доповнити до розрахунку середнього проценту. Процент вологості ґрунту пропущеної глибини розраховують як середнє з даних вищої та нижчої глибини конкретної повторності.

Для прискорення розрахунків можна використовувати "Таблиці для розрахунку вологості ґрунту". Вологість ґрунту по таблицях Овчинникова отримують за масою води, що випаровується, та масою абсолютно сухого ґрунту. Таблиці Кривошликова дозволяють визначити вологість ґрунту за масою сухого та вологого зразку, не розраховуючи масу води, що випаровується.

Результати спостережень за вологістю ґрунту проходять технічний контроль. Середні (з чотирьох) значення вологості по кожному шару ґрунту є вихідною інформацією для розрахунку запасів продуктивної вологи.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті за міжфазні періоди розраховуються так, як середнє з усіх строків спостережень за вологістю ґрунту за період між настанням двох суміжних фаз.

У тих випадках, коли початок та кінець міжфазного періоду не співпадають зі строками взяття проб, до підрахунків включаються чинні спостереження за усі строки, починаючи і закінчуючи визначеннями у дати, найближчі до дат масового наступу фаз.

Наприклад: вихід у трубку озимої пшениці 31.V, фаза колосіння – 26.V, середні запаси вологи за період „вихід в трубку – колосіння” визначаються за даними визначення вологості ґрунту, які проводились 28.V – (121 мм), 8.VI – (106 мм), 18.VI – (89 мм) та 28.VI – (84 мм). Вони становлять:

$$\bar{W} = \frac{121 + 106 + 89 + 84}{4} = \frac{400}{4} = 100 \text{ мм}$$

Контрольні питання

- 1. Перелічіть основні властивості ґрунтової вологи. Які ви знаєте категорії ґрунтової вологи?*
- 2. Якими величинами характеризуються агрогідрологічні властивості ґрунтів? Дайте їх визначення.*
- 3. Що називається продуктивною вологою та її значення для сільськогосподарських культур?*
- 4. Охарактеризуйте закон про критичні періоди в житті сільськогосподарських культурно відношенню до вологи.*
- 5. Як впливає вологість ґрунту на роботу сільськогосподарських машин?*
- 6. Як впливає вологість ґрунту на ефективність внесення мінеральних добрив?*
- 7. Що таке « водний баланс» та як він розраховується?*
- 8. Які ви знаєте методи регулювання водного режиму ґрунтів?.*
- 9. Охарактеризуйте типи річного ходу запасів продуктивної вологи.*
- 10. Які ви знаєте методи визначення запасів продуктивної вологи?*

8. НЕСПРИЯТЛИВІ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ЯВИЩА

Екстремальні агрометеорологічні умови для життєдіяльності рослин – поняття біокліматичні, оскільки їх розглядають по реакції рослин на те чи інше явище.

Метеорологічне явище є небезпечним, якщо при його утворенні необхідно приймати спеціальні заходи для зменшення або повної ліквідації збитків у будь-якій галузі народного господарства.

До небезпечних для сільського господарства явищ належать: у теплу пору року посухи, суховії, приморозки, пилові буревії, град; взимку – сильні морози, ожеледиця, малосніжні зими і зими з надто товстим сніговим покривом, льодова кірка та ін.

8.1 Засухи і суховії

Із небезпечних явищ погоди посухи наносять найбільші збитки сільському господарству країни, оскільки більша частина посівних площ сільськогосподарських культур розташована у зонах нестійкого та недостатнього зволоження.

Засухою називається агрометеорологічне явище, яке викликає різку невідповідність між потребою рослин у воді та її надходженням із ґрунту внаслідок малої кількості опадів і підвищеної випаровуваності, а це в свою чергу викликає порушення водопостачання рослин. Відрізняють три типи посух: атмосферну, ґрунтову і загальну.

Атмосферна засуха спостерігається перед ґрунтовою і головною її ознакою є стійка антициклональна погода з нетривалими дощовими періодами, високою температурою і великою сухістю повітря.

Ґрунтова засуха виникає як наслідок атмосферної, коли через значне випаровування різко зменшуються запаси продуктивної вологи.

Найбільш частим супутником посух є суховії, хоча вони можуть виникати і без наявності посух.

Суховійним називається день з температурою повітря вище 25 °С, відносною вологістю повітря більше 17 гПа та швидкістю вітру більше 5 м/с. При суховіях найчастіше спостерігаються напрями вітру – східний, південно – східний, інколи – південний.

Під час засух і суховіїв спостерігається швидке обезводнення тканин рослин, яке викликає порушення фізіологічних процесів: фотосинтезу, дихання, вуглецевого і білкового обміну, що призводить до значного скорочення фотосинтетичної діяльності, пригнічення ростових процесів і ін.

Виникнення засух і суховіїв пов'язано з потужними атмосферними процесами, що обумовлюють антициклональну погоду. Повітряні маси

антициклонів мають велику прозорість і малу вологість повітря, що рухається вниз.

На Європейську частину СНД антициклони надходять з Арктики (Ісландські) або океанів (Азорські, Гонолульські) і рідко із Сибіру (Азійські).

Особливо жорстокі і тривалі посухи спостерігаються в роки збігу Ісландських і Азорських антициклонів (засуха 2003 р.)

За часом виникнення засухи бувають: весняні, літні, осінні.

Весняні посухи характеризуються високими температурами, низькою відносною вологістю. Вони викликають швидке висушування ґрунту, що призводить до затримки появи сходів, зрідженості посівів, поганого приживання розсади.

За літньої засухи з високими температурами, низькою вологістю повітря, значним випаровуванням спостерігається різке порушення водного споживання, що викликає зменшення врожаю.

Осіння засуха виникає на загальному фоні зниження температури і малої вологості повітря. Вона буває після збирання зернових і шкодить найбільше посівам озимих культур. В південних районах СНД у випадку осінніх засух сівбу озимини взагалі не проводять.

За даними О.В. Процорова на Європейській частині СНД весняні засухи повторюються у 42 % років, літні – 33 %, осінні – 25 %.

Найбільш значного збитку завдають осінньо – весняно – літні засухи, які охоплюють великі території. Окрім зменшення врожаю, засухи викликають значну кількість лісних пожеж і пожеж на торфовищах.

Засухи за інтенсивністю бувають *слабкими, середніми, сильними і дуже сильними*.

8.1.1 Агрометеорологічні показники засух і суховіїв

Складність і багатогранність засух і суховіїв викликала різноманітність визначення і розробку кількісних показників. Але всі вони мають в основі ідею, яку виказав В.В. Докучаєв, що для характеристики засушливості необхідно співставляти опади з випаровуваністю.

П.І. Колосков запропонував показник зволоженості:

$$V = K \frac{P}{E - e}, \quad (8.1)$$

де P – опади, мм ;

E – тиск насичення за даної температури;

e – фактичний тиск водяної пари; K - коефіцієнт пропорційності.

В.Г. Нестеров запропонував визначити посушливість за особливим показником K :

$$K_H = \sum td, \quad (8.2)$$

де t – температура повітря о 13 год, $^{\circ}\text{C}$;

d – нестача насичення повітря вологою о 13 год, гПа.

Цей показник розраховують за даними в останній день дощу. Посуха починається, коли $K_H = 4000 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{гПа}$.

Н.В. Бова запропонував визначати початок посухи за показником посушливості:

$$K_B = 10(W_{np} + P) / \sum t, \quad (8.3)$$

де W_{np} – запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-100 см навесні, мм;

P – сума опадів з весни до початку розрахунку;

t – сума температур від дати переходу через 0°C до початку посухи, $^{\circ}\text{C}$;

Початок посухи буде, коли K_B зменшиться до $1,5 \text{ мм}^{\circ}\text{C}$. Недоліком цього показника є те, що він не враховує зволоження орного шару ґрунту і має невизначений момент розрахунку.

Г.Т. Селянінов для південно-східної частини ЄЧ СНД запропонував гідротермічний коефіцієнт для оцінки посухи (табл. 8.1)

$$ГТК = \frac{\sum P}{0.1 \sum t}, \quad (8.4)$$

де P – місячна сума опадів, мм;

t – сума температур за місяць, $^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 8.1– Оцінка посушливості по ГТК для південно-східних районів ЄЧ СНД

Посуха	ГТК	Посуха	ГТК
Слабка	0.9.....0.6	Сильна	0.5....0.4
Середня	0.6.....0.5	Дуже сильна	< 0.4

Але за ГТК можливо давати оцінку тільки атмосферним засухам.

Для оцінки атмосферно – ґрунтових засух Є.С. Улановою було запропоновано коефіцієнт зволоження:

$$K_y = \frac{W_{np} + P_{V...VI}}{0,01 \sum t_{V...VI}}, \quad (8.5)$$

де W_{np} – запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-100 см під час стійкого переходу температури повітря через 5 °С навесні, мм ;

$P_{V...VI}$ – сума опадів за травень-червень, мм ;

$\sum tv_{...VI}$ – сума температур за травень-червень, °С .

Якщо $K_y < 15$ – дуже сильна посуха, $15 \leq K_y \leq 20$ – сильна посуха, $20 \leq K_y \leq 25$ – середня посуха.

Важливим показником засух є запаси продуктивної вологи.

М.С. Кулик запропонував за початок посухи приймати зменшення запасів вологи у орному шарі до 19 мм, а до 9 мм – початком сухого періоду. Якщо в період кушіння – молочна стиглість спостерігаються 3 сухі декади – середня посуха, якщо 4 – 5 декад – сильна посуха. Якщо ж три сухі декади почались при $W_{0-100} < 60$ мм, то посуха сильна, 4 – 5 – дуже сильна.

Суховії. Пошкодження посівів суховіями значною мірою залежить від інтенсивності і тривалості цього явища. Як і посухи, суховії бувають слабкими, середніми, сильними і дуже сильними.

Серед величезної кількості показників суховійності найбільш поширеним є значення нестачі насичення повітря вологою, запропонований Є.О. Цубербілер. Температура повітря і швидкість вітру посилюють суховійність дня. Дослідженнями Є.О. Цубербілер встановлено, що пошкодження рослин суховіями мають той же характер, що і при посухах. За показник суховійності взято значення евапорометричного коефіцієнта:

$$K_e = \frac{I_{\phi}}{I_{cm}} , \quad (8.6)$$

де I_{ϕ} – фактичне випаровування з поверхні поля, мм;

I_{cm} – випаровування із стандартної водної поверхні, яке розраховується за формулою Меєра-Тихомирова:

$$I_{cm} = 0,012D , \quad (8.7)$$

де D - дефіцит тиску водяної пари, гПа;

Є.О. Цубербілер визначено міру пошкодження рослин за різних значень випаровуваності, K_e – нестачі насичення повітря вологою і запасів продуктивної вологи у різних шарах ґрунту (табл. 8.2) – агрометеорологічні категорії пошкоджень зернових культур суховіями (за Є.О. Цубербілер).

Міра небезпечності засух і суховіїв залежить в першу чергу від засухостійкості різних видів і сортів рослин. Найбільш негативно

впливають засухи і суховії на ярі зернові культури. За даними Л.Е. Пасечнюк і В.О. Сеннікова посушливі умови несприятливо впливають на формування висоти стеблостою і продуктивну куцистість. Встановлена залежність висоти ярих зернових і формування продуктивності від кількості днів з суховіями.

Нестача вологи на початку фази виходу в трубку і в наступні декади викликає збільшення кількості безплідних квіток і колосків.

В цілому відрізняють два типи пошкоджень від суховіїв: захват – пошкодження від обезводнення та запал – пошкодження від перегріву.

Найбільше зменшення врожаю зерна і його якості спостерігаються в тих випадках, коли суховії, особливо інтенсивні, діють на фоні сильної і тривалої ґрунтової засухи.

У різних регіонах кількість суховійних днів різна. Найбільше їх у степовій зоні – 15 – 40 %.

Імовірність можливої кількості днів з суховіями визначається за номограмою при відомій середній багаторічній кількості днів з суховіями (рис. 8.1)

В практиці сільськогосподарського виробництва вживають різні заходи для боротьби з посухами і суховіями. Всі вони спрямовані на зменшення або усунення невідповідності між потребою рослин у воді і фактичною вологозабезпеченістю посівів за допомогою агротехнічних заходів, зрошення, снігозатримання, полезахисного лісоведення, змін строків сівби і т. ін. Особливо ефективно – виведення посухостійких сортів, розміщення посівів з врахуванням агрокліматичних і мікрокліматичних особливостей.

Підвищення загальної культури землеробства є ефективним засобом боротьби з посухами і суховіями.

Приклади розрахунку показників засушливих умов і суховійних днів.

1. Розрахувати можливість виникнення посушливих умов для зернових культур, якщо запаси продуктивної вологи становлять $W = 26$ мм, сума опадів у травні та червні складає $\sum P_{v-vl} - 31$ мм, сума температур за травень і червень складає $\sum T_{v-vl} - 303$ °С. Розрахунок виконується за формулою (8.5).

$$K_y = 26,0 + 32 / 0,01 \cdot 303 = 18,8$$

Це показник сильної засухи.

2. Розрахувати оцінку засушливих умов для зернових культур, якщо від сходів до колосіння $P = 25$ мм, $t = 940$ °С, кількість засушливих

Таблиця 8.2 – Агрометеорологічні показники суховіїв та ступінь пошкодження ними зернових культур (за Є.О. Цубербілер, 1966)

Суховії	Випаровуваність, мм/доб	Дефіцит насичення водяної пари (гПа) о 13 год. при швидкості вітру, м/с		Запаси продуктивної вологи (мм) в різних шарах (см)			Евапо-рометричний коефіцієнт, К	Характеристика ступеня пошкодження рослин
		<10	≥10	0...10	0...50	0...100		
Слабкі	3...5	20 ...32	13...27	≤20	≤50	≤80	0,5...0,4	Легке зниження тургору.
Середньої інтенсивності	5...6	33...39	28...32	≤10	≤30	≤50	0,3	Значне зниження тургору листя, його скручування, пожовтіння, підсихання. Захват зерна через 3 – 5 діб.
Інтенсивні	6...8	40...52	33...45	≤10	–	≤30	0,2...0,1	Сильне в'янення та усихання вегетативної маси, захват зерна через 2 – 3 доби.
Дуже інтенсивні	>	≥53	≥46	0	–	≤30	0,2...0,1	Швидке та сильне пошкодження вегетативної маси, захват зерна через 1 – 2 доби.



Рис. 8.1 – Номограма сумарної імовірності можливої кількості днів з суховіями в залежності від середньої багаторічної їх кількості за період квітень-вересень на ЄЧ СНД. (за В.О. Селяніновим і Л.Е. Пасечнюк)

засушливих декад – 5, середня багаторічна кількість опадів за цей період становить 90 мм:

а) розраховується ГТК = $25 / 0,1 \cdot 940 + 0,27$;

б) розраховується сума опадів в поточному році у % від середньої багаторічної: сума опадів від середньої багаторічної становить 28 %.

в) з табл. 8.2 визначається інтенсивність засухи: дуже сильна.

3. Скласти оцінку засушливих умов в період кушіння – молочна стиглість зернових за методом М.С. Кулика, якщо запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту складають

0 -20 см	травень			Червень			липень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	21	18	15	20	15	8	6	9	3

Кушіння – 11 травня ; молочна стиглість – 16 липня. За період кушіння – молочна стиглість спостерігається 3 засушливих декади, 3 сухих декади. Це показники сильної засухи.

4. Розрахувати кількість суховійних днів у червні (1 декада) та скласти оцінку умов суховійності за методом І.А. Цубербіллер. Розрахунки виконати в робочій таблиці.

Метеорологічні елементи	Числа місяця									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дефіцит насичення (d), мм	5	7	10	11	13	20	26	25	21	10
Запаси прод. вологи W_{0-20} , W_{0-100}	30	28	26	20	16	10	8	7	8	13
Випаровуваність, мм	3	3	4	5	6	6	7	6	6	5
Швидкість вітру, м/сек.	-	3	3	5	5	7	7	9	5	5

Аналіз таблиці показав, що 1, 2, 3, 4 червня суховіїв не було, 5, 6 червня – слабкий суховій, 6 – суховій середньої інтенсивності, 7, 8, 9 червня – інтенсивний суховій.

8.2 Сильні зливи і град

Сильні зливи і град випадають з потужних купчасто-дощових хмар. Тому вони, зазвичай, охоплюють порівняно невеликі площі. За таких дощів за добу може випасти 80 – 100мм або і річна норма. Тому вони наносять значний збиток сільському господарству. Особливо великі збитки завдають сильні зливи разом з градом.

Град утворюється внаслідок підняття потужними потоками повітря великих дощових крапель у верхню частину хмари, де вони замерзають і утворюють зародки градин, які швидко збільшуються. Градини зростають до тих пір, доки швидкість їх падіння перевищуватиме швидкість потоку повітря, що підіймається, після чого вони падають.

Град випадає смугами шириною 3 – 5 км та довжиною 15 – 20 км. Рідко, але ці параметри можуть значно збільшуватись. Тривалість випадання граду залежить від потужності купчасто – дощових хмар і градового осередку. Град зриває листя, ламає дрібні гілки і пагони, обдирає кору, руйнує поверхні плодів і ягід, вибиває зерна з колосків, викликає сильне полягання зернових культур тощо. Збитки, нанесені градом, залежать від розміру градин, їх маси, форм та щільності, а також від фази розвитку рослин, пошкоджених градом.

Дотепер міру пошкодження градом рослин зіставляють з двома чинниками: кількістю градин з діаметром вище критичного та сумарною кінетичною енергією градин на 1 м². Критичний розмір градин встановлено С. Чангномом. Він становить 6,4 мм. Якщо кінетична енергія (U) градин перевищує значення $U = 150 \text{ Дж/м}^2$, то гине весь врожай, якщо $U = 50 \text{ Дж/м}^2$, то гине 25 % рослин. Як встановлено, найбільше значення U за час одного градопаду може сягати $2 \cdot 10^3$ або $2 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^2$.

Град буває супутником сильних злив. Але останні частіше спостерігаються й без граду. Інтенсивні зливи з сильним вітром викликають полягання посівів зернових культур на 20 – 30% посівної площі, інколи – на 80%. Поляганню посівів сприяють: розрідження ґрунту при сильних зливах, злам соломини через невідповідність між динамічними навантаженнями на нижню частину соломини та її міцністю, тиском дощу, вітру і граду тощо.

Під поляганням стеблостою розуміють такий його стан, коли під впливом несприятливих явищ погоди (дощ, вітер, мокрий сніг і т.ін.), що механічно впливають на рослини, стеблостій в тій чи іншій мірі нахиляється до землі і не повертається у вертикальне положення відразу ж після припинення дії цих явищ. На гідрометеорологічних станціях відмічається площа з полеглими посівами у відсотках від загальної площі поля. Крім цього, також визначається інтенсивність полягання.

Інтенсивність полягання оцінюється у балах за шкалою:

- 5 балів – полягання відсутнє;
- 4 бали – слабе полягання, місцями (не більше 30 % площі поля);
- 3 бали – середнє полягання, не заважає машинному збиранню хлібів (31–60 %);
- 2 бали – сильне полягання, яке ускладнює збирання хлібів (більше 61 % площі поля);
- 1 бал – дуже сильне полягання, посіви не придатні до збирання.

Стійкість рослин до полягання знаходиться у прямій залежності від середньої температури повітря, амплітуди температури повітря, нестачі насичення повітря вологою та у зворотній залежності – від кількості опадів, кількості днів з опадами, гідротермічного коефіцієнту Г.Т. Селянінова. Найменшу стійкість стеблостою до полягання мають зернові культури в роки з підвищеною вологозабезпеченістю та зниженим температурним режимом.

Інтенсивність полягання посівів залежить від декількох факторів: фази розвитку рослин, гущини посівів, висоти рослин, сортових відзнак, агрометеорологічних умов та агротехнічних заходів.

За показник стійкості рослин до полягання беруть висоту рослин та густоту стеблостою бо інші параметри в полі не визначаються або визначаються дуже рідко.

Дослідженнями встановлено, що якщо у фазі вихід у трубку у озимої пшениці кількість стебел не перевищувала 600 на один м², а у ярого ячменю – 700, то рослини не полягають або полягають слабо. Збільшення гущини посівів збільшує імовірність полягання. Значно полягають посіви при гущині більше 1300 стебел на м²

О.Д. Пасечнюк встановив, що внаслідок полягання посівів відбувається перерозподіл біомаси посівів за вертикальним профілем та зміна фітометричних умов. Найбільша частина біомаси зміщується до поверхні ґрунту, а колосся розміщується в усіх шарах посіву. Щільність зеленої біомаси збільшується, через те погіршується розподіл сонячної радіації, зменшується турбулентний обмін та фотосинтез. Це викликає погіршення умов наливу зерна, а також ускладнює збирання хлібів і збільшує втрати врожаю.

Сильні зливи або тривалі облогові дощі викликають стікання зерна (вимивання з нього пластичних речовин) та проростання зерна, як у стеблостої, так і у валках.

Полягання посівів виникає в роки з підвищеною вологозабезпеченістю посівів і зменшеним температурним режимом. Це сприяє підвищеній куцистості рослин і слабкому відмиранню стебел, що формує густий стеблостій.

За показники стійкості рослин до полягання О.Д. Пасечнюк [36] запропонував висоту рослин на період колосіння, густоту рослин і запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0 – 50 см. Встановлено, якщо на колосіння висота рослин менше 70 см, запаси продуктивної вологи менше 60 мм, а густина становить не більше 700 стебел на 1м², то полягання не буде. Розрахована імовірність полягання зернових за різних значень гущини стеблостою (табл. 8.3). Інтенсивність полягання оцінюється в балах за шкалою: 5 балів – полягання не буде, 4 бали – слабе полягання місцями (не більше 30% площі), 3 бали – середнє полягання, не заважає машинному збиранню хлібів (31-60 %), 2 бали – сильне полягання, яке ускладнює збирання хлібів (більше 60% поля), 1 бал – сильне полягання, посіви не придатні до збирання комбайнами.

На втрати врожаю від полягання впливає не тільки міра полягання посівів, але і строки початку полягання. За раннього полягання (вихід у трубку) зменшується продуктивна куцистість і кількість зерен у колосі. У випадку пізнього полягання (після молочної стиглості) величина втрат врожаю визначається тільки зменшенням абсолютної маси зерна.

Таблиця 8.3 - Імовірність(%) полягання посівів зернових культур за різної густоти стеблостою

Кількість стебел на 1м ²	Відсутність вилягання	Міра вилягання		
		Слабка	Середня	сильна
Озима пшениця				
<500	82	18	–	–
501-700	60	34	5	1
701-1000	50	22	14	14
1001-1300	45	24	17	17
>1300	10	11	34	45
Ячмінь				
<700	57	43	-	-
701-900	29	40	19	12
901-1100	12	16	23	49
1101- 1300	14	14	14	58
>1301	14	0	0	86

Щорічно збитки від граду та сильних злив у світі становлять близько 2 млрд. доларів. Левова частка збитків – це збитки в сільському господарстві. Тому у всьому світі розробляються різні методи боротьби з потужною купчасто-дощовою хмарністю та процесами, що утворюють град.

Основою методів боротьби є запобігання процесу утворення великих градин шляхом засіву градових хмар реагентами утворюючими лід. Ядро градових хмар визначають за допомогою локаторів. Реагенти, утворюючі лід, надсилають зенітними пушками або протиградовими комплексами типу „Облако-М”, ПТН-М, „Алазань 2М”.

У центральних районах нечорноземної зони ЄЧ СНД міжфазний період від виходу у трубку до цвітіння має тривалість приблизно місяць (третя декада травня та дві декади червня). Тому за критичний період приймається період від 21 травня по 20 червня і полягання розраховується за середньою температурою повітря за цей період без розрахунку дати цвітіння.

Приклад розрахунку імовірності полягання зернових культур наводиться в таблиці на рис. 8.2.

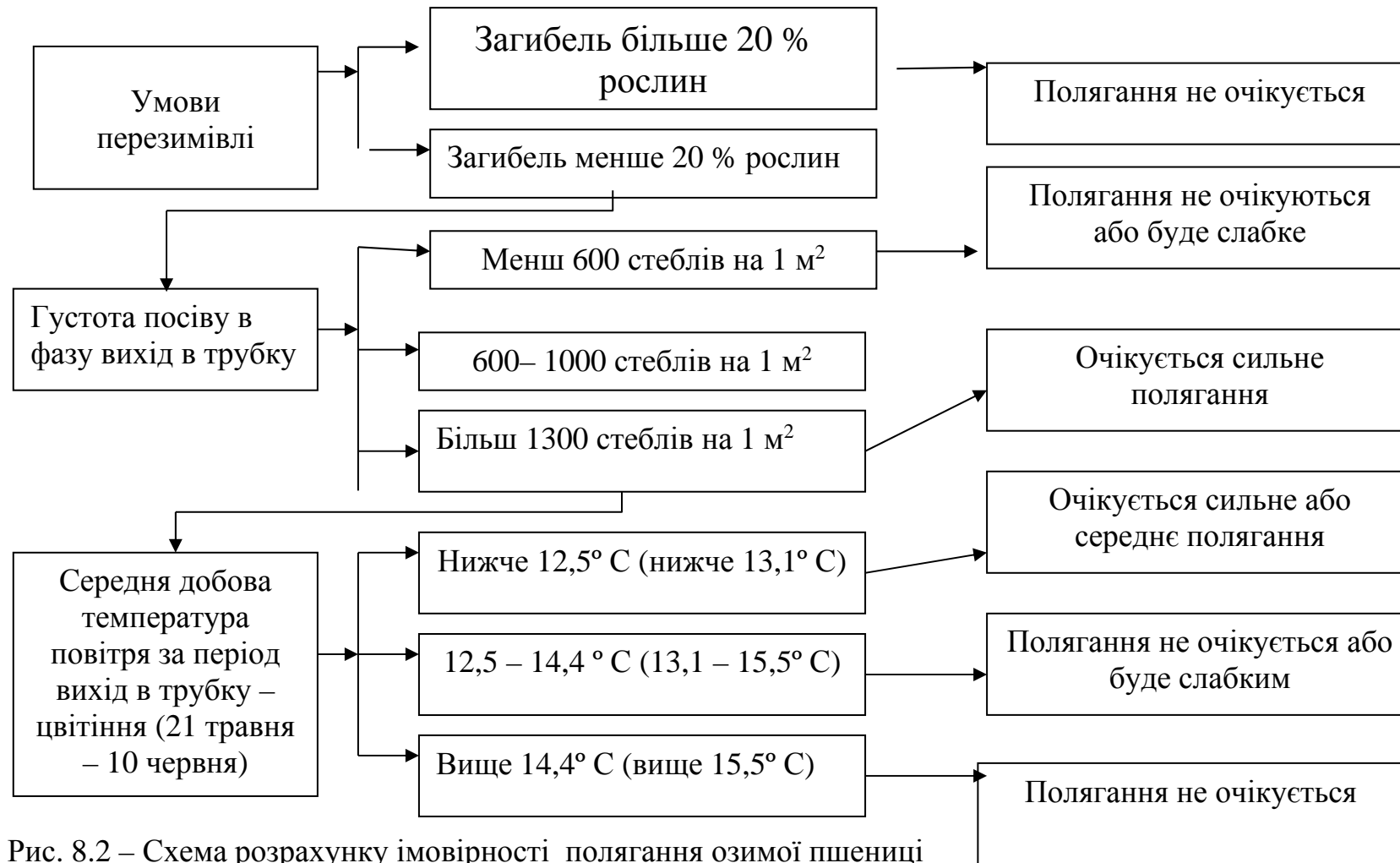


Рис. 8.2 – Схема розрахунку імовірності полягання озимої пшениці

8.3 Ерозія ґрунтів

До несприятливих явищ природи відноситься також ерозія ґрунтів. Ерозія ґрунтів або дефляція ґрунтів – це процес руйнування і переміщення часточок ґрунту під впливом води і вітру. Відрізняють водну і ґрунтову ерозію ґрунту.

Водна ерозія – це руйнування часточок ґрунту внаслідок інтенсивного дощу або зрошення. Рівнем інтенсивності водної ерозії визначається міра її впливу на ґрунти. По-перше, краплі дощу ущільнюють поверхню ґрунту, а це, в свою чергу, погіршує умови вирощування рослин. По-друге, краплі руйнують орний шар ґрунту, що призводить до змивання ґрунту. Потoki води при сильному дощу викликають утворення рівчаків, канав, байраків, внаслідок чого зменшуються площі поля, придатні для сільськогосподарського виробництва. Розбризкування часточок ґрунту краплями дощу викликає попадання його на рослини, внаслідок чого збільшується кількість хворих рослин, а це, в свою чергу, зменшує врожай і погіршує його якість, особливо трав. Водна ерозія поділяється на: ерозію розбризкування, поверхневого змивання, струмкову, байрачну, руслову і підземну. Джерелом енергії для усіх видів ерозії є кінетична і потенційна енергія атмосферних опадів.

Кожному типу ґрунтів відповідає свій характер ерозійного процесу. Найменш стійкі проти ерозії ґрунти степу. Більш стійкі – структурні чорноземи. Водна ерозія також більше проявляється на ущільнених лесоподібних породах і менше – на моренних суглинках і інших водопроникних породах.

Розвиткові водної ерозії сприяє оранка і рядкова сівба вздовж схилів, а також оранка крутих (більше 10 – 15°) схилів, бровок улоговин, балок, не спланована вирубка лісів і чагарників, освоєння піщаних цілининних та перелогових земель.

Так, непланомірне освоєння земель у Північному Казахстані призвело до загибелі від ерозії 18 млн. га освоєних земель.

Процес руйнування ґрунтів та ґрунтових порід під впливом тимчасових водних потоків, що супроводжується порушенням ґрунту, переносом та відкладанням дрібнозему, являє собою сутність водної ерозії.

За генезисом тимчасових водних потоків, що спричинюють змив та розмив ґрунту, виділяють такі типи ерозії: ерозія від дощових та зливових опадів, ерозія від стоку талих вод, змішана ерозія, тобто обумовлена як опадами, так і сніготаненням. У поліській зоні переважає ерозія від стоку талих вод, у степовій — від стоку зливових вод, а в лісостеповій проявляються обидва ці типи.

Залежно від характеру дії на ґрунт стічної води виділяють два підтипи водної ерозії: *площинний змив* ґрунту та *лінійний розмив* (яружна ерозія) (рис. 8.3).

Площинна ерозія проявляється у поступовому, віддально непомітному, більш-менш рівномірному видаленню з поверхні схилу дрібнозему ґрунту під дією потоків води. Яскраво вираженою формою прояву поверхневої ерозії є мілкі струмочкові розмиви і стрічкові змиви, що призводять до утворення слабо-, середню- та сильнозмитих ґрунтів.

При лінійній ерозії відбуваються концентрування стоку і розмив ґрунту у вертикальному напрямку. Внаслідок розмиву поверхні виникає промивина, яка при подальшому надходженні води з водозбірної площі перетворюється на яр. Межа переходу площинної ерозії в лінійну досить умовна: вважається, що якщо сліди ерозії на полі вдається зарівняти обробитком ґрунту, то це — площинна ерозія, а якщо не вдається – то лінійна.

Кількісну оцінку процесів ерозії здійснюють за інтенсивністю втрат ґрунту з одиниці площі за одиницю часу, тобто в т/га за рік або мм/рік. В таких же одиницях вимірюється і швидкість процесів ґрунтоутворення. Порівнюючи між собою інтенсивність втрат ґрунту зі швидкістю ґрунтоутворення, можна судити про міру небезпеки водної ерозії. Цілком зрозуміло, що якщо інтенсивність ерозійних процесів нижча, ніж швидкість ґрунтоутворення, то ерозія для даного ґрунту не є небезпечною.

Таке уявлення про ерозію покладено в основу поділу її на нормальну та прискорену. *Нормальна (геологічна) ерозія* відбувається під природною рослинністю, не зміненою дією людини (цілинні степи, ліси, луки та ін.).

До *природних чинників* утворення осередків ерозії належать такі.

- *Рельєф місцевості*. Цей чинник впливає на розподіл опадів. Чим крупніші форми рельєфу, тим більша небезпека прояву ерозії. Ерозійна енергія рельєфу залежить від глибини місцевого базису ерозії.

- *Форма поверхні схилів*. Визначається двома основними профілями схилів: поздовжнім і поперечним. Є такі форми поздовжніх та поперечних профілів: а) опуклий; б) увігнутий; в) прямий.

- *Експозиція схилів*. Впливає на інтенсивність ерозії через перерозподіл тепла та опадів, які, в свою чергу, впливають на ґрунтозахисну ефективність рослинності. Схили південних експозицій прогріваються сильніше. На них швидко протікає весняне сніготанення, що підсилює ерозію. Підвищена температура влітку погіршує умови росту і розвитку рослин, що також збільшує інтенсивність ерозії.

Спостерігається вже при силі дощу 1-1,3, а якщо вона зростає до 5-7, то відбуваються сильний змив і розмив ґрунту (табл. 8.4).

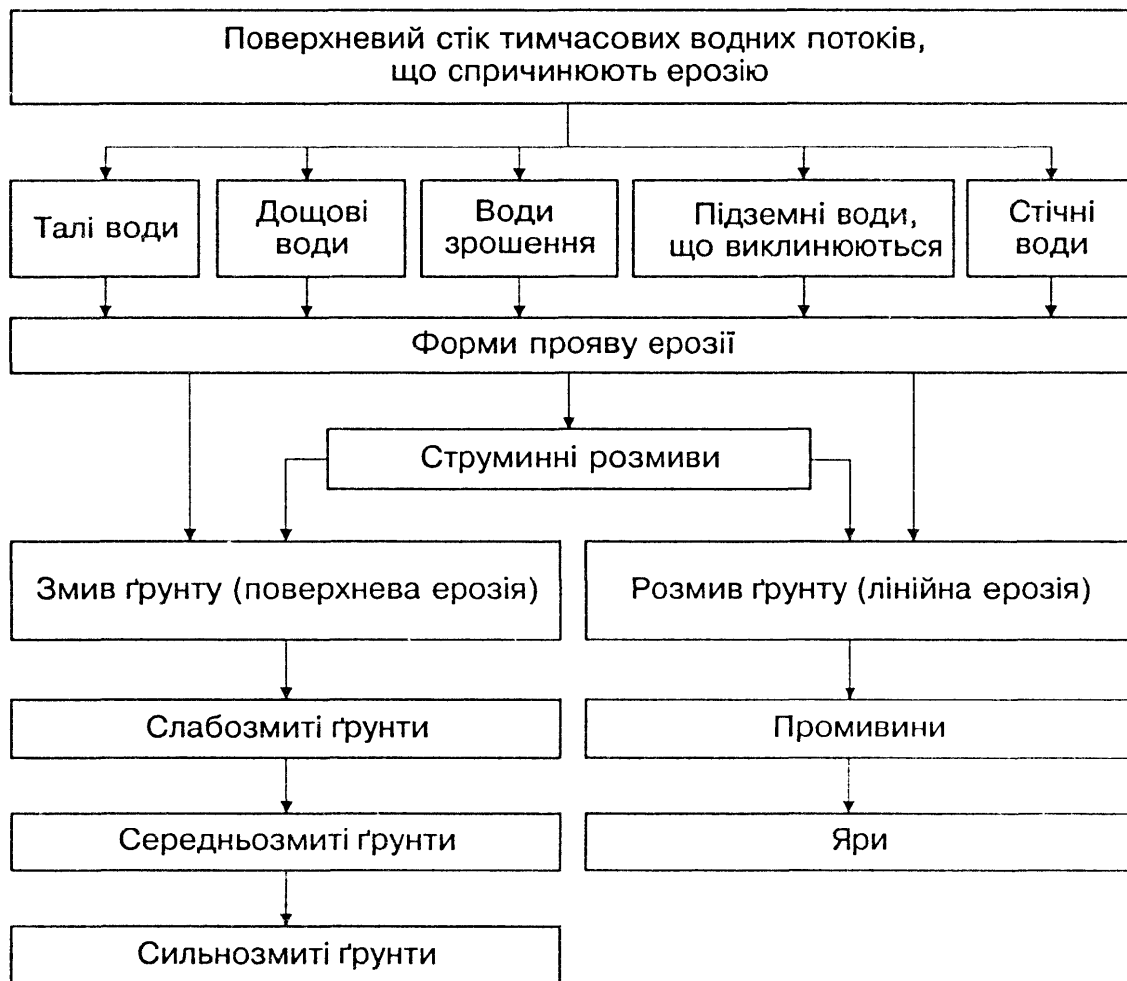


Рис. 8.3 - Класифікація ерозії ґрунтів (за М. М. Заславським)

Таблиця - 8.4 - Класифікація дощів

Тип	Сила	Післядія
Дрібний	До 1	Стоку немає, можлива невелика точкова ерозія ґрунту
Звичайний	1-3	Слабкий стік, невеликий змив ґрунту
Помірно зливовий	3-5	Стік на схилах, помірний змив ґрунту
Середньозливовий	5-7	На схилах водні потоки, сильні змиви та розмиви ґрунту
Сильнозливовий	7-9	Затоплення заплавних земель, дуже сильні змиви та розмиви ґрунту
Дуже сильна злива	9-12	Повені на малих ріках, надзвичайно сильні змиви та розмиви ґрунту, активізація зсувів

Вітрова ерозія – це процес руйнування ґрунту і видування його вітром. Вітрова ерозія ґрунтів виникає під впливом природних і антропогенних факторів. Інтенсивність її залежить від швидкості вітру, розмірів часток ґрунту та їх сполуки.

Об'єм ґрунту, що переноситься вітром, залежить від швидкості вітру і шорсткості поверхні ґрунту. Критичними швидкостями вітру на висоті 15 см від поверхні ґрунту є: для піщаних та супіщаних ґрунтів – 3 – 4 м/с, суглинків – 4 – 7 м/с, торф'яників 4 – 5 м/с.

Найбільше підлягають дефляції легкі за гранулометричним складом ґрунти – піщані, супіщані і легкі суглинки. Структурність верхнього шару ґрунту є діагностичним чинником його вітростійкості.

На міру вітроерозійних процесів впливає рельєф і мікрорельєф місцевості. Частіше видування спостерігається на верхніх і навітряних частинах схилів. Вітровій ерозії особливо підлягають поля з вирівняним зябом. На вирівняній поверхні поля швидкість вітру на 40% вище, ніж на не вирівняній.

У степовій зоні, напівпустелях і пустелях зони дефляції часом набувають критичних розмірів. Сильні вітри підіймають частки ґрунту до 1,5 – 2 км висоти і переносять їх на відстані від декількох метрів до кількох сот кілометрів. Відстань перенесення залежить від розміру часток, швидкості і тривалості дії вітру. Якщо ерозійний вітер зберігається протягом 24 год. то з 1 га втрачається біля 13 тис.т ґрунту. Сильні тривалі вітри називають *пиловими буревіями*. Такий буревій у 1960 р. на Північному Кавказі на відкритих полях за добу здував до 100...400 т/га ґрунту. Під час пилових буревіїв ґрунт втрачає з кожним сантиметром верхнього шару поживні речовини, а це викликає зменшення врожаїв. Крім того, під час пилових буревіїв відбувається засікання рослин, коли сильно пошкоджується листя і молоді пагони і в полі залишаються тільки рештки стебел. Посіви сильно зріджуються. Втрати врожаю становлять від 1 до 3 ц/га і більше.

Пилові буревії бувають і взимку. Вони небезпечні у районах з нестійкою зимою і відсутністю снігового покриву (південні райони). Середня багаторічна кількість днів з пиловими буревіями змінюється з південного заходу на південний схід (рис. 8.4).

Ступінь дії повітряного потоку на частки ґрунту визначається їх розміром та масою. Мікроагрегати та елементарні ґрунтові частки розміром 0.1—0.5 мм виділяються із штилевого шару та пересуваються стрибками, обертаючись з частотою 200—1000 об/с. Агрегати більшого розміру (0.5—1 мм) перекочуються або ковзають по поверхні ґрунту. Під час руху вони вдаряються один з одним, розбиваються, збільшуючи кількість часток, найбільш агресивних в ерозійному відношенні (розмір від 0.1 до 0.5 мм).

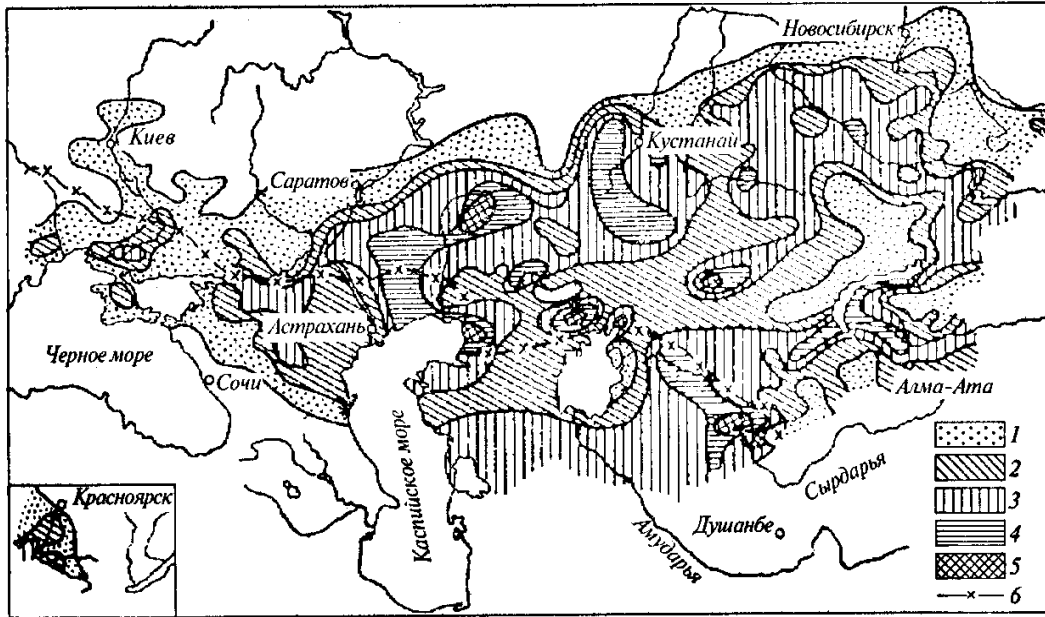


Рис. 8.4 – Середня багаторічна кількість днів з пиловими бурями (за Ю.І. Чирковим). 1 – 1...5; 2 – 6...10; 3 – 11..20; 4 – 20..40; 5 – > 40; 6 – межа стійкого снігового покриву

Частки за розміром менш 0.1 мм, знаходячись у штилевому шарі, не можуть бути відірваними і піднятими вітром. У потік рухомого повітря вони потрапляють виштовхуванням крупнішими рухомими частками. Після підняття в повітря швидкість падіння цих часток стає дуже малою, і вони можуть тривалий час перебувати в завислому стані. В цьому і полягає основна причина перенесення їх на значні відстані.

Початковий рух часток ґрунту здійснюється внаслідок їх підняття під дією сил, що виникають при зростанні швидкості повітряного потоку під час охоплення ним криволінійної поверхні грудочок ґрунту (табл. 8.5).

Під час перекочування частки ґрунту по поверхні її верхня частина рухається значно швидше, ніж вітер, при цьому нижня частина рухається у протилежному напрямі. Оскільки повітря біля поверхні частки обертається разом з нею, вище частки виникає парціальний вакуум, а під ним повітря стискується. Обидві ці зміни тиску намагаються підняти частку, що підстрибує у повітря майже вертикально, але інерція горизонтального руху примушує її підніматися під кутом 75 – 90°. Частки піднімаються на висоту 15 – 30 см, а інколи на 60 і навіть 90 см. З підняттям у повітря обертання навколо осі сповільнюється, і частка надходить у шари зі значно більшою швидкістю вітру.

Таблиця 8.5 – Критична швидкість вітру для ґрунтів лісостепової і степової зон України

Ґрунт	Критична швидкість вітру, м/с	
	В аеро-динамічній трубі, $M \pm m$	На висоті 10 м у вільній атмосфері
Чорнозем типовий середньо суглинковий	7.9±0.15	14.9
Чорнозем звичайний карбонатний легко-глинистий	5.1±0.57	9.6
Чорнозем звичайний важко суглинковий	5.7±0.15	10.8
Дерново-карбонатний середньо суглинковий	4.3±0.9	8.1
Чорнозем солонцюватий супіщаний	4.7±0.12	8.9
Чорнозем південний піщано-середньо-суглинковий	3.8±0.10	7.2
Чорнозем південний важко суглинковий	5.5±0.90	10.4
Чорнозем південний середньо глинистий	5.5±0.84	10.4
Темно-каштановий солонцюватий легко- глинистий	7.3±0.18	13.8
Темно-каштановий солонцюватий піщано-Легкосуглинковий	6.9±0.51	13.0
Темно-каштановий супіщаний	4.8	9.1
Солонець середньо стовпчастий важко-глинистий	5.0	9.4
Солонець кірковий важко глинистий	4.6	8.7
Еоловий дрібний пісок	3.5	6.6

Втративши таким чином вертикальний імпульс, частка переноситься у потоці повітря, поступово повертаючись на поверхню ґрунту по довгій похилій траєкторії і вдаряючись об ґрунт з великою силою.

Найбільш ерозійно небезпечними є фракції розміром від 0.1 до 0.5 мм, тому що їм властивий стрибкоподібний рух у повітряному потоці. Це найактивніша частина механічних часток й агрегатів, що

обумовлює руйнування ґрунту, засікання, видування, засипання та загибель рослин, а також загибель комах, птахів і дрібних диких тварин.

Інтенсивність процесів дефляції істотно залежить і від добової динаміки вітру, його тривалості та поривчастості. Швидкість вітру закономірно змінюється протягом доби: вдень вона зростає досягаючи максимуму опівдні, а надвечір знижується. Чим тривалішим і поривчастішим є вітер з критичною швидкістю, тим більшою мірою руйнується ґрунт (табл. 8.6).

Таблиця 8.6 - Шкала Бофорта

Швидкість вітру		Тип вітру	Дія вітру
м/с	Бали		
0	0	Штиль	Дим піднімається вертикально. Полум'я сірника не відхиляється.
1	1	Тихий	Дим трохи відхиляється в бік. На деревах шелестить листя, полум'я сірника помітно відхиляється
2-3	2	Легкий	Коливаються тонкі гілки дерев, запалений сірник швидко гасне
4-5	3	Слабкий	Поверхня водойм вкривається хвилями
6-8	4	Помірний	Коливається сухе гілля дерев
9-10	5	Свіжий	Коливаються стовбури невеликих дерев. Свистить у вухах
11-13	6	Сильний	Вітер колихає дерева. Гудуть телефонні дроти. На гребнях хвиль з'являються барашки
14-17	7	Різкий	Коливаються стовбури великих дерев. На воді з'являються піністі хвилі
18-20	8	Дуже різкий	Гнуться і ламаються великі дерева
21-26	9	Шторм	Вітер зриває черепицю з дахів, ламає великі дерева
27-31	10	Сильний шторм	Вітер зриває дахи, вириває з корінням дерева
32-36	11	Великий шторм	Вітер звалює телеграфні стовпи, спричинює великі руйнування
Понад 36	12	Ураган	Вітер спричинює катастрофічні руйнування, руйнує будинки, перекидає кам'яні стіни

Швидкість вітру зазнає і сезонних змін. На більшій частині території нашої країни максимальна швидкість вітру характерна для пізньої зими - ранньої весни, тобто період дефляційно небезпечних вітрів збігається з часом, коли поверхня ґрунту на значних площах розпушена, а рослинний покрив на сільськогосподарських угіддях розвинутий недостатньо.

Процеси дефляції на території України охоплюють усі ґрунтово-кліматичні зони, але найчастіше проявляються в степовій зоні. Максимум пилових бур характерний для цієї зони навесні, що обумовлено раннім сніготаненням, інтенсивним підвищенням температури, відсутністю суцільного трав'яного покриву.

Влітку сильні шквалисті вітри тривалістю від 2 до 10-12 годин і більше на півдні та південному сході степової зони виникають під час проходження грозових фронтів. Видування ґрунту взимку відбувається в роки з низькою температурою та недостатнім зволоженням ґрунту з осені, а також при відсутності снігового покриву. Дослідження О.Д. Лаврівського показали, що тривалість дефляційних явищ взимку може досягати 2-3 діб. Середня тривалість пилових бур у степовій зоні України перевищує 10 годин, лісостеповій - 3, поліській - 1 годину. Напрямок вітру визначають тією точкою горизонту звідкіля він дме. З 16 румбів виділяють вісім основних напрямків вітру: північний, північно-східний, східний, південно-східний, південний, південно-західний, західний, північно-західний. Дефляційно небезпечними є ті напрямки, якими вітри дмуть із швидкістю, що перевищує критичні значення.

У степовій зоні України найбільш дефляційно небезпечні вітри дмуть в східному та південно-східному напрямках.

Стійкість ґрунту до ерозійних процесів підвищується низькою заходів і раціональних методів обробки ґрунтів; внесенням переважно органічних добрив, сівбою багаторічних трав, збризкуванням поверхні ґрунтів структуроутворювачами.

Головним у боротьбі з вітровою ерозією є створення лісосмуг поперек домінуючого напрямку вітру. Полезахисні лісосмуги зменшують швидкість вітру, сприяють накопиченню снігу в зимовий період.

У буревійних районах застосовують кулісні пари, на яких високо-стебельні культури (кукурудза, соняшник і ін.) розташовуються також поперек вітру. Взимку проводять снігозатримання за допомогою встановлення поперек вітру спеціальних дерев'яних щитів або залишених з осені високорослих рослин.

8.4 Заморозки

Під *заморозком* розуміють зниження мінімальної температури нижче 0 °С на поверхні ґрунту або травостою на фоні позитивних середніх добових температур повітря. При цьому температура у метеорологічній будці може бути і вище, і нижче 0 °С. Різниця між температурою повітря в метеорологічній будці (на висоті 2 м) і над поверхнею ґрунту (на висоті 2 см) на рівному відкритому місці становить в середньому 3 °С. Це дає можливість оцінювати виникнення заморозку та його інтенсивність над поверхнею ґрунту або травостою за даними спостереження в будці.

На більшій частині території в межах помірної зони існують два чітко обмежені періоди із заморозками – весняний і осінній. Деяка небезпека заморозків для сільськогосподарських культур виникає відразу після початку вегетації і зростає в міру зростання рослин. Осінні заморозки наступають до закінчення вегетаційного періоду. Вони представляють меншу загрозу для сільського господарства, тому що до тієї пори врожай найчастіше вже зібрано.

За характером виникнення розрізняють три типи заморозків: *адвективні*, що виникають внаслідок наступу хвилі холоду і тривають від однієї до декількох діб (найбільш тривалі); *радіаційні* заморозки виникають у тихі ясні ночі внаслідок добового ходу температури на фоні помірно низьких середніх за добу температур; *адвективно-радіаційні* виникають внаслідок вторгнення хвилі холоду і наступного нічного вихолодження за рахунок нічного випромінювання. Вони короткочасні і виникають перед сходом Сонця.

За інтенсивністю заморозки бувають слабкі, коли температура діючої поверхні не буває нижче – 2 °С; середні – температура опускається до 3...-4 °С і заморозок охоплює нижні шари повітря; сильні заморозки – -5 °С і нижче.

Заморозки можуть бути тривалі – більше 12 год., середньої тривалості – 5...12 год. і короткочасні – не більше 5 год.

Найбільш небезпечні для рослин радіаційні заморозки через те, що навесні вони закінчуються за середніх добових температур 5...6 °С, а в більш континентальному кліматі – за середньої температури 10...13 °С, коли більшість культур вже досить активно почали розвиватись.

Слід зазначити, що заморозки на поверхні ґрунту навесні закінчуються пізніше, а восени настають раніше, ніж у повітрі.

Дати закінчення приморозків навесні і настання восени щороку дуже мінливі. Період між останнім заморозком навесні і першим восени називається *беззаморозковим періодом*.

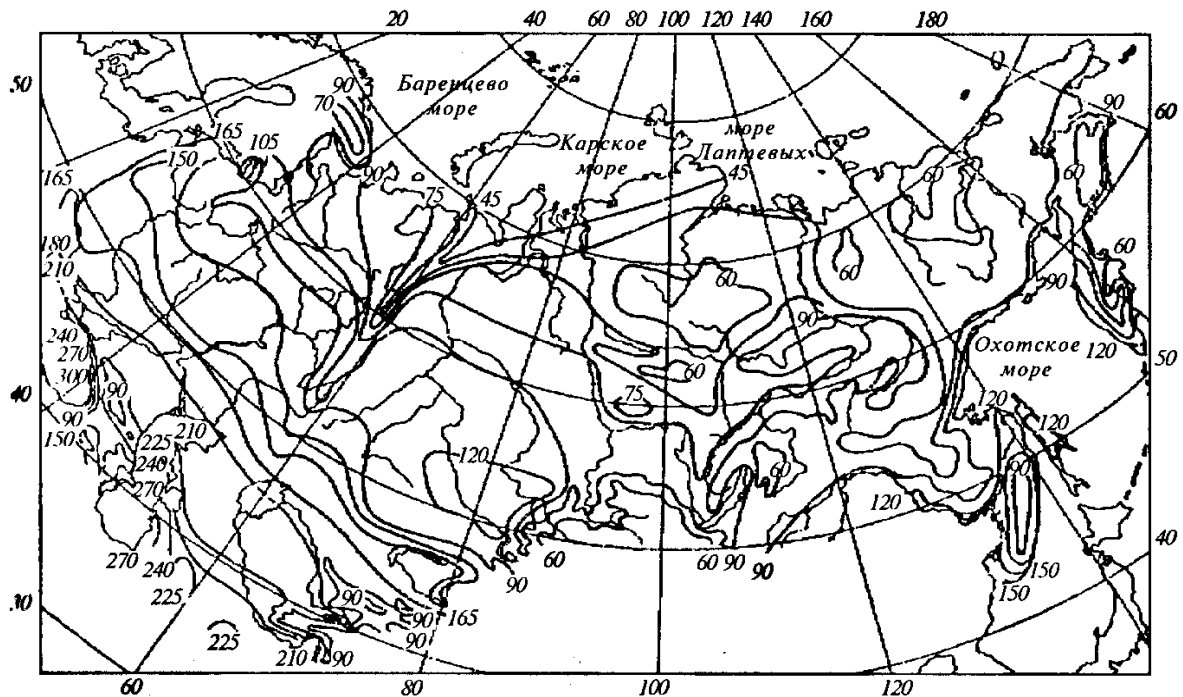


Рис. 8.5 – Середньо - багаторічна тривалість беззаморозкового періоду у повітрі на відкритому місці

Вперше були побудовані карти середніх дат закінчення весняних і початку осінніх заморозків і тривалості беззаморозкового періоду І.А. Гольцберг для усієї території колишнього СРСР (рис.8.5)

На інтенсивність та строки припинення заморозків впливає багато факторів: рельєф місцевості, стан ґрунту, рослинність, віддаленість від водоймищ і та ін.

Небезпечність заморозків більша для рослин на східних та південно-східних схилах, оскільки рослини після сходу Сонця попадають під дію прямого сонячного проміння. Вода в клітинах тане, виходить у міжклітинники та швидко випаровується, пошкоджені клітини не встигають встановити дефіцит вологи й засихають.

Пошкодження рослин заморозком спостерігається не відразу після зниження температури до 0°C , а лише при досягненні певних негативних значень. Для кожної культури і кожної фази розвитку існує своя межа негативної температури, при якій спостерігається пошкодження або загибель рослин. Таку температуру називають *критичною*.

В.М. Степанов класифікував головні польові культури за стійкістю їх до заморозків в різні фази розвитку за середньої тривалості заморозків 5 – 6 годин (табл. 8.7)

З табл. 8.7 видно, що найбільш стійкі до заморозків рослини на початку розвитку, а найменш стійкі – в період формування генеративних

Таблиця 8.7 – Класифікація основних сільськогосподарських культур щодо стійкості їх до заморозків в різні періоди онтогенезу (за В.М. Степановим)

Культура	Температура початку пошкодження, часткової загибелі рослин, 0°С			Температура загибелі більшості рослин, 0 °С		
	сходи	цвітіння	Дозрівання	сходи	цвітіння	дозрівання
Найбільш стійкі						
Яра пшениця	-9,-10	-1,-2	-2,-4	-10,-12	-2	-4
Овес	-8,-9	-1,-2	-2,-4	-9,-11	-2	-4
Ячмінь	-7,-8	-1,-2	-2,-4	-8,-11	-2	-4
Горох	-7,-8	-3	-3,-4	-8,-11	-3,-4	-4
Сочевиця	7,-8	-2,-3	-2,-4	-8,-11	-3	-4
Стійкі						
Нут	-6,-7	-2,-3	-2,-3	-8	-3	-3,-4
Люпин вузьколистий	-5,-6	-2,-3	-3	-6,-7	-3,-4	-3,-4
Боби	-5,-6	-3	-2,3	-6	-3	-3,-4
Соняшник	-5,-6	-3	-2,-3	-7,-8	-3	-3
Льон, коноплі	-5,-7	-1,-2	-2,-4	-7	-2	-4
Буряки цукрові і кормові	-6,-7	-2,-3	-	-8	-3	-
Середньостійкі						
Соя	-3,-4	-2	-2,-3	-4	-2	-3
Люпин жовтий	-4,-5	-2,-3	-	-6	-3	-
Капуста	-5,-7	-2,-3	-6,-9	-	-	-
Малостійкі						
Кукурудза, сорго	-2,-3	-1,-2	-2,-3	-3	-2	-3
Просо, суданська трава, картопля	-2	-2	-1,-2	-2,-3	-2,-3	-3
Нестійкі						
Гречка	-1,-2	-1	-1.5,-2	-2	-1	-2
Квасоля	-1,-1.5	-0.5	-2	-1,-1.5	-1	-2
Рицина	-1,-2	-1	-2,-3	-1,-2	-1,-2	-3
Бавовна	-0.5	-0.5	-1	-1	-1	-1,-2
Баштанні	-1	-0.5,-1	-0.5,-1	-1	-1	-1
Рис	-0.5,-1	-0.5,-1	-	-1	-0.5	-
Овочеві	-0,-1	0,-1	0,-1	-2	-	-

органів. В період цвітіння більшість зернових польових культур гине при температурі $-2...-3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Дослідження О.І. Коровіна показали, що заморозки на початку вегетації справляють велику післядію на ріст, розвиток і врожай рослини. Після інтенсивного заморозку ростові процеси уповільнюються і запізнюється настання наступних фаз розвитку рослин. Заморозок на початку вегетації викликає збільшення тривалості вегетаційного періоду, а наприкінці вегетації – скорочує його. Дія заморозків на врожай визначається великою кількістю факторів. Перш за все, загроза заморозку для сільськогосподарських культур залежить від тривалості його та інтенсивності, від передуючих йому та наступних агрометеорологічних умов, від біологічних особливостей рослин, їх стану, фази розвитку, засобів агротехніки та ін.

Страждають від заморозків плодови дерева і ягідники. Особливо небезпечні заморозки в період бутонізації і цвітіння. Н.І. Синіциною розроблена таблиця міри пошкодження дерев і ягідників в залежності від інтенсивності заморозків. Заморозки інтенсивністю від 0 до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в період цвітіння плодових культур призводять до загибелі всього врожаю (табл. 8.8)

Заходи боротьби. Встановлено, що найбільш небезпечними для сільського господарства є заморозки, які бувають після настання середньої добової температури повітря $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ або після стійкого переходу її через $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Г.Т. Селянінов [45] прийшов до висновку, що "...заморозки тим більш небезпечні, чим більш енергійно ростуть рослини при їх появі. Якщо перед заморозком була температура, яка послаблювала вегетацію, то він майже ніякої шкоди не завдає. Тобто, небезпечними для даної культури заморозками будуть ті, що настають після деякого періоду з температурою вище рівня вегетації даної рослини і не менше періоду від сівби до сходів. Вважаючи останній не менше 5 днів для пшениці та вівса і не менше 10 днів для соняшнику, кукурудзи, сорго і баштанних, поява заморозків після 5 днів після настання середньої добової температури $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ для вівса та пшениці і після 10 днів для соняшнику та інших, $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для кукурудзи і $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ для овочевих і баштанних – об'єктивно небезпечна. При цьому, оскільки овес і пшениця легко переносять зниження температури до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, соняшник – до $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, а овочеві, кукурудза і баштанні зовсім не переносять негативних температур, то ознакою небезпечності заморозків, окрім часу настання, буде також і вищевказана абсолютна величина їх".

Дослідження О.І. Коровіна і інших авторів показали, що температурні умови перед заморозком певною мірою впливають на стійкість рослин до нього. Низькі середні добові температури перед

заморозком сприяють підвищенню стійкості рослин до заморозку і послабляють шкідливу його дію.

Таблиця 8.8 – Критичні температури пошкодження різних частин рослин деяких плодоягідних культур (за Н.І. Синіциною)

Культура	Частина рослини, що пошкоджується заморозками	Критична температура
Лимон	Дерево повністю	-9,-10
	Крона	-7,-8
	Листя	-6
Апельсин	Дерево повністю	-10,-11
	Крона	-8,-9
	Листя	-7
Мандарин	Дерево повністю	-12
	Крона	-10
	Листя	-8
Виноград	Закриті бруньки	-1
	Квіти	0
Яблуня, груша, вишня, слива	Розпуклі бруньки	-4
	Квіти	-2
	Плодова зав'язь	-1
Черешня	Бруньки і квіти	-2
	Плодова зав'язь	-1
Абрикос, персик	Закриті бруньки	-2
	Квіти	-3
	Плодова зав'язь	-1
Малина, полуниці	Квіти і зав'язь	-2

Втрати, яких завдають сільському господарству пізні весняні заморозки, бувають дуже великими. Тому агрометеорологічна інформація про заморозки має велике практичне значення. Вона широко використовується при вирішенні низки задач сільськогосподарського виробництва.

Визначення найбільш сприятливих термінів сівби теплолюбних культур по температурних умовах обов'язково повинні корегуватися даними про ймовірність настання та інтенсивність заморозків на дату появи сходів.

В зв'язку з тим, що різні види рослин мають неоднакову стійкість до заморозків, визначають терміни та ймовірність припинення заморозків не тільки при 0°C, але при іншій інтенсивності: -2; -3; -4 °C.

Т.О. Голубєва встановила, що ймовірність виникнення заморозків тісно пов'язана з середньою за декаду температурою повітря. Ця залежність дозволяє визначити ймовірність пошкодження заморозками різних сільськогосподарських культур, якщо відома їх критична температура.

І.А. Гольцберг також розробила показники ймовірності заморозків. Розрахунки І.А. Гольцберг показали, що навесні в західних районах і на узбережжі морів заморозки закінчуються до переходу середньої добової температури повітря через 5 °С. В континентальних районах заморозки ніколи не закінчуються раніше переходу температури повітря через 5 °С і можуть довго тривати після стійкого переходу температури повітря через 10 °С. В цих районах ймовірність пошкоджень заморозками зростає (табл. 8.9).

Таблиця 8.9 – Ймовірність настання заморозків в залежності від середньої за декаду мінімальної температури повітря в помірній зоні, % (за І.А. Гольцберг)

Середня за декаду температура повітря, °С	Сильні заморозки (зниження температури повітря до -3, -5 °С)		Слабкі заморозки (зниження температури повітря до 0, -2 °С)		Заморозки на поверхні ґрунту і травостою	
	Весна	Осінь	Весна	Осінь	Весна	Осінь
-5	96					
-4	90	100				
-3	84	96				
-2	77	87	100			
-1	68	78	98			
0	56	68	92	100	100	
1	45	57	85	93	98	100
2	37	47	78	83	95	95
3	29	34	71	73	90	88
4	21	22	62	58	84	80
5	14	12	53	44	76	70
6	7	5	44	30	67	57
7	2	0	34	18	56	44
8	0		24	11	45	27
9			14	7	30	17
10			5	3	17	8
11			0	0	2	1
12					0	0

Приклад. Розрахунки ймовірності припинення заморозків заданої інтенсивності на визначену фазу і ймовірність пошкодження культури весняними заморозками ведуться у такій послідовності:

- по співвідношенню термінів припинення заморозків при 0 °С та іншій інтенсивності (табл. 8.10) визначається середня дата припинення заморозків у даному районі;
- розраховується відхилення визначеної дати від середньої багаторічної (Δ);
- визначається статистичний коефіцієнт шляхом поділу розрахованого відхилення Δ на σ ($\kappa = \Delta/\sigma$), а шляхом інтерполяції – відповідний йому відсоток ймовірності (табл. 8.11);
- на основі одержаних результатів визначається можливість припинення заморозків на певну дату і ймовірність пошкодження рослин.

Таким чином, на дату появи сходів гречки - 10.V ймовірність припинення заморозків становить 80 %.

Таблиця 8.10 – Співвідношення в датах припинення заморозків при 0°С і заморозків різної інтенсивності

Середня дата припинення заморозків при 0°С		Середня дата припинення заморозків нижче вказаної інтенсивності			
в повітрі	на поверхні ґрунту	-1,0 °С	-2,0 °С	-3,0 °С	-4,0 °С
1	2	3	4	5	6
1.VI	18.IV	28.V	24.V	20.V	15.V
21.V	7.V	17.V	13.V	9.V	4.V
11.V	25.V	5.V	30.IV	24.IV	18.IV
1.V	15.V	25.IV	20.IV	14.IV	8.IV
21.V	5.V	15.IV	10.IV	4.IV	29.III
11.V	21.IV	6.IV	1.IV	27.III	22.III

Таблиця 8.11 – Співвідношення ймовірності (%), коефіцієнтів (к), значень σ

Ймовірність,%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коефіцієнт	-2,25	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,52	0,84	1,28	2,25
Відхилення від середньої дати, дні	$\Delta = k \cdot \sigma$										

Примітка: за даними цієї таблиці можна побудувати графік для більш зручного використання.

60%	70%	80%	90%
$\Delta = 0,25 \cdot 10 = 2,5$	$0,52 \cdot 10 = 5,2$	$0,84 \cdot 10 = 8,4$	$1,28 \cdot 10 \approx 13$
$2.V + 3 = 5.V$	$7.V$	$10.V$	$15.V$

Розроблені теоретичні методи прогнозу заморозків з врахуванням теплового балансу на межі земля-повітря та зміни коефіцієнта обміну з висотою. Але ці методи досить складні. В практиці використовуються значно простіші: метод Михалевського та метод Р.М. Меджитова.

Метод Михалевського. Для складання прогнозу виникнення заморозків використовуються дані вимірювань по психрометру на висоті 2 м біля 13 годин. Очікувану мінімальну температуру повітря Mn розраховують за формулою

$$Mn = t' - (t - t')C, \quad (8.8)$$

а ґрунту M_{gp} за формулою

$$M_{gp} = t' - (t - t') / 2C \quad (8.9)$$

де t та t' – температура відповідно по сухому та змоченому термометрах;

C – коефіцієнт, який залежить від відносної вологості повітря, його значення наводяться у таблиці 8.12.

Таблиця 8.12 – Коефіцієнт C в залежності від вологості повітря

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

Якщо розраховані значення мінімальної температури повітря і ґрунту більше 2 °С, то заморозок мало ймовірний; якщо нижче 2 °С, але вище -2 °С, то заморозок ймовірний; і якщо мінімальна температура повітря нижче -2 °С, то вночі заморозок буде.

Після 19-ої години за середнім сонячним часом прогноз заморозків уточнюється за даними хмарності: хмарність менше 4 балів, то нічний мінімум температури зменшується на 2 °С; якщо хмарність від 4 до 7 балів – поправки не вводять; якщо більше 7 балів – мінімум, який очікується, збільшується на 2 °С.

Приклад. Температура повітря о 13-ій годині за сухим термометром була 5,4 °С, за змоченим – 3,0 °С, відносна вологість повітря становила - 63 %, хмарність о 19 –ій годині була – менше 4 балів. Коефіцієнт $C = 1,7$ за табл. 8.9. Тоді очікуваний мінімум температури повітря, згідно з формулою (8.8) буде $M_n = 3,0 - (5,4 - 3,0) \cdot 1,7 = -1,1$ °С; температура ґрунту (формула 8.9) буде $M_z = 3,0 - ((5,4 - -3,0) / 2 \cdot 1,7) = -5,2$ °С. Оскільки хмарність менше 4 балів, то отримані значення M_n та M_z , зменшуються на 2 градуси, отже $M_n = -3,1$ °С, а $M_z = -7,2$ °С. Таким чином в ніч очікуються заморозки в повітрі і на ґрунті.

Метод Р.М. Меджитова. Метод розроблений для осушених торф'яно – болотних земель. Для визначення очікуваної мінімальної температури повітря і ґрунту (M_n і M_z) на осушених торф'яно – болотних ґрунтах використовуються формули

$$\text{для повітря} \quad M_n = 0,80t + 0,09f - 14,1, \quad (8.10)$$

$$\text{для ґрунту} \quad M_z = 0,78t + 0,11f - 18,3, \quad (8.11)$$

де t і f – температура повітря і відносна вологість о 13-ій годині або у будь-який інший строк між полуднем і заходом сонця.

Приклад. Температура повітря о 13-ій годині була 8,1 °С, відносна вологість становила 71 %, тоді

$$M_n = 0,80 \cdot 8,1 + 0,09 \cdot 71 - 14,1 = -1,2 \text{ °С}$$

$$M_z = 0,78 \cdot 8,1 + 0,11 \cdot 71 - 18,3 = -0,9 \text{ °С},$$

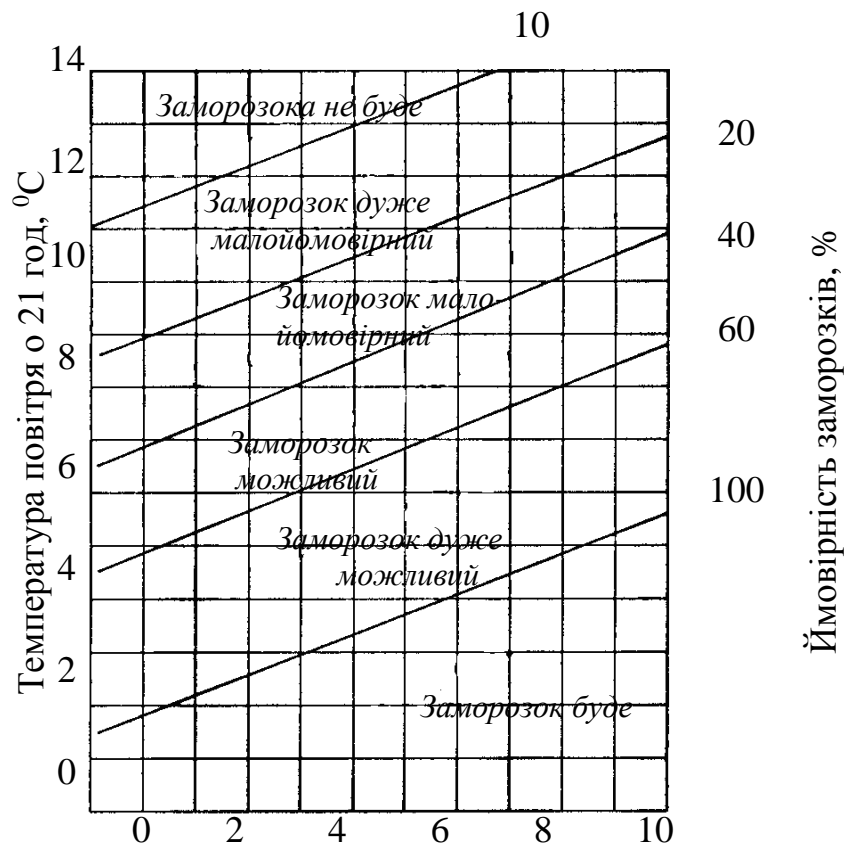
Заморозок очікується в повітрі інтенсивністю -1,2 °С, на ґрунті - -0,9 °С.

Метод П.І. Броунова. П.І. Броунов для визначення нічної температури на висоті 2 м запропонував графік (рис. 8.6).

Для визначення нічної температури необхідні спостереження за температурою повітря о 13 та о 21 год. На осі X відкладають значення різниці між даною вечірньою температурою повітря (T_{13} та T_{21}), на осі Y

– вечірнє значення температури повітря (T_{21}). Точка перетину значень у площині графіка вкаже на ймовірність заморозку.

Пізні заморозки навесні пошкоджують рослини і значно зменшують, а іноді і взагалі знижують врожай сільськогосподарських культур. Тому виникла необхідність захисту рослин від негативної дії низьких температур. Найбільш ефективним заходом боротьби із заморозками є вплив на тепловий режим приземного шару повітря шляхом зменшення ефективного випромінювання поверхнею, підвищення теплопровідності ґрунту, перемішування повітря і т. ін.



Різниця температур повітря, які вимірювались о 13 год та о 21 год °C

Рис.8.4 – Графік прогнозу ймовірності заморозків за методом Броунова

Підвищення температури приземного шару повітря на 1 – 2 °C значно зменшує негативну дію заморозків.

Існує декілька засобів боротьби із заморозками. Це відкритий обігрів укриття рослин, термодинамічні методи, зрошення і т. ін., спрямовані на підвищення температури у приземному шарі повітря, а іноді і у верхньому шарі ґрунту.

Найбільш поширеним заходом боротьби із заморозками є підвищення температури повітря за рахунок обігріву.

Найчастіше для цього використовують димові завіси, які утворюються внаслідок температурної інверсії у приземному шарі повітря. Підвищення температури підстильної поверхні та приземного шару повітря відбувається під дією комплексу факторів: обігріву повітря під час горіння речовин, які утворюють дим, конденсації водяної пари у повітрі з виділенням тепла, зменшення ефективного випромінювання.

Вранці димова завіса не дозволяє сонячному промінню швидко нагрівати рослини, затримує відтавання, що сприяє меншому пошкодженню рослин.

Створення диму можливе при застосуванні димових шашок та димових куп.

Димова завіса дає можливість підвищити температуру на 1 – 2 °С.

У виробничих умовах створення димових завіс за допомогою димових куп використовуються для захисту садів, виноградників, овочевих культур і т. ін. Ефективність димових завіс найбільша на рівному відкритому місці при відсутності вітру або його швидкості не більше 1 – 2 м/с.

Димові завіси утворюються при температурі повітря на 1 – 1,5 °С вище критичної для культури, яку необхідно захистити. Утворення диму продовжується ще протягом 1–1,5 години після сходу Сонця.

Відкритий обігрів застосовується на невеликих ділянках з особливо цінними сортами рослин (субтропічних). Для обігріву використовуються горілки любого типу з будь-якою горючою речовиною. За відкритого обігріву температура у приземному шарі підвищується від 1 до 4 °С. Відкритий обігрів дуже дорогий засіб і використовується рідко. Крім того, за відкритого обігріву значно підвищується забруднення повітря.

Засіб укриття рослин застосовується по-різному. Якщо вкриваються окремі дерева, то для цього використовують чохла з світлопроникних плівок, марлі, скла, піни. Для укриття великих площ використовуються різні матеріали: тирса, солома, стружка, костриця, рідка піна, торф, земля, темний папір тощо.

Термодинамічні заходи – це підвищення температури за рахунок перемішування повітря серед рослин за допомогою двигунів, які на літаках відбули термін використання, вертольотів, які пролітають над полем на незначній висоті (безпечній). Перемішування теплих і холодних шарів повітря дозволяє підвищити температуру на 0,5 – 1,0 °С. Цей метод використовується для боротьби з приморозками на невеликих замкнених ділянках.

Для боротьби із заморозками застосовується зрошення полів перед настанням заморозку. Зрошення підвищує температуру точки роси, збільшує теплопровідність ґрунту і сприяє припливу тепла з нижніх

шарів. Зрошення підвищує температуру на 1,5 – 2,0 °С. Дуже ефективним заходом боротьби із заморозками є зрошення дощуванням. Дощування перед заморозком підвищує температуру за наявності вітру до 2 °С, при відсутності вітру – до +4 °С. Крім того, зрошення дощуванням безпосередньо під час дії заморозку захищає рослини від досить інтенсивного заморозку (до -8 °С). Підвищення температури відбувається за рахунок вихолодження води і віддачі тепла у повітря. Льодова кірка, що утворюється на рослинах та поверхні ґрунту, зменшує їх радіаційне охолодження.

В останній час поширюються заходи регулювання росту рослин, які дозволяють затримувати цвітіння плодових і т. ін., а також застосування гідрореагуючих речовин (з класу гідридів кальцію). Речовини наносяться на поверхню ґрунту і за їх взаємодії з водяною парою утворюється тепло. Швидкість реакції гідролізу невелика. Тому цей захід доцільно використовувати тільки за виникнення радіаційних та адвективно-радіаційних заморозків, тривалість яких коротка, всього декілька годин.

Контрольні питання

- 1. Перелічіть несприятливі для сільського господарства явища.*
- 2. Дайте визначення засухи та назвіть критерії оцінки?*
- 3. Дайте визначення суховію. Назвіть критерії оцінки.*
- 4. Причини виникнення засух і суховіїв.*
- 5. В які періоди розвитку рослин дія засух і суховіїв найнебезпечніша?*
- 6. Причини виникнення заморозків? Види заморозків.*
- 7. Стійкість рослин до пошкодження заморозками.*
- 8. Як розраховується імовірність пошкодження заморозками.*
- 9. Які ви знаєте методи передбачення заморозків?*
- 10. Від яких причин залежить морозостійкість і зимостійкість рослин?*
- 11. Що називається критичною температурою вимерзання?*
- 12. Як розраховується коефіцієнт небезпечності перезимівлі?*
- 13. Як впливає льодова кірка на умови перезимівлі?*
- 14. Основні причини виникнення льодової кірки?*
- 15. В чому проявляється несприятливість перезимівлі для плодових культур?*
- 16. Які причини викликають перезволоження ґрунту?*
- 17. Вплив перезволоження на сільськогосподарські культури.*
- 18. Які ви знаєте види ерозії?*
- 19. Причини виникнення водної та вітрової ерозії ґрунтів.*
- 20. Назвіть основні причини дефляції ґрунтів.*

9. АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Основний метод досліджень в гідрометеорології – це метод спостережень, тобто вимірювання та якісна оцінка метеорологічних величин, які характеризують фізичний стан атмосфери та підстильної поверхні.

За допомогою цього методу на матеріалах польових спостережень встановлюються кількісні та якісні зв'язки між умовами погоди та ростом і розвитком сільськогосподарських культур, виявляються потреби рослин в основних факторах середовища – світлі, теплі, волозі, поживних речовинах, а також визначаються порогові значення цих факторів для життєдіяльності рослин.

Агрометеорологічні вимірювання – це паралельні у часі та просторі спостереження за метеорологічними елементами та розвитком сільськогосподарських рослин, станом ґрунту та агротехнічними заходами.

Наземні агрометеорологічні спостереження проводяться з метою отримання інформації для:

- безпосереднього забезпечення народногосподарських організацій відомостями про агрометеорологічні умови в районі спостережень;
- повідомлення організацій, які обслуговуються, про небезпечні метеорологічні явища;
- забезпечення прогностичних відділів необхідними відомостями для складання всіх видів агрометеорологічних прогнозів, довідок про поточний стан агрометеорологічних умов та попереджень у випадку їх несприятливого розвитку надалі;
- накопичення та узагальнення об'єктивних даних про агрометеорологічний режим та агро кліматичні ресурси окремих територій та держави в цілому.

Основні задачі гідрометеорологічних станцій і постів при проведенні агрометеорологічних спостережень:

1-проведення спостережень у районі розташування гідрометеорологічної станції чи посту;

2-первинна обробка результатів спостережень;

3-складання інформаційних агрометеорологічних повідомлень і передача їх відповідним організаціям і установам у встановлений термін.

Всі регулярні агрометеорологічні спостереження проводяться на спеціальних ділянках, які вибираються адміністрацією гідрометеорологічної станції.

9.1 Спостереження за температурою орного шару ґрунту

Спостереження за температурою орного шару ґрунту виконуються тільки у весняний період з моменту просихання ґрунту до м'якопластичного стану і до появи масових сходів пізніх теплолюбних культур.

Спостереження проводять на ділянці поля, яке призначається для пізніх теплолюбних культур. На майданчику спостереження виділяють ділянку розміром 2–3 м², а у випадку, коли майданчик спостереження знаходиться на схилі, вибирають дві ділянки. Результати спостережень записують у книжку КСГ-1. Якщо спостереження проводять на двох ділянках, розраховують середню температуру для кожної глибини окремо.

Спостереження проводять у дні обходу ділянок спостереження у 15-16 годин на глибинах 5 та 10 см від поверхні ґрунту. Допускається відхилення від строків спостережень не більше 30 хвилин.

Для вимірювання температури орного шару ґрунту використовують термометр-щуп АМ-6, термометр електронний транзисторний цифровий ТЕТ-Ц11 або транзисторний термометр ТЕТ-2.

Термометр ТЕТ-Ц11 використовують для вимірювання температури у різних середовищах: у ґрунті, у повітрі, у сипучих та рідких речовинах у діапазоні вимірів від мінус 60 до 100 °С. Точність приладу 0,1 °С.

Термометр комплектується двома датчиками: універсальним та ґрунтовим. Універсальний датчик використовують для вимірювання температури ґрунту на глибині вузла кушіння озимих зернових культур та кореневої шийки багаторічних трав, а також температури води у рисових чеках. Ґрунтовий датчик діаметром 5 мм закріплюється на кінці металевого стрижню з ручкою. На стрижні нанесено ділення та цифри, які дозволяють визначити глибину занурення датчика у ґрунт. Максимальна глибина занурення 50 см.

Транзисторний електротермометр ТЕТ-2 застосовують для визначення температури ґрунту у зоні кореневої системи плодових культур, води у рисових чеках та коренеплодів у буртах.

Прилад ТЕТ-2 складається з вимірювального пристрою, комутаційної коробки та датчиків (ґрунтового, герметичного та кислототривкого). Вимірювальний пристрій має чотири шкали, три з яких належать до точного діапазону, а одна – до грубого. Якщо використовують декілька датчиків, застосовують комутаційну коробку, за допомогою якої можна підключити вимірювальний пристрій до одного з датчиків.

Термометр АМ-6 (рис.9.1) уявляє собою толуоловий термометр, який міститься у металевій оправі із загостреним наконечником на її

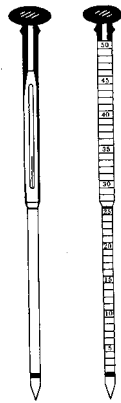


Рис. 9.1 – Термометр
АМ – 6

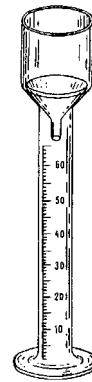


Рис. 9.2 Дощомір польовий
М-99

нижньому кінці. Резервуар термометра, що знаходиться у наконечнику, оточується металевими ошурками. На оправі наносять ділення через 1 см. Вони призначаються для визначення глибини вимірювання температури ґрунту.

У верхній частині оправы є проріз, через який можна бачити шкалу термометра та підраховувати температуру. Ціна ділення шкали 1°C .

При проведенні спостережень термометр АМ-6 чи ґрунтовий датчик термометру ТЕТ-2 заглиблюється у ґрунт вертикально на глибину 5 см і тримається на цій глибині протягом 5 хвилин. Підрахунок температури проводять з точністю до $0,5^{\circ}\text{C}$. Після вимірювання температури ґрунту на глибині 5 см термометр заглиблюється на 10 см. Спостереження на цій глибині проводять таким же чином, як і на глибині 5 см.

9.2 Спостереження за опадами

Спостереження за опадами на сільськогосподарських полях (не на метеомайданчику) виконуються на тих же ділянках спостереження, де визначається вологість ґрунту. Вони розташовуються на сільськогосподарських угіддях на відстані не більше 2 км від метеорологічного майданчика.

Кількість опадів визначають у дні та години спостережень за фазами розвитку, тобто через день по парним числам або два рази у декаду. Використовують польовий дощомір М-99 (рис. 9.2), який встановлюють на дерев'яній або металевій підставці.

Польовий дощомір М-99 уявляє собою високу (34 см) циліндричну склянку, верхня частина її розширена, основа пласка. На стінки склянки

дощоміра наносять ділення, кожне з яких відповідає шару опадів, що випали, в 1 мм. Дощомір розрахований на вимірювання 60-65 мм опадів.

Спостереження за опадами на полях проводять у ті ж періоди теплої пори року, коли проводиться інструментальне визначення вологості ґрунту. Винятком є початок спостережень за опадами на ділянках ярових зернових, технічних та кормових культур у ранній весняний період. Спостереження на цих ділянках можна починати не з весняними польовими роботами у господарстві, а пізніше, після посіву сільськогосподарської культури. На ділянці озимої культури спостереження починають з часу посіву та проводять їх до закінчення вегетації.

Кількість опадів, що випали, виміряють у дні та часи спостережень за фазами розвитку рослин, тобто через один день (по парних числах) або два рази на декаду (4, 10, 14, 20, 24 та 30 чи 31 числа), а також у дні відбору зразків для визначення вологості ґрунту.

9.3 Візуальні спостереження за вологістю верхніх шарів ґрунту

Візуальні спостереження за вологістю верхнього шару ґрунту виконуються на постійній ділянці з посівом просапної або городньої культури, яка розташована у радіусі 500 м від метеорологічного майданчика у теплу пору року. Спостереження виконуються щоденно у 8-9 годин ранку.

Для візуальних спостережень за вологістю ґрунту використовують металевий ніж чи ложку, а також порцелянову чи металеву чашку об'ємом 150–300 см³. Спостереження проводять у двократній повторності. У кожному місці майданчика спостереження беруть по дві проби: одну з глибини 0–2 см, другу – з глибини 10–12 см.

Міра зволоження ґрунту визначається за шестибальною шкалою у залежності від стану ґрунту (табл. 9.1).

При сильному зволоженні зразок ґрунту, який береться шпателем або ножем, поміщають у порцелянову чи металеву чашку. Ґрунт спочатку перемішують, потім розподіляють по дну та частково по внутрішніх стінках чашки шаром завтовшки 1 см. Після цього посередині чашки у ґрунті ножем проводять борозну (рис. 9.3), далі чашку беруть однією рукою за вінця та долонею другої руки кілька разів (5 – 8) легко стукають по дну. Якщо борозна, яку роблять у ґрунті, при цьому “запливає” не менш ніж на половину висоти, то такий ґрунт вважають *текучим* (надмірно зволеним).

Таблиця 9.1 - Оцінка міри зволоження та стану ґрунту

Міра зволоження та стан ґрунту	Консистенція ґрунту	Оцінка, бали
Вкритий снігом	Будь-яка	0
Надмірно зволожений	Текуча	1
Сильно зволожений	Липуча	2
Добре зволожений	М'якопластична	3
Слабо зволожений	Твердопластична	4
Сухий	Тверда або сипуча	5
Мерзлий	Замерзла	6

Якщо борозна не запливає чи запливає менш ніж на половину, беруть новий зразок ґрунту і в нього занурюють чистий ніж, який одразу виймають. Якщо ніж при цьому буде забрудненим, такий ґрунт вважається *липким* (сильно звоженим). Визначити липкий стан ґрунту можна і в інший спосіб. Для цього треба легко надавити грудкою ґрунту на кисть руки. Липкий ґрунт залишить на ній брудний слід (рис. 9.4).



Рис. 9.3 – Визначення текучого стану ґрунту

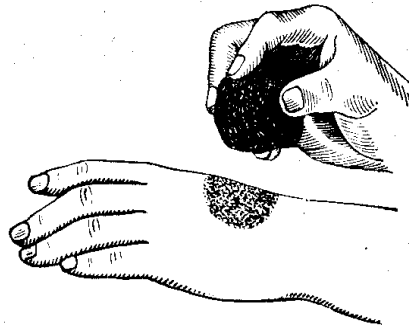


Рис. 9.4 – Визначення липкого стану ґрунту

М'якопластичним (добре звоженим) ґрунт вважають у тому випадку, якщо борозна у чашці не запливає і ґрунт не прилипає до шпателя. *Твердопластичним* (слабо звоженим) вважають ґрунт, якщо під час розкочування він не витягується у нитки, розпадається на невеликі грудочки, але при стисканні рукою утворює порівняно зв'язну грудку (суглинистий ґрунт) чи утворює грудку, яка розсипається від легкого поштовху (супіщаний ґрунт).

Твердим або сипучим ґрунт вважається у тих випадках, коли грудочка глинистого ґрунту при значному стисканні рукою не змінює форму, а супіщаний ґрунт розсипається. Характеристики “*вкритий снігом*” та “*мерзлий*” визначають у залежності від стану поверхні ґрунту на майданчику спостережень.

9.4 Паралельні спостереження за температурою, глибиною промерзання і відтавання ґрунту та висотою снігового покриву

Спостереження за температурою, глибиною промерзання та відтавання ґрунту та висотою снігового покриву проводять на ділянках озимої зернової культури, багаторічної трави та у плодовому саду. На польових ділянках температура ґрунту визначається на глибині 3 см (вона відповідає середній глибині вузла кушіння озимих та кореневої шийки багаторічних трав). У плодовому саду температуру визначають на глибині 20 та 40 см.

Спостереження за температурою, глибиною промерзання та відтавання ґрунту та висотою снігового покриву проводять з дня настання від'ємної середньодобової температури повітря восени до поновлення вегетації зимуючих польових культур навесні, а у випадку повернення холодів – і після поновлення вегетації.

Взимку для визначення температури ґрунту на глибині вузла кушіння використовують ґрунтові електротермометри АМ-29А, АМ-2М, ТЕТ-2, ТЕТ-Ц11 або максимально-мінімальний термометр АМ-17. Також водночас з установкою датчиків цих приладів встановлюють снігомірну рейку М-103.

Дія електротермометрів АМ-29А, та АМ-2М (рис.9.5) ґрунтується на властивості металів змінювати свій електричний опір у залежності від температури. З підвищенням температури опір металевого провідника збільшується, із зниженням – зменшується. Для вимірювання величини цього опору у приладі використовують рівноплечий неврівноважений міст постійного струму.

Температуру ґрунту визначають у двох діапазонах: від 5 до 45°C і від мінус 30 до 5°C. У комплект кожного приладу входить один пульт та десять датчиків. Для визначення температури ґрунту на глибині вузла кушіння рослин у двох частинах майданчика спостережень (першій та третій) встановлюють по одному датчику. Кожен датчик встановлюють на відстані не менш 5 м від ділянок, які призначені для вирубань монолітів на відрощування рослин, так, щоб під час вирубань моноліту не пошкоджувався сніговий покрив біля датчика. Місця встановлення датчиків повинні бути характерними для даної ділянки за мікрорельєфом та станом рослинності. Датчики встановлюють до промерзання верхнього шару ґрунту та не пізніше ніж через 1-2 дні після осіннього обстеження зимуючих культур.

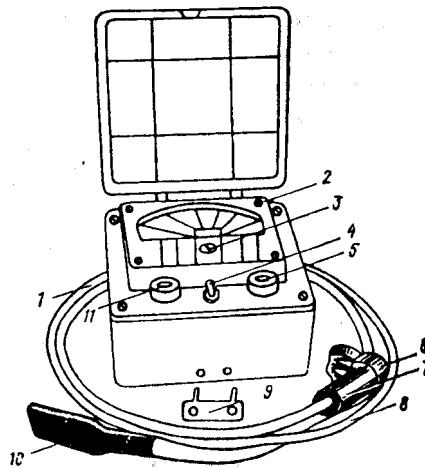


Рисунок 9.5 – Електротермометр ґрунтовий АМ-2М

- 1 – датчик, 2 – пульт, 3 – гвинт, 4 - перемикач діапазону температур,
 5 – перемикач роду робіт, 6 – кришка штепселя, 7 – штепсельна вилка,
 8 – кабель, 9 – штепсельна розетка, 10 – приймальна частина датчика,
 11 – ручка реостату

Максимально-мінімальний термометр АМ-17 (рис. 9.6) використовується для визначення екстремальних температур ґрунту на глибині вузла кущіння, також за його допомогою можна визначати строкову температуру ґрунту.

Термометр встановлюють в одній з чотирьох частин ділянки спостереження (одна повторність) на відстані не менш 5 м від ділянок спостережень. Вимоги для місця розташування приладу такі, як і при вимірюваннях за допомогою термометра АМ-29М.

Інструментальне визначення глибини промерзання ґрунту проводять за допомогою спостереження за проникненням у ґрунт нульової температури. Ці спостереження проводять за допомогою мерзлотоміру АМ-21 (рис. 9.7). Його дія базується на властивості дистильованої води замерзати чи відтавати при температурі 0°C та нижче.

Для визначення глибини промерзання ґрунту прощупують замерзлий стовпчик води у гумовій трубі, яка поміщається у ґрунт: нижню межу замерзлого стовпчика приймають за глибину промерзання ґрунту, верхню – за глибину відтавання.

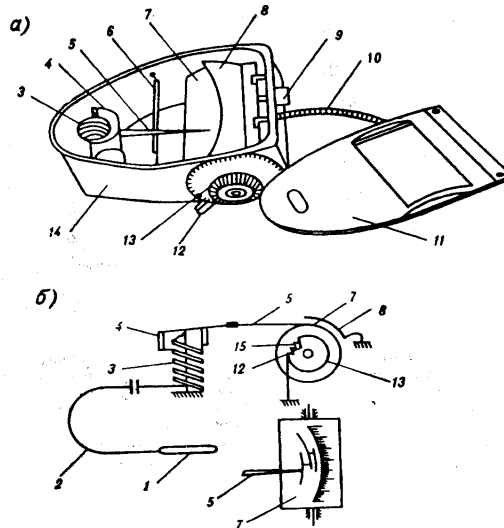


Рисунок 9.6 – Зовнішній вигляд (а) та схема (б) термометра АМ-17

1 - термобалон, 2 - з'єднувальний капіляр, 3 - манометрична пружина, 4 - біметалевий компенсатор, 5 - кронштейн із стрілкою та пером, 6 - аретир стрілки, 7 - барабан, 8 - шкала, 9 - аретир шкали, 10 - металева оболонка кабелю, 11 - кришка приладу, 12 - фіксуєючий зуб, 13 - ручка-фіксатор, 14 - корпус, 15 - зубці

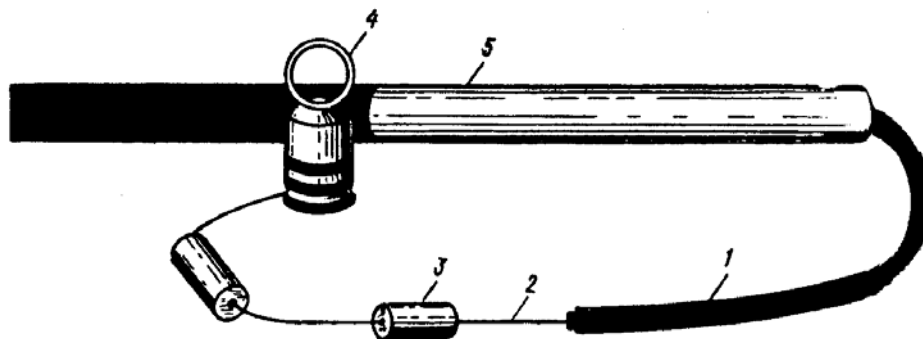


Рисунок 9.7 – Мерзлотомір АМ-21

1 - гумова трубка з ніпелями на кінцях, 2 - шнур, 3 - гільза, 4 - ковпачок з кільцем, 5 - захисна вінілова трубка

Мерзлотоміри установлюють у двох частинах ділянки спостережень (дві повторності) так, щоб вони знаходились на відстані не менше 5 м від ділянок, які призначені для вирубань монолітів і не більш 1 – 2 м від місця розташування датчиків електротермометрів або термометра АМ-17. Мерзлотомір установлюють водночас з установкою датчиків термометрів АМ-2М, АМ-29А, ТЕТ-2, ТЕТ-Ц11, АМ-17 та снігомірної рейки.

9.5 Агрометеорологічні спостереження за фазами розвитку рослин

9.5.1 Склад, строки та правила проведення спостережень

Протягом всього вегетаційного періоду кожна сільськогосподарська культура проходить такі фази:

сходи,
утворення листя,
утворення бокових пагонів (кущіння),
стеблування,
утворення бутонів та суцвіть,
цвітіння,
формування плодів та насіння,
дозрівання плодів та насіння.

У залежності від умов вирощування у деяких випадках окрема фаза розвитку може не спостерігатися.

Спостереження за фазами розвитку на агрометстанціях проводяться під час агрометеорологічного огляду ділянок, який виконується на всіх полях сівозміни через день. Для гідрометстанцій та постів список культур, за якими проводять спостереження, та частота огляду рослин на кожній ділянці (через день або двічі за декаду) повідомляються у річному плані-завданні.

При проведенні спостережень через один день обхід ділянок спостереження проводять у другій половині кожного парного дня (у посушливих районах – у першій половині). При спостереженнях двічі на декаду – по четвертих числах.

Спостереження за фазами розвитку відносять до фенологічних та проводять під час огляду 40 рослин (по 10 у чотирьох частинах спостережного майданчика).

На ділянці з *непросапною культурою* оглядають по 10 рослин, типових за своїм станом на даній ділянці, і визначають скільки рослин мають ознаки фази, що настала. Кожного разу огляд рослин проводять у рядках, що знаходяться на деякій відстані від рядків попереднього огляду.

На ділянках з *просапною культурою* (кукурудза, картопля та ін.), що мають великі міжряддя та великі відстані між рослинами у рядках, спостереження за фазами розвитку проводять протягом усього періоду вегетації культури на одних і тих же рослинах. Для цього у кожній повторності вибирають по 10 рослин (по 5 у двох суміжних рядках), що є типовими за своїм станом для більшості рослин на полі. Ці рослини відзначаються кольоровими нитками, кілочками та ін.

На ділянках з іншими зерновими бобовими та бобовими травами, а також на сінокосах та пасовищах постійні рослини не вибирають і спостереження ведуть так, як і на ділянках з не просапними культурами.

На ділянках, зайнятих плодово-ягідними культурами, виноградом та цитрусовими, вибирають 20 постійних екземплярів рослин, що є типовими за своїм станом – по 5 у чотирьох частинах ділянки.

Процент рослин, що вступили у дану фазу, розраховується за формулою

$$П = \frac{N \cdot 100}{40} = 2,5N, \quad (9.1)$$

де N – кількість рослин, що вступили у дану фазу;

40 – кількість оглянутих рослин.

У зв'язку з тим, що рослини на одній ділянці вступають у ту чи іншу фазу неодноразово, відзначають початок та масове настання фази. За початок фази (а) приймають день, коли фаза наступила не менш ніж у 10 % рослин, за масовий показник (б) – день, коли у фазу вступило не менше 50 % рослин. Після реєстрації фази у 75% (чи більше) рослин спостереження припиняють та розрахунки поновлюють з початком нової фази.

9.5.2 Фази розвитку зернових культур (жито, пшениця, ячмінь, овес, рис, просо, сорго) та їх ознаки

Проростання насіння: утворення перших корінців у не менш ніж 5 з викопаних у чотирьох частинах ділянки 20 зернин.

При слабкому зволоженні верхнього шару ґрунту після реєстрації проростання і до сходів необхідно проводити спостереження за станом насіння: продовжувати викопувати по 5 зернин у 4 частинах ділянки. Якщо при цьому виявиться, що корені та ростки помітно подовшали, то треба записати у книжку КСГ-1: “Проростання продовжується”.

Сходи: відмічають одиничні сходи (а), коли у різних частинах ділянки у перших рослин, що з'явилися, розгорнулися верхівки листочків, та масові сходи (б), коли перші листочки будуть на більшій частині ділянки.

У випадку відсутності масових сходів треба відзначити: “Масових сходів не було”. Також треба пояснити причину цього явища (ґрунтова кірка, низькі температури та ін.).

Третій лист: ознакою фази є початок розгортання 3-го листа.

Утворення вузлових коренів. За умов достатнього зволоження верхнього шару ґрунту майже одночасно з появою третього листа у рослин починають з'являтися другорядні корінці. Їх також називають вузловими, тому що вони виходять з підземних вузлів, які утворюються у місцях прикріплення 1-го та наступних нижніх листків. Для реєстрації цієї фази у чотирьох місцях ділянки обережно викопують по 5 рослин і розглядають ту їх частину, яка знаходилася під землею. День, коли вузлові корінці утворилися у більшості рослин, вважають датою настання фази.

Кущіння. Якщо кінчики перших листків бокових пагонів з'явилися з піхви листків головного пагону, вважають, що кущіння почалося.

Хлібні злаки починають кущитися водночас з утворенням 3-го листка чи через деякий час після його утворення. Кущіння в озимих культур починається звичайно восени і на початок зими на одній рослині формується декілька бокових пагонів, які створюють кущ. Навесні після поновлення вегетації кущіння деякий час продовжується.

Після масового кущіння озимих культур восени спостереження за рослинами проводяться два рази на декаду.

Припинення вегетації озимих зернових культур. Днем припинення вегетації озимих треба вважати той день, після якого протягом 5 днів середня добова температура повітря була нижче 5 °С (на півдні України, в Криму та Молдові – нижче 3 °С). У районах з нестійкою зимою ця фаза може відзначатися декілька разів.

Поновлення вегетації озимих культур. Ознакою поновлення вегетації озимих є утворення свіжої зелені. Верхні листочки, які ще не розгорнулися, починають подовжуватися і в їх нижній частині з'являється свіжа зелена тканина. Старе листя, що збереглося на початок вегетації, стає струнким та пружним. Ознаки початку вегетації звичайно помітні, коли максимальна температура повітря перейде через +5 °С. З цього дня треба починати спостереження.

Вихід у трубку (стеблуння). Вихід у трубку – це початок росту стеблини. Ознакою початку виходу у трубку є підняття нижнього вузла стеблини над вузлом кущіння на 3-5 мм, і наявність на верхівці стеблини зачаткового колоса. Його можна побачити лише у лупу з 10-кратним збільшенням, тому що він має довжину близько 1 мм.

Реєстрацію фази проводять таким чином: починаючи з дати розгортання 3-го листка у 10% рослин, викопують у 4-х частинах ділянки 10 типових рослин (однакових по кількості листя та висоті). Обтрушують ґрунт та розрізають кожну рослину вздовж гострим ножом чи бритвою. Також звільнити стеблину від листків можна, якщо послідовно відрізати кожен лист гострою голкою.

Коли у декількох зразків з'являються ознаки виходу у трубку, роблять розрахунки кількості рослин, які вступили до даної фази. Якщо, наприклад, 4 з десяти рослин мають ознаки виходу у трубку, вважають, що 40% рослин на ділянці знаходиться у цій фазі. Спостереження проводять доки фазою не буде охоплено 8 рослин з десяти.

В озимих культур за фазою вихід у трубку треба спостерігати з дати поновлення вегетації.

Утворення нижнього вузла соломини над поверхнею ґрунту. Ознакою цієї фази є потовщення головної стеблини на висоті 0,5 см над поверхнею ґрунту.

Колосіння (викидання волоті). Ця фаза реєструється, коли колос наполовину висунувся з піхви верхнього листка. Ознакою викидання є появлення верхньої частини волоті вівса, проса, рису, сорго.

Цвітіння. Ця фаза не спостерігається у вівса, ячменю, проса та рису. Цвітіння цих злаків майже співпадає з масовим появленням колосся чи волотей. У жита, тритікале та сорго розкриваються квіткові луски і з'являються їх пильники. Якщо цвітіння спостерігається у вітряну погоду, пильники жита та тритікале, які звільнилися від пилка, легко обриваються вітром. У цьому випадку ознакою цвітіння є наявність типових ниточок (ніби павутиння) зовні колосків. Також, якщо на колоски подивитися проти сонця, вони здаються пустими. Щоб зафіксувати фазу треба виділити колосок з середини колоса головної стеблини і розсунути квіткові луски за допомогою голки чи булавки. Якщо пильники луснули, вважають, що цвітіння відбулося. У сонячну погоду квіткові луски пшениці розкриваються і пильники можна бачити зовні квітів. Це і є ознакою фази цвітіння.

Молочна стиглість. Ознаки молочної стиглості такі: зерно майже сформувалося за розміром, має зелене забарвлення, якщо його здавити між пальцями, оболонка лускає і вміст зерна видавлюється назовні; у вівса та рису – у вигляді рідкого молочка, у пшениці - у вигляді більш густої рідини молочного кольору, у жита та ячменю – у вигляді некрутого вареного білку.

Воскова стиглість. Основна ознака фази у колосових – зміна забарвлення зерна з зеленого на жовте, іноді буре. Листя жовтіє. Вміст зерна важко видавлюється з оболонки і легко скочується у кульку. Однак треба мати на увазі, що пожовтіння колоса може статися передчасно. Причиною може бути пошкодження суховіями, заморозками, посухою, іржею. Також може спостерігатися явище “стікання” зерна, якщо під час настання воскової стиглості тривалий час утримується тепла дощова погода.

У вівса та рису ознакою дозрівання до воскової стиглості є пожовтіння колосків верхньої половини волоті. Передчасне пожовтіння

волотей також повинно відзначатися. Причини цього явища можуть бути такими ж, як і для зернових колосових культур.

Повна стиглість. Коли спостерігається повна стиглість, зерно стає твердим та розколюється, якщо на нього надавити ножем (проби беруть з середньої частини колоса). У волотевих злаків ця фаза реєструється по затвердінню зерна верхньої половини волоті. Якщо після реєстрації початку повної стиглості зерна настає тривала хмарна та дощова погода, то масове настання цієї фази не спостерігається.

9.5.3 Фази розвитку кукурудзи та їх ознаки

У кукурудзи відмічають такі фази росту і розвитку: проростання насіння, сходи, утворення третього листка, кушіння, утворення п'ятого, сьомого, дев'ятого та одинадцятого (непарних) листків, вихід у трубку, викидання волоті, цвітіння волоті, цвітіння качана, молочна стиглість, воскова стиглість, повна стиглість.

Проростання насіння. Ознакою цієї фази є помітне висування (на 2-3 мм) зародкового корінця з зернини кукурудзи. Через 3 дні після сівби починають ці спостереження і продовжують у кожній черговий обхід ділянки спостереження.

Для визначення проростання у кожній частині ділянки розглядають по одній зернині. Пошкоджені зерна не підраховуються. Після огляду зернини закопують у землю на ту ж саму глибину. Фаза відзначається, коли її ознаки будуть зафіксовані не менш ніж у 5 з 20 оглянутих зернин.

Сходи. Початок фази ("а") спостерігається, коли в одиничних рослин у різних місцях ділянки розгортаються перші листочки. Масове настання фази ("б") – коли сходи з'явилися у більшості гнізд..

Розгортання чергових листків. Кількість листків, що утворюються у кукурудзи, є показником її скоростиглості. Найбільш ранньостиглі сорти та гібриди утворюють 10-11 листків, пізньостиглі – до 20 та більше. Починаючи з 3-го листа відзначається утворення кожного наступного непарного листка: 5, 7, 9. Ознакою фази є появлення розгорнутої верхівки його листової платівки з піхви попереднього листка. Кількість рослин, що вступили у дану фазу, розраховується, як завжди.

Перші (нижні) листки кукурудзи швидко відмирають. Щоб мати можливість їх підраховувати, під час спостережень треба відзначати кожний 5-й листок. Це можна зробити за допомогою білої фарби чи кольорової нитки.

Також один раз за вегетацію проводять визначення кількості листків кукурудзи, що не вийшли. У залежності від скоростиглості сорту ці спостереження проводяться у такі строки: у пізньостиглих сортів при масовому утворенні 11-го листка, у середньостиглих – 9-го, у ранніх – 7-го листка.

Викидання волоті. Ця фаза закінчує процес утворення листя кукурудзи. Її ознакою є поява верхньої частини волоті з піхви останнього листка.

Цвітіння волоті. Фаза реєструється по появленню пильників на головній гільці волоті .

Цвітіння качана визначають після появи з його обгортки нитковидних стовпчиків. В залежності від агрометеорологічних умов тривалість періоду може коливатися від 1 до 10 днів та більше. Якщо на головній стеблині утворилося 2-3 качана, фаза цвітіння відзначається по тому качану, на якому нитки з'явилися раніше. Його треба зав'язати і надалі по ньому проводити спостереження за стиглістю зерна.

Молочна стиглість характеризується такими ознаками. Нитковидні стовпчики побуріли та підсохли, але обгортка качана ще має зелений колір. Зерно у середній частині качана має білий колір (чи світло-жовтий). Якщо зернину розчавити, виділяється біла рідина, яка схожа на молоко.

Для точної реєстрації фази обгортки качанів підрізають (розміри розрізу 5-7 на 3-4 см), потім її трохи розгортають і з двох суміжних рядків виймають по дві зернини. Всього розглядають 80 зернин. Після спостереження розріз закривають листками обгортки, а наступне спостереження проводять трохи далі від вийнятих під час попереднього огляду зернин.

Воскова стиглість. Зерно отримує колір, характерний для даного сорту. Консистенція його схожа на віск, зерно легко розрізається ножом, але рідина при цьому не виділяється. Обгортка висихає і втрачає зелене забарвлення. Визначається ця фаза по зернах тих же качанів, за якими спостерігали у фазу молочної стиглості.

Повна стиглість. Визначається по затвердінню зерна у середній частині качана. Якщо натиснути на зерно ножом, воно розколюється. Спостереження проводять так, як і при визначенні молочної та воскової стиглості.

9.5.4 Фази розвитку зернових бобових (гороху, бобів, люпину, сої та ін.)

Спостерігають фази: проростання насіння (горох), сходи (всі культури), 3-й справжній лист, 5-й справжній лист (у сої), утворення бокових пагонів (у сої), утворення суцвіть (крім сої), початок цвітіння, утворення бобів (у сої), кінець цвітіння (у гороху та сої), дозрівання.

Проростання насіння. Утворення корінця у не менш ніж 5 з викопаних у чотирьох частинах ділянки 20 зернин.

Сходи. У гороху, бобів, нуту з'явилися ростки. У квасолі, сої та люпину розкрилися сім'ядолі над поверхнею ґрунту. У книжці КСТ-1 фіксують перші сходи "а", коли їх ознаки реєструються в окремих місцях, і масові сходи "б", коли рядки чітко визначаються.

3-й справжній лист – у квасолі та люпину після роз'єднання сім'ядолей утворюються одразу два справжніх листки, після чого розгортається платівка 3-го листка. Це і є ознака фази. У гороху листя підраховують з 1-го справжнього листка.

5-й справжній лист. Ознака фази – розгортання 3-го трійного листка.

Утворення бокових пагонів. З'явилися зачатки перших бокових пагонів з пазух листя.

Утворення суцвіть - З'явилися зачатки перших суцвіть з пазух листя..

Початок цвітіння. Розкрилися пелюстки перших квіток.

Після масового цвітіння і до дозрівання перших бобів спостереження проводять на ділянці два рази на декаду, потім – через день.

Утворення бобів. Перші боби досягли довжини 1 см.

Кінець цвітіння. Зачатки суцвіть у пазухах верхнього листка не розвиваються. Вони починають засихати. Тільки у деяких оглянутих рослин залишилися квіти.

Дозрівання. Перші боби пожовтіли (побуріли, почорніли). Їх насіння має характерне забарвлення для даного сорту.

9.5.5 Фази розвитку гречки

У гречки спостерігаються такі фази розвитку: сходи, утворення суцвіть, цвітіння, дозрівання.

Сходи. Перші сходи (фаза "а") – в окремих місцях сім'ядолі, які з'явилися на поверхні ґрунту, розгорнулися, але рядки не означились;

масові сходи (фаза “б”) – теж саме на більшій частині ділянки, рядки означені чітко.

Утворення суцвіть. Ознакою фази є появлення на кінці стеблини зачатків перших бутонів.

Цвітіння. Перші квітки розкрилися. Якщо спостереження на ділянці ведуть через день, то після масового цвітіння і до дозрівання перших плодів на одиничних рослинах огляд проводять два рази на декаду.

Дозрівання. Більша частина коробочок на рослині дозріла, їх оболонка має характерне для даного сорту забарвлення (коричневе, темно-сіре, чорне), ядро плоду затверділо.

9.5.6 Фази розвитку соняшнику

У соняшнику спостерігаються такі фази розвитку: сходи, друга пара листя, утворення суцвіть, цвітіння, дозрівання, збиральна стиглість.

Сходи. Ознаки фази сходів у соняшника такі ж, як у гречки.

Друга пара листя. Появлення першої пари справжнього листя . Необхідно чітко відрізнити справжнє листя від сім'ядолей.

Утворення суцвіть. Це фаза утворення "кошика", його зовнішні листочки утворюють якби багатопроменеву зірочку серед верхнього листя. **Цвітіння.** Розкрилися трубчаті квітки, які знаходяться біля краю кошика. Якщо до них доторкнутися, на пальцях залишається жовтий пилок. Після масового цвітіння і до перших ознак зміни кольору шкірки крайніх зернят кошика огляд рослин проводять два рази на декаду, потім – через день.

Дозрівання. У середній частині кошика шкірка зернят набула властивого кольору (сірий, чорно-фіолетовий та ін.), сформувалося ядро, більша частина листя та язичкові квітки засохли, внутрішня частина кошика пожовкла. Після масового дозрівання спостереження проводять двічі на декаду .

Збиральна стиглість. Після дозрівання у 75 % рослин спостерігають за підсиханням тильної частини кошика. Спостереження припиняють, коли пожовтіють кошики не менш ніж у 85 % рослин. Цю дату приймають за дату збиральної стиглості.

9.5.7 Фази розвитку картоплі

Спостерігаються такі фази: сходи, утворення бокових пагонів, утворення суцвіть, цвітіння, кінець цвітіння, зів'янення картоплиння.

Ознакою фази **сходів** є появлення ростків на поверхні ґрунту в окремих місцях ділянки (перші сходи – фаза “а”), а потім на більшій

частині ділянки, коли чітко визначаються рядки (масові сходи - фаза “б”).

Утворення бокових пагонів реєструється, коли у пазухах нижнього листа починається подовження бокових пагонів.

Утворення суцвіть – появлення зачатків суцвіть на верхівках стеблин.

Цвітіння. Розкриття перших квіток у суцвіттях. Після масового цвітіння спостереження проводять двічі на декаду.

Кінець цвітіння. Зів’янення пелюсток у більшості квіток. Із 40 рослин, що спостерігаються, залишилось не більше чотирьох, які цвітуть. Відзначають тільки дату.

Зів’янення картоплиння. Пожовтіння, побуріння більшої частини листа у більшості рослин. Рослини припиняють вегетацію. Також відзначається тільки дата.

9.5.8 Фази розвитку коренеплодів (цукрових, кормових та столових буряків, моркви, петрушки та ін.) та їх ознаки

Сходи. Перші сходи (фаза “а”) – в окремих місцях сім’ядолі, які з’явилися на поверхні ґрунту, розгорнулися, але рядки не означились; масові сходи (фаза “б”) – теж саме на більшій частині ділянки, рядки означені чітко .

Перша пара справжнього листа. Це фаза утворення першого справжнього листка. Між сім’ядолями з’являється перший і одразу ж другий листок.

Друга пара справжнього листа. Не дивлячись на те, що листя у коренеплодів утворюється попарно, листки розташовуються не один проти одного, а трохи окремо, поодиноці. Тому ознакою цієї фази вважають появлення у точці росту 3-го справжнього листка.

Третя пара справжнього листа (5-й справжній листок). Розгортання 5-го листка .

Початок потовщення коренеплоду. Ознакою цієї фази вважається збільшення діаметра коренеплоду у найбільш товстій частині до 3-5 мм і утворення поздовжніх тріщин на шкірці внаслідок збільшення товщини коренеплоду. Для визначення фази оглядають по 5 рослин у чотирьох частинах ділянки спостережень. Після масового настання цієї фази спостереження проводять двічі на декаду.

Змикання рослин у рядках. Листя суміжних рослин зімкнулися на більшій частині спостережного майданчика, внаслідок розростання рослин утворюються суцільні рядки.Пожовтіння зовнішнього листа.

Нижнє старе листя почало жовтіти у більшості рослин. Якщо відбувається передчасне зів'янення зовнішнього листя внаслідок хвороби чи інших причин, то це відзначають у книжці КСГ-1. Протягом другого року життя коренеплоди проходять такі фази розвитку: утворення розетки, початок росту стеблини, утворення бокових пагонів, цвітіння, початок дозрівання, збиральна стиглість.

9.5.9 Фази розвитку плодкових культур та їх ознаки

Для спостережень за фазами розвитку плодкових культур вибирають 20 постійних екземплярів. Дерево чи кущ вважають такими, що вступили у будь-яку фазу, якщо ознаки цієї фази спостерігаються хоча б на окремих гілках даного екземпляру. Однак у деяких плодкових культур у певних умовах спостерігається періодичність у родючості. У цьому випадку долю охоплення (%) фазою цвітіння підраховують від кількості дерев, які не "відпочивають" у конкретному році. У зв'язку з цим у день початку цвітіння окремим рядком у книжці КСГ-1 приводиться кількість дерев, які не "відпочивають" у кожній повторності та їх загальна кількість.

При визначенні строків настання фаз гілки, які знаходяться нижче 50 см від землі, до розрахунку не приймають.

Плодові культури діляться на насінні (яблуна, груша, айва та ін.); кісточкові (слива, вишня, черешня, абрикос, персик та ін.); ягідні (смородина, агрус, малина, горобина, виноград, суниця та ін.); горіхоплідні (грецький горіх, фундук, мигдаль та ін.); цитрусові (лимон, мандарин, апельсин); субтропічні (гранат, хурма та ін.).

У провідних плодкових культур, які вирощуються в Україні (за винятком винограду), спостерігають такі фази: набубнявіння бруньок, розпукування бруньок, розгортання перших листочків з ростових бруньок, утворення суцвіть (малина), відокремлення бутонів (груша, яблуна), цвітіння, кінець цвітіння, формування (ріст) плодів (яблуна, груша, слива, абрикос, персик, айва), дозрівання плодів, осіннє забарвлення листя, листопад.

Крім того, відзначають закінчення росту пагонів у довжину, вторинний ріст пагонів, вторинне цвітіння, дозрівання деревини.

Набубнявіння бруньок. У кісточкових та насінних плодкових дерев плодові бруньки більше ростових і їх набубнявіння визначити легше. У ягідних культур помітних відмінностей між тими чи іншими бруньками немає. Тому у плодкових дерев відзначають початок набубнявіння плодкових бруньок, а у ягідних бруньки не ділять на плодові та ростові.

Ознаки цієї фази такі: на лусочках з'являються більш світлі частинки (смужки, куточки), які до цього знаходилися під прикриттям

нижніх лусочок; у вишні та черешні – зелені плямки на кінцях бруньок. У рослин з маленькими бруньками для фіксування цієї фази треба користуватися лупою.

Процес набубнявіння бруньок звичайно починається після переходу денної температури повітря через 5° С, тому з цього моменту треба уважно слідкувати за ознаками даної фази.

Розпукування бруньок. Розсунення внутрішніх лусочок на кінцях плодкових бруньок є ознакою їх розпукування. Між лусочками, що розсунулися, знаходяться верхівки центральних бутонів, чи згорнуті у трубочку листочки біля плідної розетки, чи декілька бутонів, чи один бутон, чи кінці листочків і водночас бутони.

При несприятливих умовах перезимівлі плодкові бруньки пошкоджуються. Весною вони не дають ознак розпукування, або розпукуються, але потім засихають та опадають. У випадку виявлення загибелі всіх чи більшої частини плодкових бруньок (рис. 5.23) про це роблять запис у книжці КСГ-1.

Розгортання перших листочків з ростових бруньок. Ознакою фази є розгортання перших листочків, які до цього знаходилися у складеному стані.

Утворення суцвіть відзначають тільки у малини, у якої суцвіття закладаються пізніше, ніж з'являється листя. Ознакою фази є появлення бутонів у пазухах листя.

Відокремлення бутонів фіксується у яблуні та груші перед цвітінням. Спочатку з розетки висувається група бутонів, поєднаних між собою. Ознакою фази є відокремлення бутонів один від одного та появлення пелюсток.

Цвітіння. Розгортання перших квіток є ознакою цієї фази. Не слід змішувати масове цвітіння (зацвітання не менш 50 % рослин) з повним цвітінням, коли розкривається більшість квіток на екземплярі, що спостерігається. Масове цвітіння, як правило, спостерігається через тиждень (при дуже теплій погоді через 3-4 дні) після розкриття перших квіток. Повне цвітіння не реєструють.

Після масового цвітіння рослин до появлення перших ознак дозрівання поодиноких плодів спостереження проводять два рази на декаду, а потім – через день.

Кінець цвітіння. Якщо у всіх квітів пелюстки обсіпались чи посохли, вважають, що рослина закінчила цвітіння. Підраховують кількість та відсоткову долю екземплярів з вказаними ознаками.

Формування (ріст) плодів. У кісточкових зав'язь розриває навколоплідник, у насінних – середній діаметр плоду досягає 1,5 см.

Дозрівання плодів. У кісточкових фаза фіксується, коли плоди стають м'якими та набувають характерне для даного сорту забарвлення. У насінних дозрівання характеризується відповідним забарвленням, а

також тим, що плоди легко відділяються від плодоніжок. Після масового дозрівання спостереження проводять два рази на декаду.

Осіннє забарвлення листя. У більшості дерев даного сорту більшість листя має осіннє забарвлення, залишилися лише поодинокі листки, що не змінили колір. При спостереженні за цією фазою огляд проводять два рази на декаду.

Листопад. Відзначають кінець листопаду, коли майже усі листя на дереві даного сорту опали. Це також є ознакою визрівання деревини молодих пагонів. Записують день, коли не менш 50 % рослин, що спостерігаються, скинули майже все листя.

Восени, з початку вересня до настання зими, під час огляду садових ділянок два рази в декаду проводиться візуальна оцінка визрівання деревини плодкових дерев з врахуванням її забарвлення (у балах). Для цього використовують шкалу, приведену у табл. 9.2.

Визрівання деревини характеризує закінчення ростових процесів. Зовнішньою ознакою закінчення визрівання в листопадних рослин є осіннє облітання листя. Результати спостережень записують в таблицю “Фази розвитку” книжки КСГ-1. У графі “Назва фази” пишуть “Ступінь визрівання деревини: 1,2,3 бали”. Причому під кожний бал приділяється окремий рядок. У наступних чотирьох графах указують кількість дерев із даним ступенем визрівання деревини, у шостій графі - відсоток охоплення цим ступенем визрівання.

Таблиця 9.2 – Оцінка визрівання деревини плодкових культур

Стан деревини	Оцінка, бали
Не визріла, має зелений колір, при згинанні еластична	1
Почала визрівати, кора побуріла	2
Визріла, кора має коричневий колір, при згинанні ламка. Почався листопад	3

Характерною фазою, що спостерігають у винограду є сокопересування (плач), яку починають спостерігати навесні, коли середньодобова температура повітря перейде через 5 °С. Для цього у 4-6 кущів роблять тонкі зрізи лози. День, коли сік з'являється у 2-3 кущів, реєструють як плач у даного сорту.

Також фіксують набубнявіння та розпукування бруньок (у винограду вони називаються вічками), розгортання першого та третього листка, утворення першого суцвіття, цвітіння, дозрівання, осіннє забарвлення листя, листопад та визрівання лози.

Треба враховувати, що у винограду відзначають початок дозрівання (коли ягоди на нижніх гронах досягають нормального для даного сорту розміру і починають розм'якшуватися) і повну стиглість (коли ягоди прийняли нормальне для даного сорту забарвлення, стали солодкими, насіння прийняло коричневе забарвлення).

Лоза винограду вважається дозрілою, якщо на $\frac{2}{3}$ її довжини шкірка придбала бурий колір і нігтем не здирається.

9.6 Спостереження за станом сільськогосподарських культур

9.6.1 Визначення густоти посівів сільськогосподарських культур

Густота стояння посівів – це кількість рослин на одиницю площі сільськогосподарського поля. Цей показник визначається у строки, які характеризують масове настання основних фаз розвитку рослин (табл.9.3). Виняток становлять спостереження за густотою посівів зернових культур у фазу колосіння (викидання), які проводять, коли ця фаза спостерігається не менш ніж у 75% рослин.

У залежності від виду сільськогосподарської культури та способу її вирощування підрахунок густоти проводять на ділянках чи відрізках рядків різного розміру у чотирьох повторностях. При цьому місця для визначення густоти вибирають так, щоб вони були типовими за розташуванням та станом рослин, і щоб по небагатій кількості рослин отримати найбільш повну характеристику стану сільськогосподарської культури на всьому полі протягом періоду вегетації.

Для спостережень за густотою рослин та густотою стеблин використовують квадратні рамки з довжиною сторони 50 см, кілочки, цупкі нитки, 10-метрову мірну стрічку.

Для розрахунку густоти у двох суміжних рядках кожної повторності вибирають та закріплюють кілочками два відрізки по 0,5 м кожний. Відстань між кілочками визначають з точністю до 1 см.

Для визначення густоти посівів результати підрахунків у кожній повторності треба додати, суму поділити на 4 (кількість повторностей), частку помножити на кількість рядків в 1 м.

Приклад. Визначити густоту стояння проса при двострочному (стрічковому) способі сівби у фазі 3-го листа, якщо загальна кількість

рослин на чотирьох метрових відрізках складає $65+58+68+64=255$, а у відрізьку 5,12 м міститься 18 строчок (9 стрічок).

Середня кількість рослин у метровому відрізьку дорівнює 64 ($255:4=64$). Середня кількість рядків у метровому відрізьку дорівнює 3,5 ($18:5,12=3,5$). Густота дорівнює $64 \times 3,5=224$ рослин на 1 м².

Таблиця 9.3 – Строки спостереження за густотою посівів сільськогосподарських культур у залежності від фаз розвитку

Культура	Строк спостережень			
	1-й	2-й	3-й	4-й
1	2	3	4	5
Жито, пшениця, тритікале, ячмінь, овес	3-й лист	Утворення нижнього вузла соломини над поверхнею грунту	Колосіння	Молочна стиглість
Рис	3-й лист	Викидання волоті	Молочна стиглість	
Просо, сорго, чумиза	3-й лист	- " -	-	
Кукурудза	Після остаточного проріджування (або при масовому утворенні 9-го листа)	Викидання волоті	-	
Льон	Ріст стебла	Цвітіння	Зелена стиглість	
Конопля	Друга пара листя	Цвітіння	Після збирання посконі	
Гречка	Утворення суцвіть	Цвітіння		
Зернові бобові, ріпак, гірчиця	3-й лист (у сої 5-й лист)	Цвітіння		
Бавовник	- " -	-	Розкриття першої коробочки	

Продовження табл. 9.3

Картопля	Через 10 днів після утворення масових сходів	Утворення суцвіть		
Соняшник, рицина	Після остаточного проріджування	Цвітіння		
Культура	Строк спостережень			
	1-й	2-й	3-й	4-й
Тютюн	Наступна декада після висаджування розсади	Цвітіння – у насінників, після вилучення суцвіть – у ненасінників		
Цукровий буряк та кормові коренеплоди	Після остаточного проріджування	Закриття міжрядь		
Однорічні трави	3-й лист		Колосіння (викидання) – у злакових, цвітіння – у бобових	
Багаторічні трави першого року життя	Мілкостеблинні - кущіння, утворення бокових пагонів; силосні – через 20 днів після сходів (висаджування розсади)		Колосіння (викидання) – у злакових, цвітіння – у інших видів трав	Перед косо-вицею
Багаторічні трави другого року життя	Під час весняного обстеження		- " -	- " -

Третій спосіб розрахунку густоти - підраховування кількості рослин на 10 погонних метрах. Його використовують для цукрових буряків, соняшника, кукурудзи, картоплі та інших культур з великим стеблом. У кожній з чотирьох частин ділянки поблизу місць визначення фаз розвитку рослин вибирають відрізки по 10 м (по 5 у двох суміжних рядках) з рослинами, типовими по своєму стану для більшої частини ділянки. Їх відзначають кілочками. Відстань між кілочками не повинна перевищувати 500±5 см.

У всі строки визначення густоти у кожному з визначених місць підраховують кількість рослин (кущів, стеблин). Результати підрахунків

на кожній повторності додають, суму ділять на кількість повторюваностей, а частку множать на кількість рядків в 10 м. У такий спосіб розраховують густоту рослин на 100 м².

Приклад. Визначити густоту посівів картоплі, якщо кількість кущів на чотирьох 10-метрових відрізках складає 44, 49, 41 та 52, а у 10 м знаходиться 14 рядків.

Густота дорівнює $(44+49+41+52):4 \times 14 = 651$ кущ на 100 м².

Четвертий спосіб визначення густоти – підрахунок на ділянках 5 х 5 м. Використовують його при квадратно-гніздовому способі сівби. У всі строки спостереження на кожній повторності підраховують кількість рослин та розраховують їх густоту на 100 м².

При спостереженнях у фазі 3-го листа підраховують загальну кількість рослин, при появленні нижнього вузла соломини над поверхнею ґрунту – кількість живих стеблин, у фазу колосіння (викидання) та молочної стиглості – загальну кількість стеблин та кількість стеблин з колосом.

При визначенні густоти озимих зернових культур у перший строк спостережень (фаза 3-го листа) підраховують кількість живих рослин окремо на кожній ділянці.

Восени на гідрометеорологічних станціях проводять спостереження за динамікою кущіння озимих. Для цього з початку кущіння рослин щодавно на кожній повторності підраховують кількість живих стеблин і розраховують кущистість рослин діленням їх загальної кількості на кількість рослин.

У фази колосіння (викидання) та молочної стиглості визначення густоти стояння проводять так, як і у ярих зернових.

Густоту коренеплодів та бульбоплодів, соняшника, кукурудзи, а також інших рослин з великим стеблом визначають третім або четвертим способом. У всі строки спостережень на кожній повторності підраховують кількість рослин і розраховують їх густоту на площі 100 м².

У льону, ріпаку, зернових бобових з невисоким і тонким стеблом підраховують кількість рослин у чотирьох повторностях і розраховують густоту рослин на 1 м².

9.6.2 Визначення висоти рослин

Висоту рослин польових культур визначають у день масового настання фази, а також в останній день декади. Строки першого та останнього визначення приводяться у табл. 9.4.

Виміри проводяться за допомогою снігомірної лінійки з точністю до 1 см. Висоту зернових колосових визначають у чотирьох частинах ділянки біля місць спостережень за фазами розвитку. У кукурудзи, картоплі, соняшника, бавовнику висота визначається на тих же рослинах, на яких ведуть спостереження за фазами розвитку. Спостереження за висотою цукрового буряку та овочевих культур не проводяться.

Таблиця 9.4 – Строки початку та закінчення визначення висоти рослин

Культура	Строк визначення	
	Першого	Останнього
Озимі (жито, пшениця, ячмінь, тритікале)	Восени – 3-й лист Навесні – при обстеженні стану озимих	Восени – при осінньому обстеженні стану озимих Влітку – молочна стиглість
Ярова пшениця, овес, ячмінь, рис	3-й лист	Молочна стиглість
Кукурудза	5-й лист	- " -
Зернові бобові	3-й лист	Після закінчення росту (коли результати двох чергових декадних вимірів будуть відзначатися не більше ніж на 3 см); у гороха – у фазу кінець цвітіння
Просо, сорго, чумиза	Вихід у трубку	
Льон (початок росту)	Початок росту стебла	
Коноплі, соняшник	Друга пара листя	
Гречка, рицина	Утворення суцвіть	
Картопля	Утворення бокових пагонів	
Природні трави на сінокосах та пасовищах, однорічні та багаторічні трави, травосуміші	Після досягнення висоти 5 см навесні або після кожного косіння	Початок косовиці на майданчику спостережень, закінчення росту восени

Висоту рослин озимих, ранніх ярих зернових культур та рису до фази виходу в трубку визначають від поверхні ґрунту до кінця листа, який буде найдовшим, якщо листя прикласти до вертикальної рейки.

При масовому виході у трубку озимих культур, ранніх ярих культур та рису визначення висоти проводять на головній стеблині двома способами: як було вказано вище і від поверхні ґрунту до відгину верхнього листа. Висоту сорго, проса, чумизи з фази виходу у трубку до масового викидання визначають тільки до відгину листа.

З фази масового колосіння (викидання) висоту рослин колосових культур (пшениця, ячмінь, жито, рис та ін.) визначають до верхівки колосу (волоті). Під час останнього визначення висоти хлібних злаків (фаза молочної стиглості) на тих же стеблинах визначають довжину колосся чи волотей та розраховують їх середню довжину.

У кукурудзи у період листоутворення висоту виміряють від поверхні ґрунту до кінця листа, який буде найдовшим, якщо листя прикласти до вертикальної рейки. Після викидання волоті висоту кожної рослини виміряють до верхівки волоті, тобто до самої високої точки рослини.

У дводольних рослин до утворення суцвіть довжину стеблини визначають від її основи до точки росту, а після утворення суцвіть – до вершини суцвіття, яким закінчується головне стебло. Винятком є картопля, висоту якої визначають після цвітіння без врахування довжини суцвіть.

У гороху з початку фази утворення суцвіть стеблина починає переплітатися і вимірювання викликає труднощі. Виділяють по 10 цілих рослин, які потім виміряють від основи стебла до його верхівки чи до верхівки суцвіття. Якщо стеблина обірветься, то її виміряють по частинах.

У дводольних рослин до утворення суцвіть довжину стеблини визначають від її основи до точки росту, а після утворення суцвіть – до вершини суцвіття, яким закінчується головне стебло. Винятком є картопля, висоту якої визначають після цвітіння без врахування довжини суцвіть.

У гороху з початку фази утворення суцвіть стеблина починає переплітатися і вимірювання викликає труднощі. У тих випадках, коли не можна визначити висоту гороху, рекомендується визначати її таким чином. У чотирьох частинах ділянки спостереження, біля місць спостережень за фазами розвитку, виривають 12-14 рослин і у полі акуратно розбирають їх. Виділяють по 10 цілих рослин, які потім виміряють від основи стебла до його верхівки чи до верхівки суцвіття. Якщо стеблина обірветься, то її виміряють по частинам.

У гречки висоту виміряють тільки до верхівки суцвіть.

Значення висоти рослин записують у книжку КСГ-1. У записах відзначають найменування параметра, який вимірявся та спосіб вимірювань.

9.6.3 Визначення маси картоплиння та бульб картоплі

Масу бульб та картоплиння визначають на 8-9-й день декади на тих же ділянках спостережень, де ведуть всі агрометеорологічні спостереження. Перше спостереження маси проводять приблизно через 20 днів після фази утворення суцвіть, а далі – кожну декаду до повного зів'янення картоплиння чи його загибелі від заморозків.

Для визначення маси бульб та картоплиння у чотирьох частинах ділянки спостережень викопують по 6 кущів середнього розвитку (середньої висоти та потужності). Всього викопують 24 кущі. Картоплиння складають в один мішок, а бульби (навіть найменші) – у другий і доставляють у приміщення.

У приміщенні у картоплиння відрізають корені у нижньої частини стебла, яка має зелений колір, і підраховують загальну кількість стеблин з листям у всіх кущів. Після видалення залишків землі бульби підраховують та зважують з точністю до 1 г.

Із загальної кількості бульб вибирають, підраховують та зважують бульби, масою 60 г та більше, які відносять до бульб нормального розміру. Крім того, враховують всі пошкоджені бульби, окремо виділяючи бульби, хворі на фітофтору.

Після закінчення робіт всі бульби повертають власнику посадок.

Приклад. Під 24 кущами картоплі викопали 480 бульб загальною масою 10320 г. З них 40 досягли нормального розміру. Їх маса складає 2476 г. З 480 бульб 50 були пошкоджені (у тому числі 48 - фітофторою). Маса картоплиння складала 21984 г і в ній було 144 стеблин з листям.

Середня кількість бульб під одним кущем складає $480:24=20$ шт., а їх маса дорівнює $10320:24=430$ г.

На площі у 100 м^2 було підраховано 210 кущів, значить, на 1 га (10000 м^2) буде 21000 кущів.

Маючи такі дані, можна розрахувати врожайність бульб у тонах на гектар. Для цього середню масу бульб під одним кущем, яка дорівнює 430 г, множать на кількість кущів на 2 га (21000) і результат ділять на 1000000 (для переведу у тони): $430 \cdot 21000 : 1000000 = 9,0$ т/га.

9.6.4 Визначення приросту рослинної маси природних кормових угідь, багаторічних та однорічних сіяних трав та травосумішей

Визначення приросту рослинної маси трав проводять на тих ділянках, де планують косовицю рослинної маси на сіно чи силос, а також на культурних пасовищах. Проби беруть кожну декаду в період від досягнення рослинами висоти 10 см до масового цвітіння чи косовиці.

Спостереження проводять у чотирьох частинах ділянки спостережень. Стебла зрізають на ділянках 50x50 см, а при широкорядному способі сівби – на відрізках довжиною один метр. Рослини з кожної повторності складають у поліетиленові пакети, які для попередження випарування вологи зав'язують. По можливості проби одразу доставляють у приміщення і зважують. Проби з кожної повторності зважують з точністю до 1 г.

Спосіб розрахунку врожайності сирої фітомаси трав з 1 м² залежить від способу відбору проб у полі. Якщо рослини зрізають на площадках розміром 50x50 см, то при чотирикратній повторності врожайність трав буде дорівнювати загальній масі рослин, які зрізалися з чотирьох площадок. При широкорядному способі сівби необхідно масу проби поділити на кількість повторностей (чотири) і результат помножити на кількість рядків в 1 м, яку було визначено при спостереженнях за густотою посіву.

Приклад. Маса суданської трави, яку зрізали на 4-х відрізках довжиною по 1 м, дорівнює 4680 г. Середня кількість рядків в 1 м – 2,5. У цьому випадку врожайність сирої фітомаси суданської трави дорівнює $4680 : 4 \times 2,5 = 2925$ г/м².

Після зважування рослинну масу висипають на церату і беруть невеликими порціями з різних місць. Таким чином складають середню пробу для визначення виходу сухої маси. Маса середньої проби повинна бути приблизно 0,5 кг. У пробі повинні знаходитись усі частки рослин (стебла, листя, суцвіття, плоди). Вибрану середню пробу подрібнюють та поміщають у формочки, масу яких треба зважити. Після цього біомасу у формочках одразу ж висушують у термостаті.

Вихід сухої маси визначається після висушування середньої проби у термостаті протягом 1 години при температурі 100-105 °С, потім – при температурі 80 °С до постійної маси. Кінець висушування визначають контрольним зважуванням (за 1 г висушування втрата вологи не повинна перевищувати 1 % маси проби до висушування). Зважування після висушування проводять таким же чином, як і до висушування. Всі розрахунки проводять з точністю до 1 г.

Вихід сухої маси отримують діленням маси сухої речовини на масу сирої.

Приклад. Середня проба розташована у п'яти формочках загальною масою 12 г. Маса проби до висушування 510 г, після висушування 141 г. Маса сирої речовини $510 - 12 = 498$ г, а сухої $141 - 12 = 129$ г. Вихід сухої речовини буде $129 : 498 = 0,259$ г..

9.6.5 Визначення маси кореня цукрового буряку

Визначення маси кореня цукрового буряку проводять на 8 –10-й день декади на тих же ділянках, де ведуть спостереження за фазами розвитку рослин та їх густотою. Масу кореня визначають за його діаметр. Вимірювання діаметру кореня проводять на одних і тих же рослинах у всі декади. Вибір цих рослин проводять таким чином: у чотирьох частинах ділянки спостереження (повторностях) вибирають по 10 типових рослин (по 5 у двох суміжних рядках). Всього на ділянці спостереження виміри проводять на 40 рослинах. Кожній рослині у повторності надають постійний номер з 1-го по 10-й. Номери зберігають за рослинами протягом усього періоду спостережень.

Якщо рослина пошкоджується або погано розвивається, замість неї вибирають наступну у рядку, близьку за параметрами.

Для визначення строків початку вимірювань діаметра коренеплоду на 40 рослинах проводять серію вибіркового вимірів. Їх починають у 3-й декаді червня та проводять щодакдно на чотирьох будь-яких рослинах (у кожній повторності) до тих пір, поки середня маса з 16 коренеплодів в одну з декад не буде дорівнювати 50 г. З цієї декади починають визначати масу коренів у повному обсязі (по 40 рослинах). Останній вимір проводять за день до збирання.

У період збирання рослини, що спостерігають, викопують та зважують для порівняння фактичної маси кожного кореня з розрахунковою.

Вимірювання діаметра рекомендується проводити медичним циркулем . Виміряють діаметр найтовстішої частини кореня по двох напрямках (один – впродовж рядку рослин, другий – впоперек).

Два виміри потрібні тому, що коренеплід цукрового буряку має не круглу, а трохи сплюснуту форму.

Після вимірювання діаметра корені присипають землею, трохи її ущільнюють, але при цьому зберігають максимальну обережність, щоб не погіршити умови росту.

Після визначення маси кожного з 40 коренеплодів визначають середню масу одного кореня діленням сумарної маси усіх коренеплодів на 40. У подальшому значення середньої маси коренеплодів використовується при складанні прогнозу урожаїв цукрових буряків.

9.7 Спостереження за формуванням елементів продуктивності

9.7.1 Зернові колосові культури

Врожай зернових колосових культур визначається такими елементами: густиною продуктивних стеблин, кількістю зерен у колосі (волоті) і масою 1000 зерен. Спостереження за формуванням перших двох елементів дозволяють з великою завчасністю говорити про перспективну продуктивність цих культур у поточному році.

До програми спостережень входять визначення:

- кількості колосків у колосі (волоті);
- кількості зерен у колосі.

Визначення кількості колосків у колосі проводять у три строки:

- після утворення нижнього вузла соломини;
- одночасно з визначенням густоти у фазу колосіння;
- під час масового настання молочної стиглості.

У ячменю, рису та вівса визначення кількості колосків проводять один раз водночас з визначенням густоти стояння у фазу колосіння. Кількість зерен у колосі жита, пшениці та тритікале визначають один раз після масового настання молочної стиглості.

У перший строк під час обстеження ділянки спостережень викопують 3-4 рослини, типових для більшої частини ділянки. Якщо колос у цих рослин розвинений добре і можна підрахувати кількість колосків, то додають ще рослини (всього 10) і на них підраховують кількість колосків.

Для розрахунків у другий строк складають пробу колосся (волотей). Для цього у чотирьох частинах ділянки зрізають по 10 колосів, у кожному підраховують кількість розвинених та недорозвинених колосків.

У третій строк підраховують розвинені та недорозвинені колоски, а також кількість зерен.

9.7.2 Спостереження за елементами продуктивності гречки

Ці спостереження складаються з підрахунку кількості зерен, що утворились. Підрахунки проводять щодаки (у 8-9-й день), починаючи з третьої декади після реєстрації масової фази цвітіння до повної стиглості (дозрівання) чи збирання.

У чотирьох частинах ділянки спостереження на відстані 1-2 м від місць спостереження фаз розвитку, викопують по 10 рослин гречки без вибору. Якщо не всі відібрані рослини є продуктивними, то у тому ж рядку продовжують викопувати підряд рослини до тих пір, поки

загальна кількість продуктивних рослин не досягне 10. Кількість рослин, відібраних на чотирьох повторностях, які мають плодоносні коробочки, завжди повинна дорівнювати 40. Далі підраховують кількість зерен за допомогою відриву тих зав'язей, у яких можна визначити ядро зерна.

9.7.3 Спостереження за елементами продуктивності кукурудзи в період листоутворення та формування зерна

У період листоутворення спостереження проводять по рослинній масі. Визначення її проводиться в останній день декади, починаючи з утворення 9-го листка, а також при масовому викиданні волоті. Вимірювання проводять на тих же рослинах, на яких визначають фази розвитку (по 10 рослин на кожній з чотирьох частин ділянки).

Для визначення маси рослин виміряють висоту рослин та діаметр їх стеблини у нижній частині рослини. Розраховують масу рослин кукурудзи по висоті та діаметру стеблини.

Після настання фази цвітіння волоті в останній день кожної декади підраховують кількість качанів, що сформувалися у кожній з 40 рослин, за якими ведуться спостереження. Такі визначення проводять до масового настання фази молочної стиглості (включно).

Визначення продуктивності кукурудзи під час формування зерна проводять один раз у фазі молочної стиглості.

Для цього у двох частинах ділянки (першій та третій) біля рослин, на яких визначають фази розвитку, зрізають по 5 типових рослин. У кожної рослини визначають:

- висоту головної стеблини,
- діаметр головної стеблини,
- масу рослини,
- кількість качанів на головній стеблині, кількість бокових стеблин, кількість качанів на бокових стеблах,
- масу качанів головної стеблини,
- кількість зернин в одному з подовжніх рядків качана,
- кількість подовжніх рядків у качана, кількість зернин у качані.

Врожайність рослинної маси у фазу молочної стиглості визначають за допомогою множення середнього значення маси рослини на кількість рослин на одиницю площі. Врожайність качанів кукурудзи $У_{\Pi}$ (т/га) визначають за формулою

$$У_{\Pi} = \frac{M_{\Pi} N_{\Pi} N_P}{10000}, \quad (9.2)$$

де M_{Π} – середнє значення маси одного качана, г; N_{Π} – середня кількість качанів на головній стеблині; N_P – середня кількість рослин на 100 м².

9.8 Визначення структури врожаю

9.8.1 Визначення структури врожаю зернових культур

Елементи продуктивності сільськогосподарських культур, які визначають в момент дозрівання врожаю, складають його структуру. Структура врожаю зернових культур визначається при масовому настанні фази воскової стиглості.

До структури врожаю зернових входять такі чинники:

- висота рослин;
- кількість стеблин;
- процент колосся, пошкодженого хворобами та шкідниками;
- кількість колосків у колосі;
- маса зерна з 1 м²;
- продуктивність колоса;
- маса 1000 зернин;
- кількість зернин у колосі;
- міра полягання.

Структуру визначають у кожній з восьми частин 50х50 см ділянки спостереження. Спочатку визначають висоту 5 будь-яких стеблин, потім все колосся зрізають і складають в окремі пакети. Зразки переносять до приміщення агрометстанції для аналізу.

У кожній пробі підраховують кількість зрізаного колосся та визначають, яка частина його пошкоджена шкідниками та хворобами.

Після аналізу зразків зерна кожної проби зважують з точністю до 0,1 г. Потім зерно з усіх проб поєднують, ретельно перемішують та виділяють зразок для визначення маси 1000 зернин. Маса проби – 50 г. Пробу зважують з точністю до часток грама, потім вибирають дві проби по 500 зернин та визначають кількість та відсоток сплющених зернин.

Потім визначають вологість зерна. Для цього зерно, яке залишилося, ретельно перемішують та відбирають 4 зразки (близько половини вагового стаканчика кожна). Зерно зважують та висушують у термостаті при температурі 100-105 °С до постійної маси. Вологість розраховують у перерахунку на сиру речовину. Результати зважувань записують до книжки КСГ-3, а розрахунок середньої вологості – до КСГ-1.

Розрахунок елементів структури врожаю, які приведені до стандартної вологості, роблять за формулою

$$M' = \frac{M(100 - w)}{100 - w'}, \quad (9.3)$$

де M' та M – маса зерна (г) відповідно при стандартній (w') та фактичній (w) вологості (%). Для зернових стандартна вологість дорівнює 14%.

Середню кількість зерна (\bar{N}) у колосі (волоті) визначають за формулою

$$\bar{N} = \frac{M'_k \cdot 1000}{M'_{1000}}, \quad (9.4)$$

де M'_k та M'_{1000} - продуктивність колоса (середня маса зерна одного колоса чи волоті) та маса 1000 зернин відповідно, які приведені до стандартної вологості.

9.8.2 Визначення структури врожаю кукурудзи

Спостереження проводять перед збиранням у рослин, на яких спостерігали фази розвитку.

Якщо збирання проводиться у період листоутворення, викидання чи цвітіння волоті, то зрізають кожну з 40 закріплених для спостережень рослин. У них визначають:

- висоту рослини,
- діаметр головної стеблини,
- масу рослини (з боковими пагонами),
- кількість бокових пагонів.

Якщо збирання проводиться у період від цвітіння качана до настання воскової стиглості, структуру врожаю визначають так, як і при визначенні продуктивності кукурудзи у фазі молочної стиглості, але визначення структури врожаю проводять на 20 рослинах (по 5 рослин на кожній з чотирьох повторностей).

Якщо збирання проводиться у фазі воскової стиглості та пізніше, визначення структури врожаю проводять по зерну. У цьому випадку підраховують кількість продуктивних рослин на 100 м². Потім з 20 рослин знімають всі качани з головних стеблин, причому попередньо записують кількість продуктивних качанів на головній стеблині кожної рослини. На станції качани кожної повторності обмолочують та зерно зважують. Для того, щоб розрахувати масу зерна з 1 м², необхідно масу зерна усіх качанів поділити на 20 (кількість рослин, взятих для аналізу) та помножити на кількість продуктивних рослин на 1 м².

Приклад.

Маса зерна (при фактичній вологості) з 1 м² дорівнює 3663,0 г, а густота посівів – 452 продуктивних рослин на 100 1 м².

Маса зерна при фактичній вологості з 1 м² дорівнює $3663,0 : 20 \times 4,52 = 827,8$ г/м².

Після зважування зерно всіх повторностей змішують і визначають вміст води і масу 1000 зернин.

9.9 Спостереження за пошкодженням посівів несприятливими метеорологічними явищами

До несприятливих для сільського господарства метеорологічних явищ відносять заморозки, засуху, суховій, сильні вітри, зливи, град та пилові бурі. Також пошкодження можуть викликати ґрунтові кірки та перезволоження ґрунту.

Визначення міри пошкодження складається у візуальній оцінці кількості пошкоджених органів: одиничні (до 10 %), небагато (11-20 %), багато (21-50 %), більшість (51-80 %), всі (81-100 %).

Якщо спостереження ведуться через день, то огляд рослин треба проводити у другій половині того дня, у який несприятливе погодне явище спостерігалось. Якщо обхід ділянок проводять два рази на декаду, то реєстрацію пошкоджень треба проводити в останній день спостережень.

Перш за все оглядають рослини на ділянці спостережень, а потім – на всьому полі, що зайняте даною культурою. Запис відомостей про пошкодження рослин проводять у книжку КСГ-1.

Заморозки. Огляд рослин проводять після кожного заморозку, який зафіксовано після появи сходів (висадки розсади) теплолюбних культур, початку цвітіння садів, відкриття кущів винограду навесні, і ведуть до збирання врожаю сільськогосподарських культур. Оглядати рослини треба незалежно від того, де зареєстровано заморозок (по мінімальному термометру у психрометричній будці, на поверхні ґрунту або тільки по наявності інею).

Огляд теплолюбних сільськогосподарських культур, пошкоджених навіть слабкими заморозками, роблять і в наші дні, коли мінімальна температура у психрометричній будці знижується до 2° С та нижче.

Запис у таблицю книжки КСГ-1 проводять тільки у тому випадку, якщо заморозком пошкоджено:

- листя та свіжа зелень загинули, зелень відростає слабо,
- листопад прискорили заморозки;
- стебла та пагони, бруньки у плодівих;
- суцвіття, бутони, квіти, маточки;

- недостиглі плоди чи зерно, яке не досягло воскової стиглості;
- стиглі плоди, зерно, яке досягло воскової стиглості;
- рослини цілком вимерзли.

Засухи та суховії. За дією засухи та суховіїв необхідно слідкувати у період сухої погоди (при збереженні протягом 10 днів та більше відносної вологості повітря вдень 30 % та менше), особливо якщо запаси ґрунтової вологи незначні (в орному шарі суглинистого ґрунту менш 10 мм), а також у дні з високою температурою та низькою відотною вологістю повітря, особливо при наявності вітру.

Явні зовнішні ознаки пошкодження рослин такі:

- пожовтіння чи побуріння листя (нижнього та верхнього ярусів), а також їх висихання у зеленому стані;
- пожовтіння колосся;
- висихання зачатків чи вже розвинених суцвіть, бутонів, квіток, нестиглих плодів;
- висихання нитковидних стовпчиків кукурудзи.

На природних пасовищах відзначають передчасне висихання трав. При недостатньому зволоженні ґрунту, високій температурі повітря та суховіях рослини закінчують ріст, втрачають тургор (який не відновлюється і вночі), жовкнуть та висихають.

Град, зливи, сильний вітер, пилова буря т ін. У книжці КСГ-1 відзначають тривалість та інтенсивність явища, яке пошкодило сільськогосподарські культури.

Град є особливо небезпечним, коли діаметр градин становить 20 мм та більше. Зливи – випадіння опадів 20 мм та більше за період менше 1 години. Відзначають кількість опадів за час випадіння зливи. Сильний вітер – вітер при середній швидкості 25 м/с та більше. Відзначають максимальну швидкість вітру, який пошкодив рослини. Пилова буря – перенос великої кількості пилу чи піску сильним вітром у приземному шарі повітря. Відзначають тривалість явища, площу пошкоджених посівів (у процентах), максимальну висоту шару пилу, стан рослин.

Ґрунтова кірка. Ґрунтовою кіркою вважають щільний, зцементований поверхневий шар ґрунту. В одних випадках кірка відшаровується у вигляді плиток, в інших являє собою монолітний щільний шар.

Як правило, кірка на поверхні ґрунту виникає після сильних дощів (більше 10 мм), частіше зливових, при подальшому підвищенні денної температури повітря до 15-25 °С і температури поверхні ґрунту до 25-40 °С. Дощі, які випадають після цього, або збільшують щільність кірки (якщо температура повітря залишається високою), або пом'якшують її (при зниженні температури до 10-15 °С і менше).

Спостереження за ґрунтовою кіркою проводять у дні огляду (через день) ділянок спостережень:

- ранньої ярої зернової культури – від сівби до кущіння, при її відсутності до фази вихід у трубку;
- кукурудзи, цукрових бур'яків чи іншої технічної культури – від сівби до утворення масових сходів;
- картоплі – від сівби до змикання рослин у рядках.

9.10. Визначення міри розповсюдження бур'янів

Спостереження проводять на всіх ділянках спостережень, за винятком ділянок з багаторічними травами, природних пасовиськ, деревних та чагарникових рослин. Оцінку міри розповсюдження бур'янів дають у балах відповідно табл. 9.5.

Таблиця 9.5 – Оцінка інтенсивності забиття посівів

Наявність бур'янів	Оцінка, бали	Наявність бур'янів	Оцінка, бали
Немає	0	Зустрічаються часто, але не створюють умов для помітного пригнічення культурних рослин	3 (середня)
Зустрічаються рідко майже непомітні серед культурних рослин	1 (дуже слабка)	Багато, помітно пригнічення культурних рослин	4 (велика)
Помітні тільки зблизька, здалека їх не видно	2 (слабка)		

9.11 Спостереження за пошкодженням посівів хворобами та шкідниками

Спостереження за пошкодженням посівів хворобами та шкідниками проводять незалежно від того, пошкоджуються вони хворобами та шкідниками, яких добре видно (іржа, головня, шкідлива черепашка та ін.), чи шкідниками та хворобами, що носять прихований характер (кукурудзяний метелик та ін.).

Міра пошкодження рослин встановлюється безпосередньо у полі по результатам детального огляду рослин у чотирьох повторностях. Візуально визначають: пошкоджені деякі рослини, багато, всі. Записи проводяться у книжці КСГ-1.

Якщо пошкодження сільськогосподарської культури викликали декілька видів шкідників та хвороб, то у книжці КСГ-1 перелічують найголовніші з них, причому їх розташовують за ступенем шкідливості у порядку від самого шкідливого до менш шкідливих.

9.12 Спостереження за поляганням посівів

Спостереження за поляганням посівів починають з декади, в яку рослини досягають висоти 10-15 см, і проводять до збирання всіх польових культур та трав. При цьому відзначають: дату полягання чи його посилення, фазу розвитку рослин у момент полягання та його інтенсивність, площу поля, зайняту рослинами, що полягли (у процентах від загальної площі поля), причини, які викликали полягання чи його посилення.

Площу полягання визначають візуально у процентах площі посівів, що полягли, від площі всього поля. Інтенсивність полягання визначають у балах за табл. 9.6.

Таблиця 9.6 – Оцінка інтенсивності полягання

Стан посівів	Оцінка, бали
Посіви непридатні до машинного збирання без спеціального пристрою	1
Збирати машинами важко	2
Полягання не заважає машинному збиранню, але стебла сильно схилилися	3
Полягання слабке	4
Посіви не полягли	5

Крім кількісної оцінки полягання, спостерігач відзначає причини низької стійкості рослин (перевищення дози органічних або мінеральних добрив, велика біомаса та ін.) та інтенсивність метеорологічних явищ, які спричинили полягання. Результати спостережень записують у книжку КСГ-1.

Контрольні питання

1. *Що таке агрометеорологічні спостереження?*
2. *Які спостереження передбачає програма агрометеорологічних спостережень для гідрометстанцій та постів?*
3. *У чому полягає принцип паралельності агрометеорологічних вимірювань?*
4. *Які ділянки спостережень називають однотипними?*

5. Як визначають ступінь зволоження ґрунту візуальним способом?
6. Як розрахувати вологість ґрунту у процентах від абсолютно сухого ґрунту?
7. За якими формулами розраховують щільність снігу та запаси води в ньому?
8. Які існують способи визначення густоти?
9. За якими показниками визначають висоту рослин зернових колосових після масового виходу у трубку?
10. Як розрахувати масу сухої речовини трав?
11. Коли проводять визначення структури врожаю кукурудзи?
12. За якими показниками визначають структуру врожаю зернобобових культур?
13. Як розрахувати масу 1000 зернин гороху та озимої пшениці?
14. Як оцінюють інтенсивність полягання посівів?
15. За якою шкалою оцінюють міцність ґрунтової кірки?
16. Які метеорологічні явища пошкоджують посіви?
17. Як відзначають ступінь розповсюдження бур'янів?
18. Які явища викликають полягання посівів?

10 СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ОЦІНКА КЛІМАТУ

10.1 Поняття про клімат і кліматоутворюючі фактори

Клімат – це закономірна послідовність атмосферних процесів, які формуються у певній місцевості внаслідок взаємодії сонячної радіації, атмосферної циркуляції та фізичних явищ, що відбуваються на підстильній поверхні і обумовлюють в цій місцевості багаторічний режим погоди.

Клімат характеризується середніми значеннями (нормами), екстремальними значеннями метеорологічних величин (температури та вологості повітря, опадів, вітру, хмарності і т. ін.) та показниками мінливості цих величин (середнє, середнє відносне та середнє квадратичне відхилення від норми і т. ін.), імовірністю та забезпеченістю тих чи інших значень метеорологічних величин, одержаних за багаторічними спостереженнями.

Головними кліматоутворюючими факторами будуть сонячна радіація, циркуляція атмосфери та підстильна поверхня. Під сумісною дією цих факторів формується клімат у різних куточках земної кулі. Великий вплив на клімат має господарська діяльність людей, яка змінює властивості підстильної поверхні.

Значний вплив на формування клімату має атмосферна циркуляція, бо вона обумовлює надходження у будь-яку місцевість повітря різного географічного походження.

Велике значення у формуванні клімату відводиться підстильній поверхні, яка складається з води та суші, котрі мають різні фізичні властивості і служать регуляторами річних коливань температури приземного шару повітря. Крім того, у морях та океанах існують теплі і холодні течії, які утворюють на суші, яку омивають, особливий клімат.

Впливає на клімат і рельєф місцевості, особливо великі гірські масиви. У гірській місцевості утворюється особливий тип клімату, який має назву гірський. Крім того, на клімат також впливають великі ліси.

Кліматичні фактори рідко діють по одному. Майже завжди спостерігається сумісна дія декількох факторів, які можуть змінюватись під впливом господарської діяльності людей (вирубка лісів, осушення боліт, оранка цілинних земель, утворення великих штучних водоймищ та ін).

Різні сполучення кліматоутворюючих факторів сприяють великому різноманіттю кліматів на Землі. За різними кількісними і якісними показниками клімат Землі класифікують. Існує декілька класифікацій різних авторів. Так, за класифікацією російського академіка Л.С. Берга на земній кулі виділено 12 типів клімату, які близькі до ландшафтно-географічних зон: вічної мерзлоти, тундри, тайги, листяних лісів

помірних широт, мусонний помірних широт, степів, субтропічний, середземноморський, субтропічних лісів, внутрішньоматерикових пустель помірного поясу, тропічних пустель, тропічних лісостепів (саван), вологих тропічних лісів.

Клімат не залишається незмінним. Впродовж історії Землі разом з усією природою змінювався і клімат. Існує багато гіпотез, які пояснюють коливання клімату. В цілому їх поділяють на три групи:

1. Астрономічні гіпотези, що пов'язують зміну клімату з періодичними коливаннями елементів земної орбіти.
2. Фізичні гіпотези пояснюють зміни клімату змінами інтенсивності сонячної радіації.
3. Геолого-географічні гіпотези пов'язують зміну клімату з переміщенням материків, зміною меж та глибини океанів, зі зміною напрямків та потужності океанічних течій.

Природні зміни клімату відбуваються дуже повільно, впродовж тисячоліть. Зміни клімату під впливом господарської діяльності людей відбуваються значно швидше (вирубка лісів, осушення і зрошення, збільшення вуглекислого газу у повітрі). Так, оранжерейний ефект призвів до глобального підвищення температури повітря за останнє сторіччя на $0,6^{\circ}\text{C}$ і ця тенденція зберігається і зараз.

Глобальна зміна клімату буде викликати збільшення опадів, прискорення танення льоду у північних широтах. Також вона буде впливати на сільськогосподарське виробництво.

Клімат в значній мірі визначає продуктивність вирощуваних сільськогосподарських культур, їх географічне поширення та умови утримання і випасання тварин. У зв'язку з тим, що сприятливих для вирощування рослин територій мало, то вирощуються вони і на територіях, які не гарантують високий врожай щорічно. Для зменшення негативного впливу несприятливих явищ встановлюються кількісні показники впливу факторів клімату на об'єкти і процеси сільськогосподарського виробництва. За допомогою таких показників виконується сільськогосподарська оцінка клімату.

10.2 Методика сільськогосподарської оцінки клімату

Основи агрокліматичної оцінки території розроблялись ще наприкінці XIX століття. О.І. Воейковим та П.І. Броуновим. У подальшому їх методики удосконалювались та розроблялись нові в дослідженнях Г.Т. Селянінова, П.І. Колоскова, Ф.Ф. Давітая, І.А. Гольцберг, С.О. Сапожникової, О.І. Руденко, Ю.І. Чиркова, Д.І. Шашко, О.М. Шульгіна, О.Р. Костянтинова, О.П. Федосєєва та

З.А. Міщенко. Підгрунтям методики сільськогосподарської оцінки клімату стали закони біології.

При сільськогосподарській оцінці клімату обов'язково враховуються біологічні особливості та вимоги сільськогосподарських культур до агрометеорологічних умов вирощування таких як: оптимальні і критичні температури повітря і ґрунту, кількість тепла та вологи, які необхідні для створення врожаю та ін.

Тому при сільськогосподарській оцінці клімату перш за все оцінюються:

- світлові і термічні ресурси вегетаційного періоду;
- умови зволоження як в цілому вегетаційного періоду, так і окремих його відрізків;
- частота і повторність несприятливих для сільського господарства явищ погоди;
- умови перезимівлі рослин;
- несприятливі для сільськогосподарського виробництва метеорологічні явища;
- мікроклімат в умовах гористого рельєфу тощо.

При оцінці клімату для сільськогосподарського виробництва необхідно також знати вимоги біологічних об'єктів до клімату: біологічні мінімуми, критичні і оптимальні температури, суми температур, які необхідні для зростання і розвитку культур.

Співставлення вимог рослин і світлових та водно-теплових ресурсів території дозволяє визначити міру відповідності між ними.

При сільськогосподарській оцінці клімату враховуються не тільки середні багаторічні значення елементів, але і їх повторюваність та забезпеченість.

Впродовж тривалого історичного розвитку у рослин сформувались добре визначені вимоги до умов існування. Потреба рослин в кліматичних умовах впродовж періоду вегетації визначається певними кількісними величинами – показниками.

Агрокліматичні показники – це кількісно виражені зв'язки між факторами клімату та характеристиками зростання, розвитку і формування продуктивності рослин.

Головними агрокліматичними показниками потреби рослин в теплі є суми активних і ефективних температур.

До агрокліматичних показників забезпечення рослин вологою відносяться суми опадів і запаси продуктивної вологи.

Агрокліматичними показниками умов перезимівлі рослин є абсолютний мінімум температури повітря і ґрунту, середній із абсолютних мінімумів, суми від'ємних температур повітря нижче 0, -5, -10, -15 °С, значення мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кущіння.

Крім головних агрокліматичних показників є багато інших: оптимальні та критичні значення температури повітря, тривалість вегетаційного періоду, тривалість беззаморозкового періоду, товщина снігу і т. ін.

10.3 Оцінка термічних ресурсів вегетаційного періоду

Термічні ресурси – це кількість тепла, яка накопичується на будь-якій території, де вирощуються сільськогосподарські культури. В агрокліматології термічні ресурси території оцінюються сумами температур (активних і ефективних).

Потреба рослин у теплі оцінюється або в цілому за вегетаційний період, або за окремі його відрізки – міжфазні періоди.

Порівняння термічних ресурсів території і потреб сільськогосподарських рослин у теплі дає змогу визначити забезпеченість рослин теплом.

В табл. 10.1 наводиться потреба деяких культур в теплі, яка відображена у біологічних сумах температур, сумі середніх за добу температур повітря за період вегетації від початку зростання до дозрівання у межах розповсюдження культури.

Таблиця 10.1 – Потреба провідних сільськогосподарських рослин у теплі від сходів до дозрівання ($\varphi = 55^{\circ}$ півн. ш.)

Культура	Температура, °С		Біологічна сума температур, °С	Поправка на 1°С широти, °С
	початку росту	дозрівання		
Яра пшениця (м'які сорти)	5	10	1400 – 1700	- 20
Овес	5	10	1250 – 1550	- 20
Ячмінь (ярий)	5	10	1250 – 1450	- 15
Озиме жито	5	10	1300 – 1400	- 30
Горох	5	10	1250 – 1550	- 8
Соняшник	8	10	1850 – 2300	0
Кукурудза	10	10	2200 – 2900	0
Гречка	7	10	1200 ... 1400	0
Картопля	10	-	1000 ... 2000	0
Просо	10	10	1570 ... 1875	15
Соя	10	10	2140 ... 3060	10

При використанні даних таблиці для рослин, що вирощуються в інших широтах, вводиться відповідна поправка (див. останній стовпчик).

Оскільки ресурси тепла визначаються кліматичними сумами активних температур вище 10 °С, а потреба рослин у теплі визначається біологічними сумами температур, які підраховуються від різних значень біологічного мінімуму, то вводиться кліматична поправка до сум біологічних температур за допомогою рис.10.1.

Середня багаторічна сума активних температур може відрізнятись від суми температур поточного року. Тому, щоб знати наскільки забезпечені рослини теплом, необхідно розраховувати забезпеченість певних сум за допомогою кривих забезпеченості термічних ресурсів, запропонованих Ф.Ф Давітая (рис.10.2) [25].

Сума температур, визначена для вегетаційного періоду в цілому, не дає уяви про динаміку накопичення сум температур впродовж періоду. Тому для цієї мети Ф.Ф. Давітая запропонував номограму (рис. 9.3), за допомогою якої можна визначити накопичення тієї чи іншої суми температур на будь-яку дату.

Якщо оцінюються термічні ресурси території, то сум температур недостатньо. Необхідно також враховувати тривалість беззаморозкового періоду, строки настання останнього весняного та першого осіннього заморозків, їх інтенсивність та повторність, а також середню температуру найтеплішого та найхолоднішого місяців.

10.4 Оцінка світлових ресурсів

Світлові ресурси вегетаційного періоду завжди оцінюються за сумами сонячної радіації – прямої та розсіяної. Оцінка дії променистої енергії на рослини виконується за сумами ФАР, тривалістю освітлення та спектральним складом сонячного саява (див. розділ 4).

Ефективність використання сонячної радіації характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД), який визначається відношенням кількості енергії, яка зберігалась у продуктах фотосинтезу, до кількості поглиненої радіації .

ККД поглиненої рослинами радіації характеризує їх фотосинтетичну активність. ККД посівів залежить від якості ґрунту, агротехніки, строків сівби, гущини посівів, погодних умов тощо. ККД змінюється впродовж вегетаційного періоду. Потенційне значення ККД більшості посівів сільськогосподарських культур становить біля 1 – 1,5 %. За даними Х.Г. Тоомінга теоретично можливий ККД становить 5 %.

На відміну від ККД посіву взагалі використовується поняття коефіцієнт господарської частини врожаю (КГЕВ), який розраховується

як відношення сухої фітомаси господарської частини врожаю (зерно, коренеплоди та ін.) до маси загальної фітомаси.

Рівень КГЕВ не пропорційний значенню ККД і тому дуже часто розраховується не значення ККД, а значення КГЕВ.

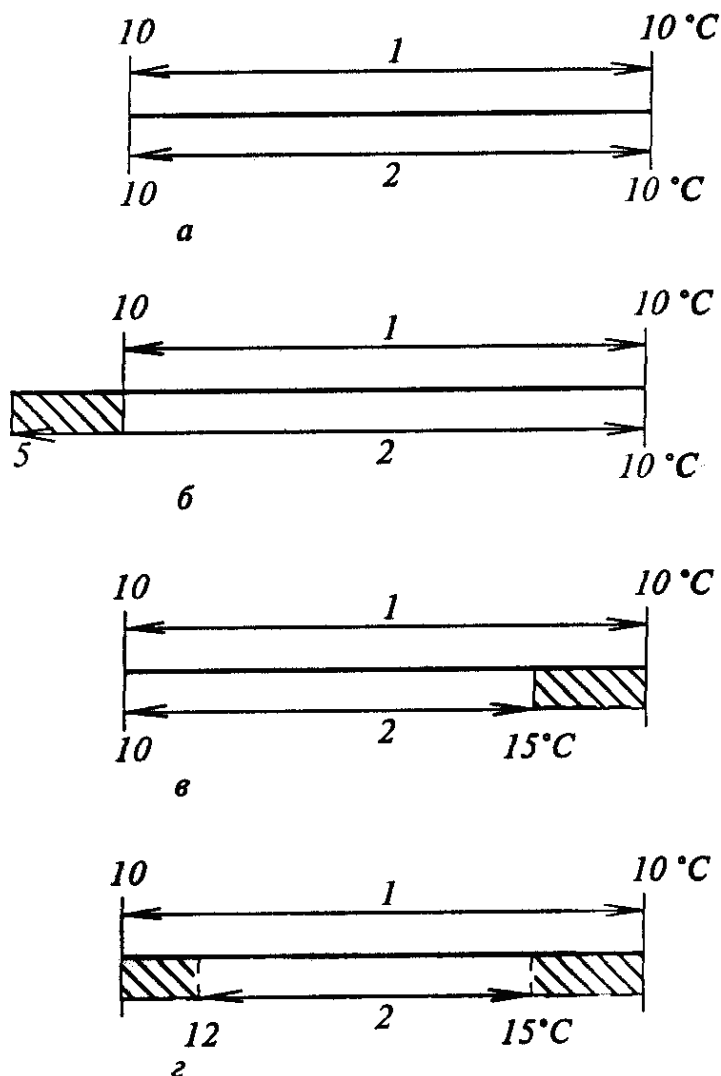


Рис 10.1 – Можливі варіанти при визначенні кліматичної поправки в сумах температур (*а* – кліматична сума, *б* – біологічна сума-навесні; *в*, *г* – відповідно восени).

1 – кліматична сума дорівнює 0°C , бо біологічний мінімум становить 10°C ;

2 – біологічна сума більше кліматичної, бо біологічний мінімум становить 5°C ;

3 – біологічна сума менше кліматичної за рахунок того, що дозрівання культури настає за температури 15°C ;

4 – біологічна сума менше кліматичної, бо біологічний нуль становить 12°C , а дозрівання настає за температури 15°C .

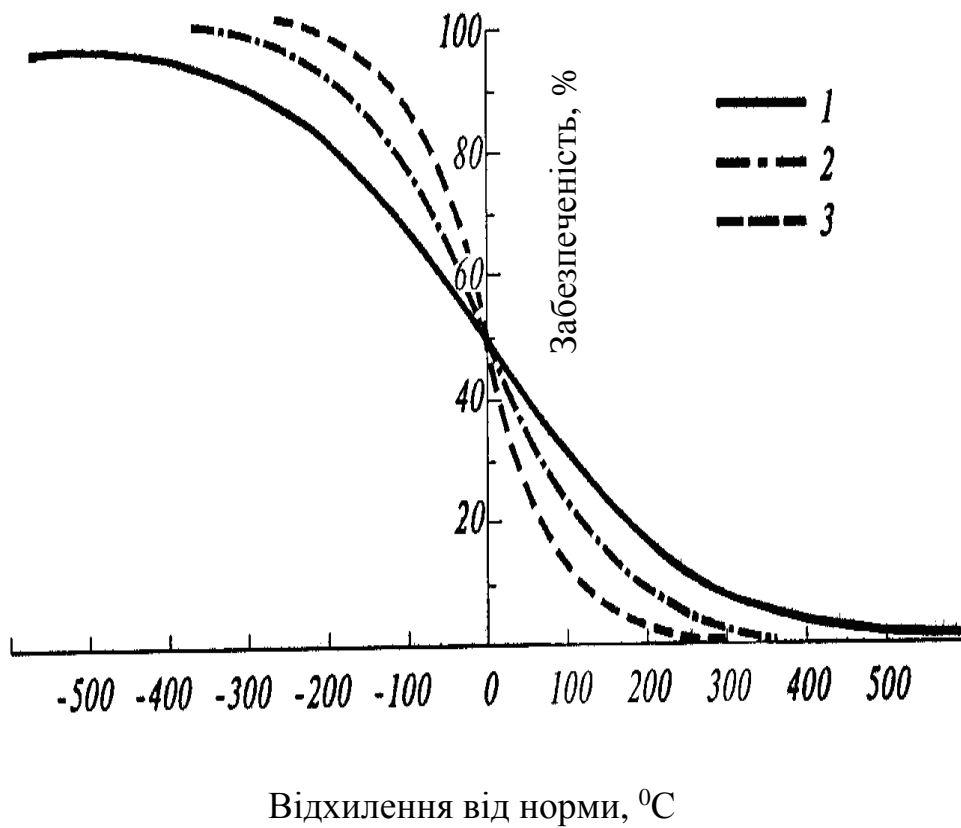


Рисунок 10.2 – Криві забезпеченості вегетаційного періоду сумою температур вище 10⁰С для різних типів клімату:
 1 – нестійкого (ЄЧ СНД);
 2 – стійкого (центральна частина Сибіру);
 3 – особливо стійкого (Далекий Схід).

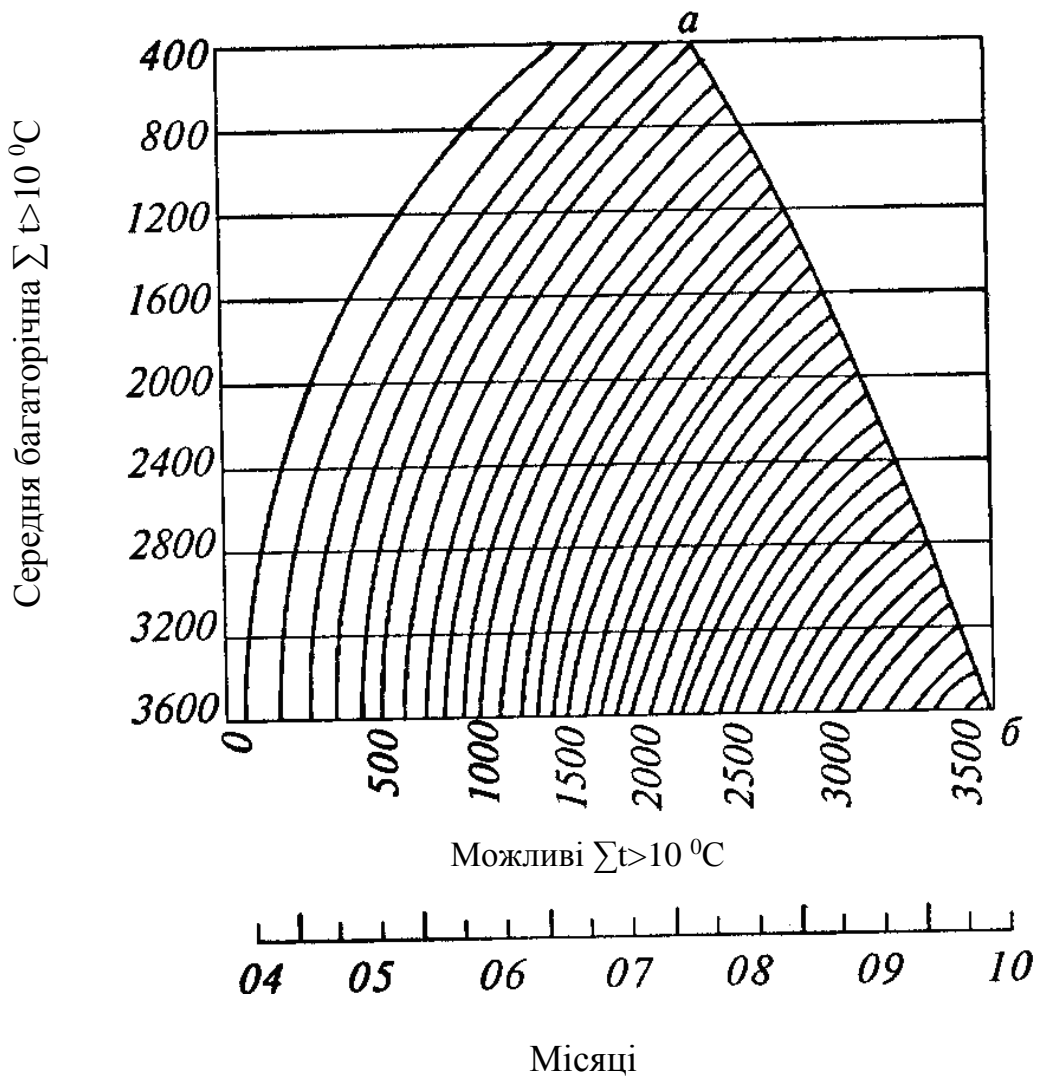


Рисунок 10.3 – Номограма для визначення строків накопичення сум температур вище 10°C в залежності від середніх багаторічних сум.

10.5 Оцінка умов зволоження вегетаційного періоду

Для оцінки умов зволоження вегетаційного періоду в агрокліматології використовуються суми опадів, запаси продуктивної вологи, а також показники зволоження, запропоновані різними авторами (Г.Т. Селянінов, П.І. Колосков, Д.І. Шашко та ін.).

Оцінка умов зволоження виконується в цілому за рік, за холодну і теплу пору року окремо, за вегетаційний період, за місяць або декаду.

Така оцінка виконується за сумою опадів або за значеннями коефіцієнтів зволоження.

Агрокліматологи найчастіше використовують значення сум опадів наростаючим підсумком за холодну (01.11 – 31.03) та теплу (1.04 – 31.10) пору року, або за вегетаційний період (від дати переходу температури повітря через 10 °С навесні до такого ж її переходу восени). Графічно (рис.10.4) це буде у вигляді інтегральних кривих.

Слід зазначити, що середня багаторічна кількість опадів дає уяву про 50 % забезпеченість території опадами. В дійсності їх може бути більше або менше. Тому, для визначення опадів на будь-яку дату використовується номограма (рис. 10.4). Для визначення суми опадів різної забезпеченості використовується номограма А.М. Лебедева (рис. 10.5).

Але оцінки умов зволоження території тільки за сумами опадів недостатньо, тому що вона не завжди об'єктивна. У різній місцевості одна й та ж сума опадів може викликати надлишок зволоження (тундра) або недостатнє зволоження (південний степ). Тому в агрометеорології для оцінки умов зволоження використовують різні показники, які розраховуються як відношення приходу вологи (опадів) до найбільших витрат. Таких показників багато (табл. 10.2), запропонованих різними авторами.

Таблиця 10.2 – Агрокліматичні показники зволоження

Автор	Формула для розрахунку показника	Умовні позначки у формулах
1	2	3
Г.Т.Селянінов	1. $ГТК = \frac{\sum r_2}{0.1 \sum t > 10}$	$\sum r_o$ – сума опадів за осінньо-зимовий період (10)*; $\sum r$ – сума опадів за рік (2,3,4,5)*;
П.І. Колосков	2. $W = \frac{\sum r_2}{d_{cp}}$	$\sum r_1$ – сума опадів за осінньо-зимовий період (6)*; $\sum r_2$ – сума опадів за період з температурою повітря вище 10 °С (1,6,7,9)*;

Продовження табл. 10.2

Н.Н.Іванов	3. $K_i = \frac{\sum r}{\sum V}$	$\sum r_{\tau}$ – сума опадів навесні до початку найбільшого врожаю травостою (8);
Д.І. Шашко	4. $K_{\text{ш}} = \frac{\sum r}{\sum d}$	$\sum t_{>10}$ – сума температур за період вегетації з температурою вище 10 °C (1,5,6,7);
М.І.Будико	5. $K_M = \frac{\sum r}{0,18 \sum t_{>10}}$	$\sum d$ – сума дефіцитів вологи (4);
С.О.Сапожникова, Ю.І.Чирков, Д.А.Брінкен	6. $K_c = \frac{0,5 \sum r_1 + \sum r_2}{0,18 \sum t_{>10}}$	$\sum d_{\tau}$ – сума дефіцитів вологи навесні до найбільшого врожаю травостою (8);
Н.В.Бова	7. $K_6 = \frac{10(W_B + \sum r_2)}{\sum t_{>10}}$	$\sum d_B$ – сума дефіцитів вологості за період вегетації(9)
О.П.Федосєєв	8. $K_{\phi} = \frac{W_B + \sum r_{\tau}}{\sum d_{\tau}}$	$\sum V$ – сума середньої за місяць випаровуваності за рік (3). $V = 0,0018(t+25)^2 \cdot (100-a)$, де t – середня температура за місяць, a – середня відносна вологість за місяць;
А.М.Алпат'єв	9. $K_a = \frac{(W_H + r_2) - W_K}{K_1 \sum d_B}$	W_H W_B –запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на початку вегетації (7,8,9)*
Ю.С.Мельник Л.С.Кельчевська	10. $K_K = \frac{0,36 \sum r_0 + \sum r_2}{0,1 \sum t_{>10}}$	W_K – на кінець вегетації (9)*
* Цифри в дужках при умовних позначках – номери формул.		

Найбільш об'єктивним критерієм вологозабезпеченості рослин є порівняння фактичних запасів продуктивної вологи із значеннями найменшої вологомісткості (НВ) [($W/HB \cdot 100$ %)]. Якщо запаси вологи у

грунті складають 80 – 100 % НВ, то вони будуть оптимальними для розвитку сільськогосподарських культур.

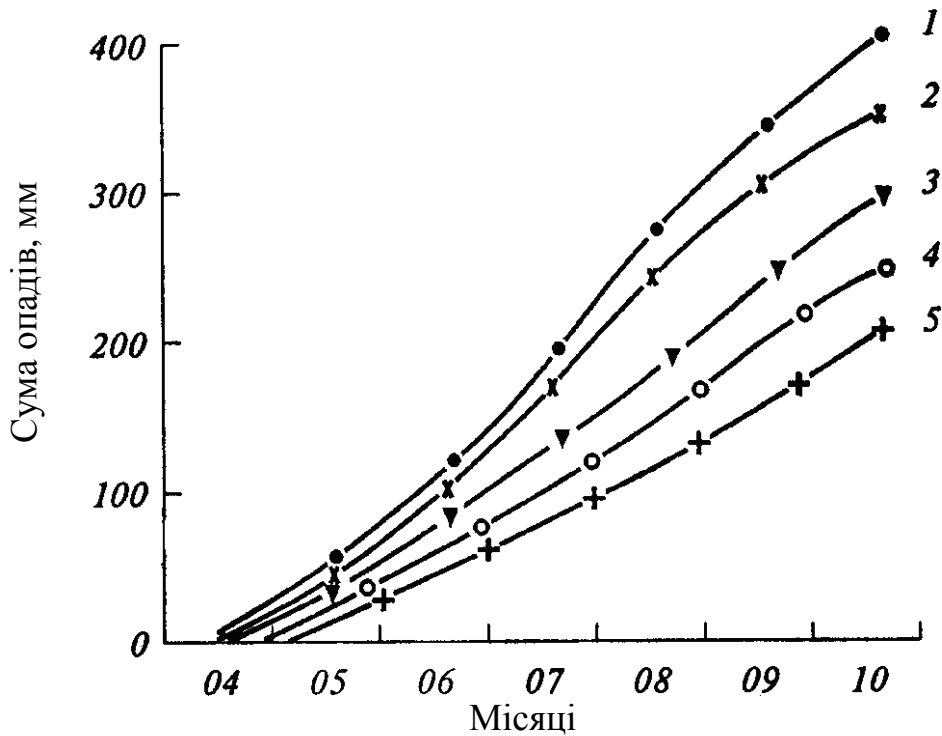


Рисунок 10.4 – Суми опадів наростаючим підсумком (а) та номограма для визначення суми опадів на будь-яку дату (б)

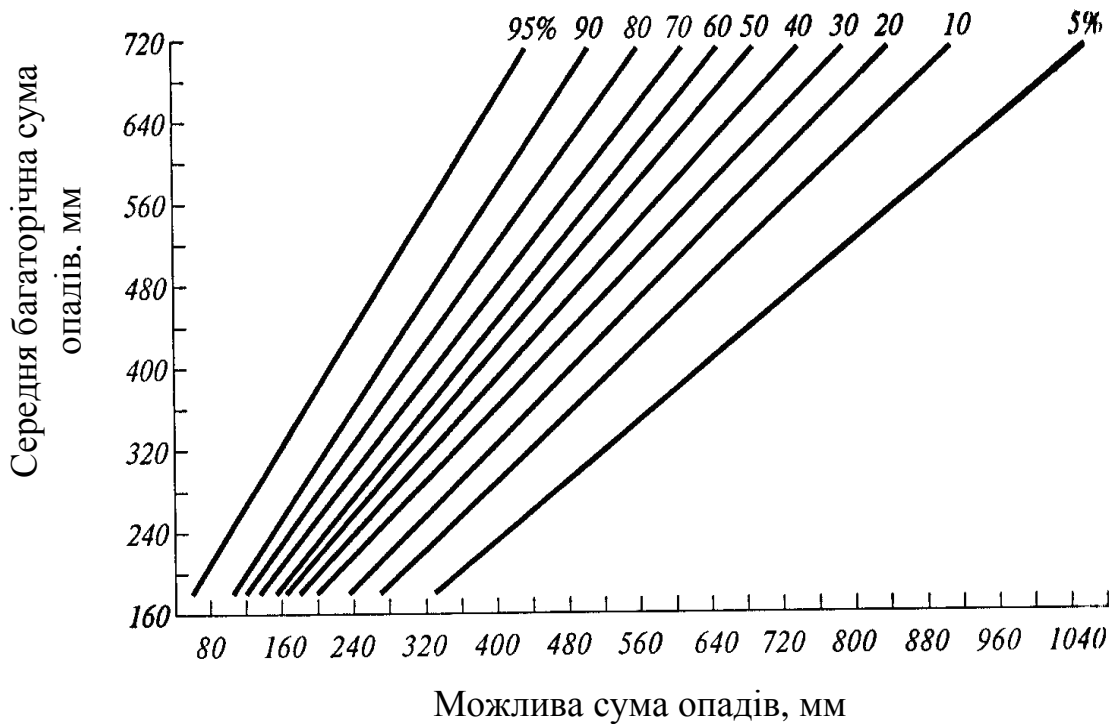


Рисунок 10.5 – Графік для розрахунку сум опадів різної забезпеченості за рік (за А.М. Лебедєвим)



Рисунок 10.6 - Номограма для розрахунку запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту різної забезпеченості.

Інколи для оцінок вологозабезпеченості рослин порівнюють фактичні запаси вологи (W_{ϕ}) з потребою рослин у воді (W_0) [$(W_{\phi}/W_0) \cdot 100$].

10.6 Оцінка умов перезимівлі сільськогосподарських культур

Врожай озимих у великій мірі залежить від перезимівлі. Низькі температури впродовж зими обмежують територію розповсюдження озимих культур. Головними причинами пошкодження рослин взимку є:

- сильні морози, які спричиняють вимерзання;
- високий сніговий покрив, що за тривалого залягання сприяє випріванню озимини;
- застій води – вимокання;
- деформація ґрунту (випирання вузла куштиння);
- сильні вітри, що викликають видування ґрунту при відсутності снігу;
- льодова кірка, що посилює всі несприятливі явища.

Для оцінки умов перезимівлі озимих зернових культур, багаторічних сіяних трав, плодкових дерев та ягідників в агрокліматології використовуються показники: середній із абсолютних річних мінімумів температури повітря, суми від'ємних температур, глибина промерзання

грунту, товщина снігу та мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кушіння.

Загальна характеристика умов перезимівлі виконується за класифікацією зим на основі температурного режиму (табл. 10.3).

Таблиця 10.3 – Оцінка міри суворості зими

Міра суворості зими	Сума від'ємних температур повітря, °С	Середня багаторічна температура самого холодного місяця, °С	Середній із абсолютних річних мінімумів температури повітря, °С
Тепла	< 500	> 5	-
Дуже м'яка	500	5 ... 0	> -10
М'яка	500 – 1000	0 ... - 5	-10 ... -20
Помірно м'яка	1000 – 1500	- 5 ... -10	-20 ... -25
Помірно холодна	1500 – 2000	- 10 ... -15	-25 ... -30
Холодна	2000 – 4000	- 15 ... - 20	- 30 ... - 35
Дуже холодна	-	-20 ... - 25	- 35 ... - 40
Помірно сувора	-	-25 ... - 30	- “ -
Сувора	4000 – 6000	- 30 ... - 35	-40 ... – 45
Дуже сувора	-	- 35 ... - 40	< - 45
Жорстка	> 6000	< - 40	-

Інколи для характеристики умов перезимівлі використовується один із показників, але частіше користуються комплексними.

Один із комплексних показників було запропоновано О.М. Шульгіним [50]:

$$K_t = t_m / h, \quad (10.1)$$

де – t_m – середній із абсолютних мінімумів температури повітря самого холодного місяця, °С,

h – середня висота снігу за той же період, см.

Якщо $K_{III} > 3$, то зима дуже сувора, $K_{III} = 1-3$ – сувора; $K_{III} < 1$ – м'яка.

Г.Д. Ріхтер для оцінки міри суворості зими запропонував сніжно-температурний коефіцієнт K_P , який визначається кількістю градусів морозу (t_{10}) на кожні 10 см товщини снігу (H)

$$K_P = \frac{10T}{H}, \quad (10.2)$$

Для оцінки умов перезимівлі зернових культур і багаторічних трав В.О. Мойсейчик запропонувала комплексний показник \bar{K}_M :

$$\bar{K}_M = 0.4844 \frac{\bar{t}_{\min}}{t_{кр}} + 1.3081 \frac{\bar{H}}{n} - 0.6070, \quad (10.3)$$

де \bar{t}_{\min} – мінімальна температура повітря, °С;

$t_{кр}$ – критична температура вимерзання озимих культур, °С ;

\bar{H} – найбільша глибина промерзання ґрунту, см;

n – тривалість періоду із сніговим покривом, д.

Показник В.О. Мойсейчик використовується для оцінки умов перезимівлі озимих трав на великих площах (область, економічний район, край тощо). Якщо $\bar{K}_M < 1$, то загибель озимих становить 10 % площі, $\bar{K}_M > 1$ – загибель озимих становить 30% площі посівів. За середнім багаторічним значенням \bar{K}_M розрахована комплексна оцінка умов перезимівлі зернових культур.

В.М. Лічкакі запропонував використовувати для оцінки умов перезимівлі озимих культур на Україні коефіцієнт морозонебезпечності K_L :

$$K_L = \frac{T_{\min}}{T_{кр}}, \quad (10.4)$$

де T_{\min} – середня мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кущіння до 20 лютого, °С;

$T_{кр}$ – критична температура вимерзання культур, °С. Була розрахована шкала загибелі різних культур при різних значеннях K_L (табл.10.4).

Таблиця 10.4 – Коефіцієнт морозонебезпечності (K_L) і відповідний йому ступінь загибелі озимих культур (Р %)

Озима пшениця		Озиме жито		Озимий ячмінь	
K_L	Р %	K_L	Р %	K_L	Р %
0.55-0.75	1 – 20	0.55-0.79	1 – 20	0.45-0.68	1 – 20
0.76-0.87	21 – 40	0.80-0.95	21 – 40	0.69-0.79	21 – 40
0.88-0.96	41 – 60	0.96-1.06	41 – 60	0.80-0.88	41 – 60
≥ 0.97	≥ 61	≥ 1.06	≥ 61	≥ 0.89	≥ 61

Методи сільськогосподарської оцінки клімату дозволяють повніше виявляти різницю між загально кліматичними та агрокліматичними дослідженнями. Часто сільськогосподарську оцінку клімату виконують лише на основі агрокліматичних умов, які суттєво впливають на життя рослин і домашніх тварин. Таким чином сільськогосподарська оцінка клімату закладається в комплексному доскональному вивченні агрокліматичних умов території і співставленні її агрокліматичних ресурсів вимогам до клімату сільськогосподарських культур.

Контрольні питання

- 1. Що називається агрокліматичними показниками?*
- 2. Які ви знаєте методи оцінки ресурсів тепла?*
- 3. Що називається біокліматичною сумою температур?*
- 4. Які ви знаєте показники вологозабезпеченості?*
- 5. Які ви знаєте методи оцінки вологозабезпеченості?*
- 6. Які ви знаєте показники для оцінки морозонебезпечності територій?*
- 7. Як оцінюється суворість зими?*
- 8. Що називається коефіцієнтом морозонебезпечності?*
- 9. Які показники перезимівлі вважаються комплексними?*
- 10. Як розраховується комплексний показник В.О. Мойсейчик?*
- 11. Що означає «сніжно-температурний» коефіцієнт та як він розраховується?*

11. АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ ПРОГНОЗИ

Як вже згадувалось у першому розділі, однією з найважливіших форм обслуговування сільськогосподарського виробництва є агрометеорологічні прогнози. *Агрометеорологічні прогнози* – це науково обґрунтовані припущення про вплив на стан та продуктивність сільськогосподарських культур поточних та очікуваних агрометеорологічних умов.

На разі гідрометеорологічна служба складає велику кількість агрометеорологічних прогнозів, які можна розділити на окремі групи прогнозів:

- строків початку сівби сільськогосподарських культур;
- агрометеорологічних умов зростання та розвитку культур впродовж вегетаційного періоду;
- умов перезимівлі озимих культур та їх стану на початок відновлення вегетації;
- запасів продуктивної вологи на початок весни та впродовж вегетаційного періоду;
- агрометеорологічних умов формування врожайності сільськогосподарських культур;
- теплозабезпеченості вегетаційного періоду;
- умов збирання сільськогосподарських культур та величин втрат врожаю від несприятливих умов погоди;
- кількості та якості врожаю.

Науковою підставою всіх агрометеорологічних прогнозів є фізичні та біологічно обґрунтовані кількісні переважно багатофакторні залежності розвитку та формування продуктивності рослин або інших процесів в системі ґрунт – рослина - атмосфера від чинних та очікуваних агрометеорологічних умов.

Залежності, які використовуються при складанні агрометеорологічних прогнозів, отримані як результат статистичної обробки та аналізу паралельних спостережень за зростанням та розвитком культур і метеорологічними факторами, які проводяться на мережі гідрометеорологічних станцій. Крім того, використовуються відомості Держкомстату та інших установ про врожайність, валовий збір, розміри посівної площі і т. ін.

При складанні агрометеорологічних прогнозів використовується різна інформація і від її точності залежить справджуваність агрометеорологічних прогнозів.

Велике значення має завчасність прогнозів. Чим більше завчасність, тим краще господарські організації можуть підготуватись до несприятливих умов, запобігти втратам врожаю та ін.

Завчасність агрометеорологічних прогнозів різна – від одного місяця (прогнози настання фаз розвитку) до шести (прогноз строків звільнення полів від снігу і початку польових робіт). Найчастіше завчасність прогнозів від 2 до 3,5 місяців. Дуже часто завчасність агрометеорологічних прогнозів залежить від інформації, яка використовується при їх складанні. Більшу завчасність мають прогнози, які складаються з використанням так званих *інерційних факторів*, тобто факторів, що мало змінюються з часом та вплив яких відчувається впродовж всього розвитку рослин.

Справджуваність агрометеорологічних прогнозів достатньо висока і залежить від якості статистичних залежностей та вміння використати всієї необхідної інформації.

Складаються агрометеорологічні прогнози в гідрометеорологічних центрах (державних, регіональних, обласних), бюро погоди та на деяких гідрометеорологічних станціях.

Розробкою методів агрометеорологічних прогнозів займаються в науково-дослідних гідрометеорологічних інститутах, гідрометеорологічних центрах та в навчальних закладах (Одеський державний екологічний інститут). Дуже часто методи прогнозів носять регіональний характер, тобто вони не універсальні через те, що розроблені з врахуванням сортів, які вирощуються тільки в тому регіоні, і тому для інших сортів у іншому регіоні потрібні уточнення або і зовсім інші залежності.

11.1 Фенологічні прогнози

Темпи розвитку сільськогосподарських культур тісно пов'язані з погодними умовами місцевості, де вони вирощуються. В залежності від природно – кліматичних зон та погодних умов встановлюється перелік культур, які мають виробниче значення та можуть вирощуватись в цих природно – кліматичних зонах. Оскільки різноманітність природно-кліматичних зон дуже велика, то і набір вирощуваних культур змінюється від зони до зони.

Якщо розглянути умови вирощування сільськогосподарських культур в Україні, то вони змінюються від прохолодних та перезвожених (північно-західне Полісся) до жарких та сухих – (південний степ). У зв'язку з цим змінюються і вимоги до агрометеорологічного обслуговування сільськогосподарських організацій.

Прогнози дат настання фаз розвитку сільськогосподарських культур (фенологічні прогнози) є одним із найважливіших розділів агрометеорологічного обслуговування сільського господарства. Вони

складаються як самостійно, так і можуть бути складовою частиною багатьох інших прогнозів, де необхідно виконувати оцінку агрометеорологічних умов по міжфазних періодах.

Найчастіше самостійно складаються фенологічні прогнози: термінів дозрівання сільськогосподарських культур, цвітіння плодових дерев та винограду, колосіння зернових, настання молочної та воскової стиглості кукурудзи та ін.

Агрометеорологічні прогнози дозволяють завчасно підготуватись до проведення різного виду сільськогосподарських робіт з урахуванням особливостей погоди кожного конкретного року.

Визначення очікуваних термінів настання різних фаз розвитку сільськогосподарських культур виконується на основі залежностей, які характеризують вплив погодних умов на швидкість розвитку рослин.

Багатьма дослідженнями [9 – 41] встановлено, що швидкість розвитку рослин найчастіше визначається ходом термічного режиму. Слід відрізнити поняття "ріст рослин" та "розвиток рослин". Ріст рослин – це збільшення маси рослин незалежно від того, внаслідок розвитку яких органів це збільшення відбулось.

Розвиток рослин – це той шлях необхідних якісних змін у клітинах (морфологічних ознак), який рослина проходить від сівби до дозрівання насіння.

Швидкість розвитку рослин залежить від умов навколишнього середовища. Комплекси зовнішніх умов, необхідних для зростання та розвитку рослин, часто не співпадають. Рослини досить довго можуть рости, але залишатися на одній і тій же фазі розвитку.

Швидкість настання більшості фаз розвитку рослин (тобто появи нових морфологічних ознак) у значній мірі залежить від температури навколишнього середовища. Ще Т.Д. Лисенко [9] встановив:

1. Напряга теплової енергії є одним із найважливіших факторів, що впливають на тривалість проходження фаз у рослин.

2. Кожна фаза розвитку однієї і тієї ж рослини починається за визначених термічних умов. Температура, необхідна для проходження однієї фази, може бути непридатна для проходження іншої фази.

3. Для завершення процесу кожної фази необхідна постійна сума градусо-днів, якщо рахунок вести не від фізичного нуля, а від значення температури, при якій починаються процеси формування даної фази.

Температура, за якої починаються процеси життєдіяльності рослини, називається *біологічним нулем*.

Т.Д. Лисенко запропонував формулу для визначення тривалості міжфазних періодів (N)

$$N = \frac{A}{(t - B)}, \quad (11.1)$$

де t – середня за добу температура повітря, °С;

B – біологічний нуль, °С;

A – постійна сума температур, яка необхідна для настання чинної фази, підрахована від значення B , °С.

Таким чином, при складанні прогнозів фаз розвитку сільськогосподарських культур необхідно знати постійні суми температур вище біологічного нуля, що необхідні для настання визначених фаз розвитку та значення біологічного нуля.

Рослини, біологічні особливості яких склалися з далекого минулого під постійним впливом клімату, починають розвиток за одних і тих же значень біологічного нуля. Так, дерева, чагарники, трави та більшість польових культур помірного клімату починають та закінчують розвиток при температурі 5°С. Тому О.О. Шіголев запропонував приймати температуру 5°С за біологічний нуль усіх холодостійких рослин помірного клімату.

О.О. Шіголев [9, 10], використовуючи формулу Т.Д. Лисенко, запропонував розраховувати очікувані дати настання фаз розвитку за формулою

$$D = D_1 + \frac{A}{(t - B)}, \quad (11.2)$$

де D – очікуваний термін настання наступної фази;

D_1 – дата настання попередньої фази розвитку;

A – постійна сума ефективних температур, необхідна для настання фази, °С;

t – очікувана середня температура повітря за міжфазний період, °С;

Якщо визначення термінів настання будь-якої фази розвитку виконується через деякий час після настання попередньої фази, то у такому випадку використовується формула

$$D = D_1 + \frac{A - \Sigma t}{(t - B)}, \quad (11.3)$$

де D_1 – дата розрахунку фази розвитку;

Σt – сума ефективних температур, що накопичилась за час від дати настання попередньої фази до дати складання прогнозу.

При складанні прогнозів дат настання фаз розвитку сільськогосподарських культур слід пам'ятати про те, що при високій температурі повітря відхилення розрахованої дати від фактичної менше, ніж при низькій температурі. Це свідчить про те, що в періоди з

високими температурами прогнози фаз розвитку можна складати з більшою завчасністю.

Л.М. Бабушкін [11] запропонував формулу для розрахунку швидкості розвитку рослин

$$\frac{1}{N} = t - \frac{B}{A}, \quad (11.4)$$

де $1/N$ – середня швидкість розвитку рослин. Інші позначки у формулі ті ж, що у формулі (11.2).

Розрахунок дат появи фаз розвитку рослин за значеннями сум ефективних температур дає дуже добрі результати у випадках, коли запаси продуктивної вологи у ґрунті не досягають критичних значень, а температури повітря не дуже високі. Високі температури (вище оптимальних) не прискорюють розвиток рослин і якщо розраховувати дати настання за такими температурами, то помилка збільшується, тому що міжфазний період за розрахунками буде значно коротший від фактичного. Такі випадки трапляються найчастіше у південних районах. Тому продовжують розроблятися методи розрахунку дат настання фаз розвитку не тільки з використанням значень температури повітря, а і з використанням значень запасів продуктивної вологи, тривалості дня та ін.

Для більшості районів розрахунки фаз розвитку виконуються за сумами температур. У південних районах у періоди з високими температурами при розрахунках вводяться поправки на високі температури.

11.1.1 Прогнози фаз розвитку ярої пшениці, ячменю, вівса

Оптимальною температурою, за якої тривалість початкових міжфазних періодів ранніх ярих культур буває найменшою, є температура 15 – 20 °С. Зі зменшенням температури швидкість розвитку уповільнюється. У природних умовах перші фази розвитку ярих культур проходять при температурах нижче оптимальних, тому що сівба цих культур проводиться у більшості районів з настанням температури повітря 4 – 7 °С.

Ярі зернові культури (яра пшениця, овес, ячмінь) сіють майже одночасно і початкові фази свого розвитку вони проходять синхронно. О.О. Шіголевим встановлено, що від сівби до сходів та від сходів до кушіння ярих культур, як і для озимих, необхідна сума ефективних температур 67° С. У подальшому розвитку культур ці суми вже значно

відрізняються. О.О. Шіголевим визначені суми ефективних температур по міжфазних періодах усіх зернових культур (табл. 11.1).

Тривалість міжфазних періодів буде різною в залежності від умов розвитку. За умов достатнього зволоження та питомих речовин провідним фактором, який впливає на темпи розвитку і тривалість міжфазних періодів, буде температура повітря. З підвищенням температури до оптимальних значень тривалість міжфазних періодів зменшується. В холодні весни при низьких температурах тривалість міжфазних періодів сівба-сходи та сходи-кущіння збільшується.

Як і для озимих культур, для ярих встановити суми ефективних температур від кущіння до виходу у трубку досить складно, бо швидкість настання цієї фази залежить не тільки від температури повітря, вологості ґрунту, але і від світлових умов. Тому у ярих зернових найчастіше прогноуються дати настання фази колосіння (викидання волоті у вівса), молочної та воскової стиглості.

Від сільськогосподарських організацій надходять запити не тільки про те, наскільки темпи розвитку культур поточного року відрізняються від середніх багаторічних, але й про те коли та настільки пізніше (раніше) почнеться збирання ярих зернових культур, а також чи співпадуть терміни збирання озимих та ярих культур.

Приклад. Розрахувати дату настання фази воскової стиглості ярої пшениці для ст. Конотоп та Приколотне Харківської області.

Розрахунки виконуються по сумах ефективних температур. Для сорту Лютесценс від колосіння до воскової стиглості необхідна сума ефективних температур 490 °С. Дата колосіння настала на ст. Конотоп 3 червня, на ст. Приколотне – 7 червня. З синоптичного прогнозу погоди визначається очікувана температура повітря у другу та третю декади червня та першу декаду липня. Це буде відповідно 19,5 °С, 21,4 °С та 23,2 °С. По значеннях температури повітря розраховуються дати накопичення суми температур 490 °С на кожній станції. Якщо виконати всі розрахунки, то дата воскової стиглості на ст. Конотоп буде 4 липня, на ст. Приколотне – 8 липня.

Таким же чином розраховуються очікувані дати фаз розвитку ячменю та вівса. Суми ефективних температур по міжфазних періодах визначаються з табл. 11.1.

Слід зазначити, що суми ефективних температур визначені для тих сортів сільськогосподарських культур, які вирощувались у ХІХ столітті. Зараз завдяки розвитку селекційних досліджень виведені нові сорти, які характеризуються іншими вимогами до умов навколишнього середовища. Тому і отримані суми температур необхідно уточнювати.

Таблиця 11.1 – Суми ефективних температур, необхідні для періодів репродуктивного розвитку зернових культур

Між фазний період	Сума ефективних температур, необхідна для настання фаз розвитку °С						
	оз. пшениці	оз. жита	ярої пшениці	яр. ячменю	вівса	про са	греч ки
Сівба – сходи	67	52	67	67	67	150	75
Сходи – кущіння	67	67	67	67	67	–	–
Сходи – викидання волоті						600	
Сходи-початок цвітіння							275
Відновлення вегетації – вихід у трубку:							
У південно-східних районах	100-150	100-150					
У східних районах	50	50					
Вихід у трубку (викидання волоті)– колосіння	330	183	283-305(р) 330-355(с) 375-400(п)	330	378		
Колосіння – молочна стиглість	230	319	230	–	–	–	–
Колосіння (цвітіння гречки) – воскова стиглість	490	544	490(м)	388	428		470
Молочна стиглість – воскова стиглість	260	225	260(м) 310(т)				
Викидання волоті – повна стиглість						440	

Примітка: р – ранньостиглі сорти; с – середньостиглі сорти;
п – пізньостиглі сорти; м – м'які сорти
т – тверді сорти

11.2 Методи прогнозів запасів продуктивної вологи

Волога є одним із факторів життя рослин, який нічим замінити не можливо. Використовуючи велику кількість води із тканин на транспірацію, рослини повинні постійно поповнювати ці витрати. Надходження води в тканини рослин відбувається через коріння. Тому ґрунт є головним постачальником води і мінерального живлення рослин.

Інтенсивність надходження води в рослини залежить від кількості доступної для них води у ґрунті (продуктивної вологи).

Кількість вологи, яка може утримуватись ґрантом у польових умовах, визначається властивостями його. Механічним складом, структурою, кількістю органічної речовини та глибиною залягання ґрунтових вод.

Розрізняють три межі вологомісткості: 1) повна вологомісткість – найбільша кількість води, що утримується в ґрунті, коли всі пори зайняті водою і водне дзеркало з'являється на поверхні ґрунту; 2) максимальна капілярна вологомісткість – та кількість води, яку може утримувати шар ґрунту 10 см над вільною водяною поверхнею через капілярне підняття; 3) найменша вологомісткість – та кількість води, яку ґрунт утримує в умовах глибокого залягання ґрунтових вод.

Запаси вологи у ґрунті постійно змінюються. Поповнення запасів вологи у ґрунті в основному відбувається взимку. Це поповнення залежить від пересування води в середині ґрунту та проникнення у ґрунт опадів і талих вод у період відлиг. Поповнення ґрунтової вологи у різних ґрунтово-кліматичних зонах різне. Це викликає необхідність прогнозу запасів вологи на початок весни. У південних районах країни запаси продуктивної вологи в ґрунті на весну мають чи не найбільше вирішальне значення у господарській діяльності працівників полів. Складність визначення вологозапасів примушує шукати шляхи, які дозволяли б виконувати розрахунки для великих територій. Дослідження закономірностей зміни запасів продуктивної вологи в холодну пору року виконували А.В. Процеров, Л.О. Разумова, І.В. Свісюк [1, 2]. На разі відомо два методи розрахунку очікуваних запасів продуктивної вологи: 1 – за сумою опадів за холодну пору року і 2 – за глибиною промочування ґрунту (ГПГ) на початок весни.

11.2.1 Прогноз запасів продуктивної вологи на початок вегетаційного періоду за методом Л.О. Разумової

Л.О. Разумовою виконані фундаментальні дослідження процесів динаміки ґрунтової вологи в холодну пору року [1]. Вона встановила, що збільшення запасів вологи навесні залежить головним чином від кількості опадів за період від переходу температури повітря через 5 °С восени до переходу її через 5 °С навесні та насичення ґрунту вологою восени. Ці дослідження підтвердили також інші автори [2, 3, 4]. Нестача насичення (ΔW) вологою ґрунту восени визначається як залишок між найменшою вологомісткістю (НВ) та запасами продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на дату останнього визначення запасів вологи восени (W):

$$\Delta W = HB - W, \quad (11.5)$$

Для розрахунку очікуваних запасів продуктивної вологи на початок весни Л.О. Разумовою визначені статистичні залежності між сумарними змінами запасів вологи за осінньо-зимово-весняний період (y), кількістю опадів, які випали за цей же період (x), та нестачею насичення ґрунту вологою (ΔW). Статистичні залежності встановлені для районів з стійкою зимою і глибоким заляганням ґрунтових вод (11.6) та районів з нестійкою зимою і глибоким заляганням ґрунтових вод (11.7):

$$Y = 0,21x + 0,62\Delta W - 33, \quad (11.6)$$

$$Y = 0,112x + 0,56\Delta W - 20, \quad (11.7)$$

де Y – зміна запасів продуктивної вологи за холодну пору року, мм;
 x – сума опадів за цей же період, мм;
 ΔW – нестача вологи в ґрунті восени, мм (визначається з формули (11.5)).

На Європейській частині країн СНД до зони із стійкою зимою та малим збагаченням ґрунту вологою взимку відносяться південно-східні райони; до зони з нестійкою зимою, де збільшення запасів вологи відбувається за рахунок талих вод під час відлиг, відносяться південні та південно-західні області ЄЧ СНД. В районах, де спостерігаються як стійкі, так і нестійкі зими, розрахунки виконуються за вказаними формулами з врахуванням характеру зими; при стійкій зимі розрахунки виконуються за формулою (11.6), при нестійкій – за формулою (11.7).

У зв'язку з потеплінням клімату (підвищення річної температури на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) кількість районів з нестійкою зимою збільшується.

Розрахунок очікуваних запасів вологи на весну виконується за даними усіх станцій, які знаходяться на території обслуговування, або де визначаються запаси вологи під озимими зерновими культурами, які посіяні по пару або непарових попередниках і на зябу, який відводиться для сівби ярих зернових культур. Початковими даними для розрахунків будуть значення осінніх запасів вологи на цих полях. Кількість опадів, необхідних для розрахунку складається з двох величин: фактичної суми опадів, які випали від дати переходу температури повітря через $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ восени до дати складання прогнозу (січень – лютий) та прогнозованої суми опадів від дати складання прогнозу до дати переходу температури повітря через $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ навесні. Якщо ж з будь-якої причини прогнозом скористуватись неможливо, то у цьому випадку використовують середні багаторічні значення опадів із кліматичних довідників, але обов'язково з врахуванням можливої аномалії опадів. Значення найменшої

вологомісткості, яка необхідна для визначення дефіциту насичення ґрунту восени, враховується за даними агрогідрологічного обстеження полів або за середніми даними: найменша вологомісткість суглинків становить 170 – 190 мм, супіщаних ґрунтів – 150 – 170 мм, піщаних – 80 – 120 мм.

При складанні прогнозу розрахунки зміни запасів вологи за холодну пору року виконуються за формулами (11.6 – 11.7).

Приклад. Розрахувати очікувані запаси продуктивної вологи на ст. Полтава. Дата складання прогнозу 1 лютого.

Для розрахунків необхідні початкові величини:

1 – дата останнього визначення запасів вологи восени на полях з озимими культурами – 28 жовтня;

2 – найменша вологомісткість (НВ) в районі Полтави становить – 160 мм;

3 – середня добова температура повітря перейшла через 0 °С – 13 листопада;

4 – запаси вологи становили у метровому шарі ґрунту 83 мм.

Розраховані величини:

1 – нестача насичення ґрунту вологою становить (за формулою 11.5): $160 \text{ мм} - 83 \text{ мм} = 77 \text{ мм}$;

2 – кількість опадів від дати останнього визначення вологості ґрунту до 1 лютого підраховується по матеріалах спостережень за декадними сумами опадів і в нашому випадку вона становить 87 мм. Від першого лютого до дати переходу температури повітря через 5 °С навесні сума опадів визначається з синоптичного прогнозу погоди. В нашому випадку дата переходу температури повітря через 5 °С навесні буде 5 квітня. Тобто підраховується сума опадів від 1 лютого до 5 квітня. В нашому випадку вона становить 43 мм. Загальна сума опадів від дати останнього визначення запасів вологи до дати переходу температури повітря через 5° С навесні становить 130 мм;

3 – за рівнянням (11.6) розраховується зміна запасів вологи за осінньо-зимово-весняний період. Зміна запасів у нашому випадку становить 44 мм. Таким чином, очікувані на весну запаси вологи розраховуються як сума запасів вологи на останнє визначення восени та зміна запасів за холодну пору року ($83 + 44 = 127 \text{ мм}$), що становить приблизно 78 % від значення НВ.

В районах, де взимку відбувається значний перерозподіл снігу на полях через сильні вітри, прогноз запасів вологи на весну складається з в рахунком запасів води у снігу. Запаси води в снігу (W_c) розраховуються за даними середньої висоти снігу, яка визначається з даних снігомірної зйомки, що проводиться перед складанням прогнозу, за формулою:

$$W_c = 10 \cdot h \cdot d , \quad (11.8)$$

де h – середня висота снігу, см;

d – щільність снігу, г/см³;

W_c – запас води в снігу, мм.

Приклад. На ст. Червоноармійськ Харківської області восени 28 жовтня запаси вологи у метровому шарі ґрунту перед замерзанням на зябу становили 98 мм. Найменша вологомісткість (НВ) – 165 мм. Дефіцит насичення у ґрунті буде $165 - 98 = 67$ мм. За даними снігомірної зйомки, проведеної 20 лютого, та за формулою (11.8) розраховується запас води у снігу = 29 мм. З сезонного прогнозу погоди визначається дата переходу температури повітря через 5 °С – 24 квітня. Сума опадів від дати складання прогнозу до 24 квітня буде – 21 мм. Загальна сума опадів за холодний період буде $29 \text{ мм} + 21 \text{ мм} = 50 \text{ мм}$. За рівнянням (11.5) визначаються очікувані запаси вологи на весну. Це буде 118 мм.

Техніка складання прогнозу запасів продуктивної вологи на початок весни для великих територій (областей, регіонів, економічних районів) зводиться до визначення середнього арифметичного значення усіх елементів, необхідних для складання прогнозу по всіх станціях території, для якої складається прогноз. При цьому, окремо підраховуються очікувані запаси вологи під озимими культурами і окремо по зябу. Розраховані величини запасів продуктивної вологи на початок весни порівнюються з середніми багаторічними значеннями запасів продуктивної вологи та з НВ.

11.2.2 Прогнози запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами

Запаси продуктивної вологи на сільськогосподарських полях і в районах з глибоким заляганням ґрунтової води формуються внаслідок взаємодії ґрунту, рослин і метеорологічних умов. В зоні високого залягання ґрунтових вод, крім того, впливає їх рівень. В цілому динаміка запасів ґрунтової вологи у вегетаційний період характеризується поступовим зменшенням запасів. Витрати води в літній період не компенсуються опадами, що випадають, і тільки в період дозрівання культур спостерігається збільшення запасів вологи.

Проте впродовж вегетації сільськогосподарських культур на витрати запасів вологи впливають не тільки погодні умови, але і міра заглиблення і характер розвитку коріння, а також розміри надземної маси рослин. Це призводить до того, що швидкість витрат ґрунтової вологи у вегетаційний період рослин дуже змінюється. В районах, де ґрунтові води знаходяться глибоко і капілярний підтік відсутній,

найбільша кількість вологи витрачається через транспірацію із шару ґрунту, де розташоване коріння. Витрати сягають найбільших значень у репродуктивний період [2– 8].

С.О. Веріго запропонувала кількісну закономірність зміни (ΔW) запасів продуктивної вологи під озимими і ярими зерновими культурами в залежності від метеорологічних факторів:

$$\Delta W = aW_i + br - ct + d \quad , \quad (11.9)$$

де W_1 – початкові запаси продуктивної вологи, мм ;

t – температура повітря за декаду, °С;

r – сума опадів за декаду, мм.

Числові коефіцієнти a , b , c , d залежать від виду культур, фази їх розвитку та типу ґрунтів.

На основі цієї закономірності С.О. Веріго розробила метод прогнозу запасів продуктивної вологи під ярою та озимою пшеницею.

Здатність рослин використовувати вологу з ґрунту визначається співвідношенням коріння і наземної маси та їх розвитком .

Розробляючи прогноз запасів продуктивної вологи для ярих зернових культур, С.О. Веріго розбила вегетаційний період на 3 періоди, які відрізняються потребою рослин у воді та розмірами і будовою надземної маси і коріння:

1 – формування сходів і листя (від сівби до виходу в трубку);

2 – формування колосу і цвіту (від виходу в трубку до цвітіння);

3 – формування зерна (після цвітіння).

Для цих трьох періодів були встановлені залежності зміни запасів продуктивної вологи від запасів вологи на початок розрахункового періоду, суми опадів за цей же період та середньої температури повітря. Найдоцільніше розрахунки проводити за декадними даними вказаних величин. Залежності одержані окремо для чорноземних та підзолистих ґрунтів.

Початковими даними при складанні прогнозу запасів продуктивної вологи у ґрунті є фактичні дані про запаси вологи у ґрунті на початок розрахунку, фази розвитку зернових та синоптичні прогнози температури, опадів.

Розрахунок зміни запасів продуктивної вологи під зерновими культурами виконується за рівнянням (11.9), а числові коефіцієнти наводяться у табл. 11.2

Для прискорення розрахунків побудовані графіки (для ярої пшениці) (рис. 11 а, б, в). На рис. 11.1 на осі x – запаси вологи на початку декади, на осі y – сума опадів за декаду, для якої виконується розрахунок; у полі графіків – зміна запасів продуктивної вологи за

декаду. До кожного графіка додається таблиця поправок на температуру повітря. Очікувані запаси продуктивної вологи (W_2) становлять суму запасів вологи на початок декади (W_n) та зміну їх, зняту з графіка з поправкою на температуру, тобто

$$W_2 = W_n + \Delta y(\pm \Delta t) \quad (11.10)$$

Таблиця 11.2 – Коефіцієнти a , b , c , d рівняння (11.9)

Період вегетації	Шар ґрунту, см	a	b	c	D
Ранні ярі зернові культури (чорноземні ґрунти)					
Сівба – вихід в трубку (1-й період)	0-20	-0,10	+0,35	-0,28	+0,9
	0-100	-0,27	+0,78	-0,127	+2,0
Вихід в трубку – цвітіння (2-й період)	0-100	+0,07	+0,93	-0,176	-20,6
Цвітіння – воскова стиглість (3-й період)	0-100	-1,72	+1,08	-0,229	+23,3
Підзолисті ґрунти					
1-й період	0-20	0,54	0,22	0,20	7,6
	0-100	0,40	1,24	0,31	2,5
2-й період	0-100	1,53	0,51	0,13	17,7
3-й період	0-100	0,93	0,64	0,09	10,7

Побудовані також графіки, за якими визначаються очікувані запаси вологи, а не їх зміна. Графіки побудовано окремо для ярої та озимої пшениці.

Розрахунок очікуваних запасів вологи виконується послідовно для кожної декади розвитку. Для цього розраховані запаси вологи за поточну декаду беруться за початкові для наступної декади. Температура повітря та опади використовуються за ту декаду, для якої ведуться розрахунки.

Якщо в розрахунках одержано від'ємний результат, то вони прирівнюються до 0.

Очікувані запаси продуктивної вологи під озимую пшеницею розраховуються за рівняннями табл.11.3, або графіками С.О. Веріго (рис. 11.2 a , b , v , z).

Таблиця 11.3 – Рівняння залежності зміни запасів продуктивної вологи у ґрунті під озимою пшеницею від метеорологічних величин

Зона	Період	Шар ґрунту, см	Рівняння
Чорноземні Ґрунти	Весняне відростання	0-20	$W_2 = -0,70 t + 0,26r - 0,25W_1 + 7,4$
	Формування колосу і цвіту	0-100	$W_2 = -1,12 t + 0,74r - 0,23W_1 + 27,7$
	Формування Зерна	0-100	$W_2 = 0,05 t + 0,90r - 0,07W_1 - 26,7$
	Формування Зерна	0-100	$W_2 = -0,64 t + 0,40r - 0,20W_1 + 7,4$
Підзолисті Ґрунти	Весняне відростання	0-20	$W_2 = -0,33 t + 0,05r - 0,42W_1 + 17$
	Формування Колосу	0-100	$W_2 = -2,26 t + 0,46r - 0,21W_1 + 41,6$
	Формування Зерна	0-100	$W_2 = -0,73 t + 1,10r - 0,09W_1 - 11,4$
	Формування Зерна	0-100	$W_2 = -0,32 t + 0,80r - 0,035W_1 - 15,4$

Різними авторами на основі запропонованої С.О. Веріго залежності розроблені методи прогнозів запасів продуктивної вологи під різними сільськогосподарськими культурами: Ю.І. Чирковим під кукурудзою, С.Б. Мастиньскою – під картоплею та сіяними травами і ін.

Техніка складання прогнозів запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами майже однакова для всіх культур.

Для складання прогнозу необхідно підготувати для розрахунків такі відомості:

- фази розвитку та дати їх настання для кожної культури;
- типи ґрунтів та їх механічний склад;
- середні багаторічні значення температури повітря та опадів за розрахунковий період;
- синоптичний прогноз температури повітря та опадів;
- значення запасів продуктивної вологи на початок розрахункового періоду у шарах 0 – 20 см, 0 – 50 см, 0 – 100 см.

Виконати розрахунки:

- розрахувати очікувану температуру повітря та суми опадів по декадах розрахункового періоду за синоптичним прогнозом;
- визначити коефіцієнти в рівняннях (11.9) для розрахунків або самі рівняння ;

- розрахувати зміну запасів продуктивної вологи за кожен декаду розрахункового періоду за рівняннями або відповідними графіками;

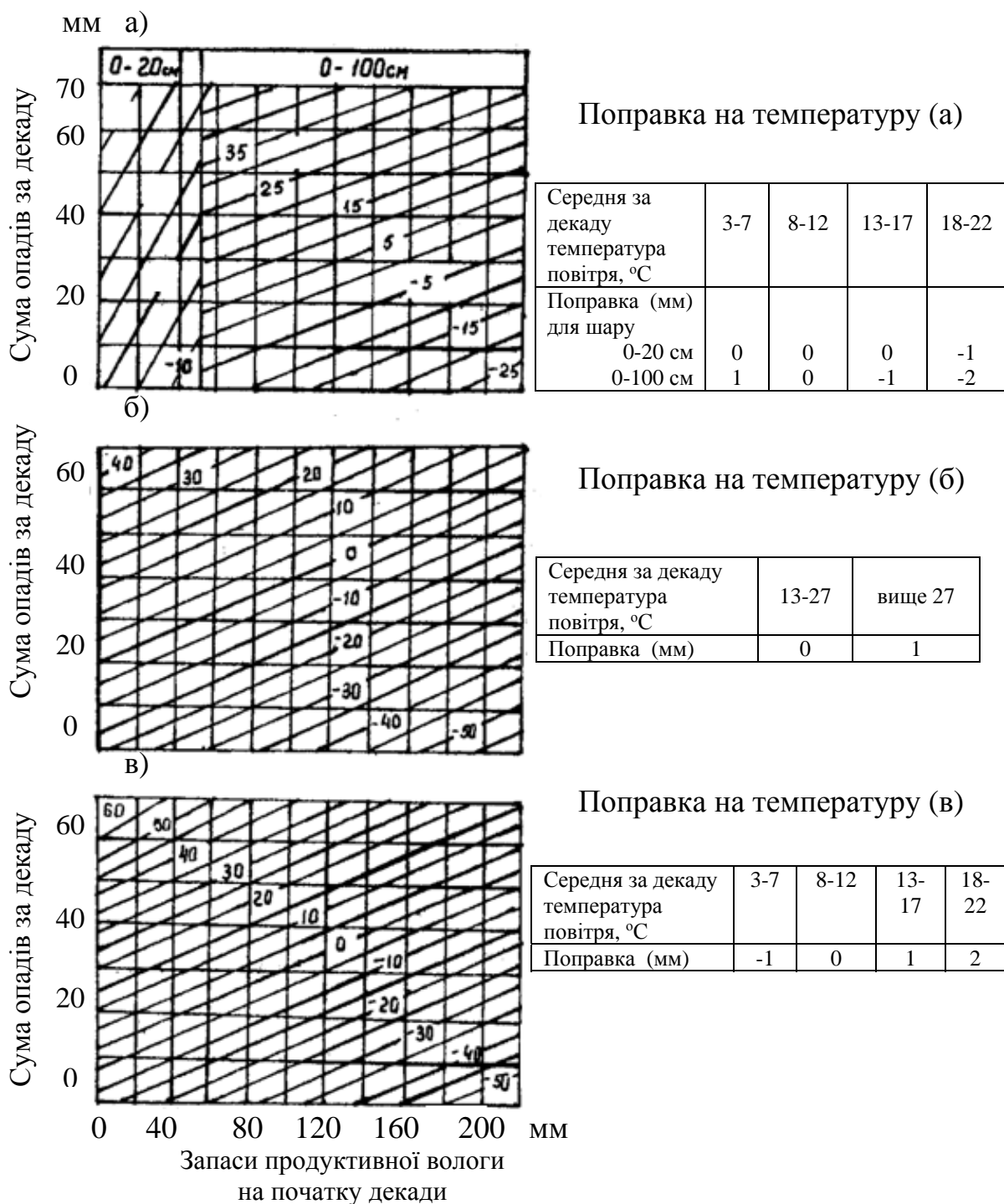
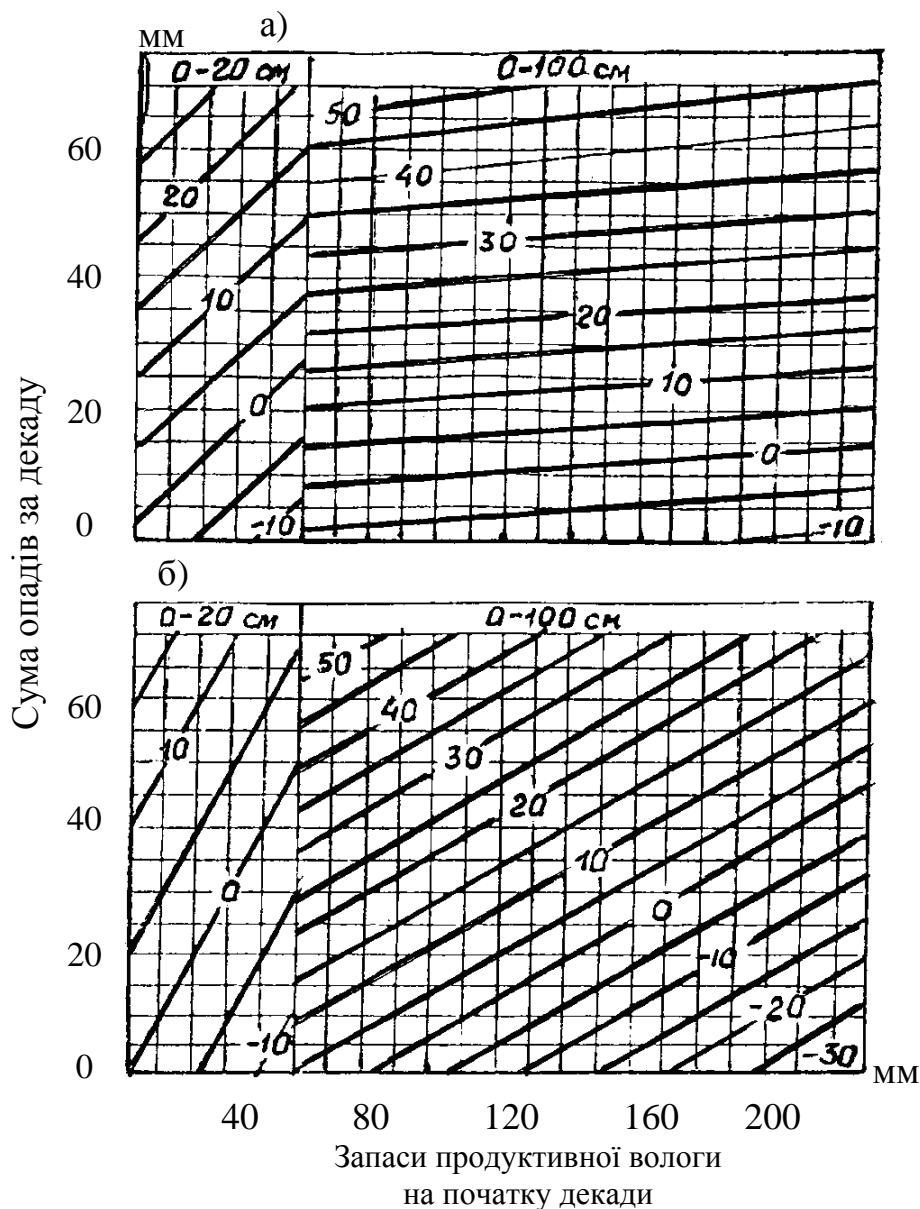


Рис.11.1 – Зміна запасів продуктивної вологи у зоні чорноземних ґрунтів під ярою пшеницею:
 а) від сівби до виходу у трубку;
 б) від виходу у трубку до цвітіння; в) після цвітіння.



Поправка на температуру (а)

Середня за декаду температура повітря, °С	7-8	9-11	12-13	14-16	17-18	19-21	22-23	24-26	27-28
Поправка (мм)	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3

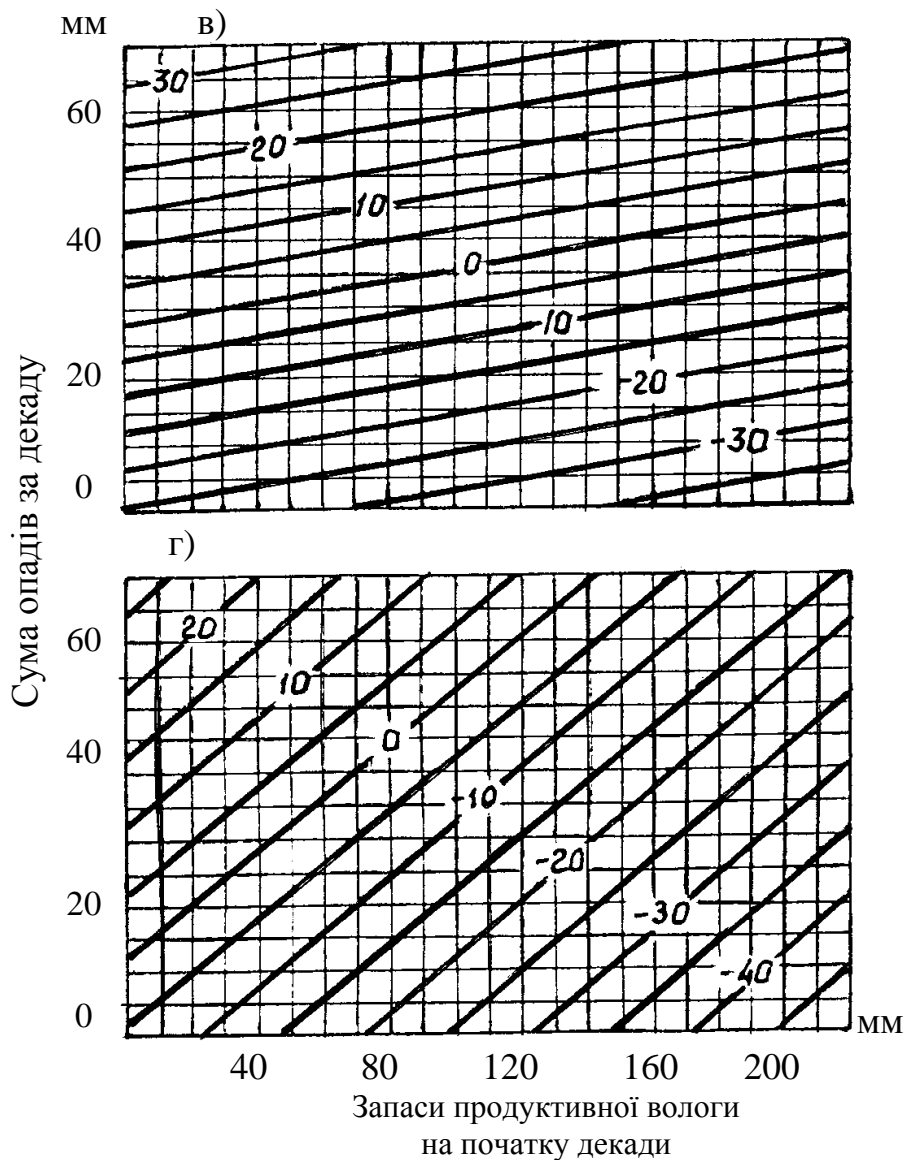
Поправка на температуру (б)

Середня за декаду температура повітря, °С	3-7	8-12	13-17	18-22
Поправка (мм)	-1	0	1	2

Рис. 11.2 (а, б) – Зміна запасів продуктивної вологи під озимою пшеницею у зоні чорноземних ґрунтів (мм за декаду):

а – період осінньої вегетації;

б – період весняного відростання.



Поправка на температуру (в)

Середня за декаду температура повітря, °С	3-7	8-12	13-17	18-22
Поправка (мм)	-1	0	1	2

Поправка на температуру (г)

Середня за декаду температура повітря, °С	5-8	9-11	12-15	16-18	19-21	22-24	25-27
Поправка (мм)	4	3	2	1	0	-1	-2

Рис. 11.2 (в, г) – Зміна запасів продуктивної вологи під озимою пшеницею у зоні чорноземних ґрунтів (мм за декаду):

в – період формування колосу і квіток;

г – період формування зерна.

- визначити величину очікуваних запасів продуктивної вологи за кожну декаду за рівнянням (11.9). При цьому величину зміни запасів продуктивної вологи з відповідним знаком додають до значень запасів вологи за попередню декаду.

Слід мати на увазі, що для кожної наступної декади розраховані запаси продуктивної вологи на попередню декаду будуть початковими.

11.2.3 Прогнози вологозабезпеченості посівів сільськогосподарських культур

Як відомо, для життя рослин та формування їх урожаїв необхідні чотири головні фактори: світло, тепло, волога та питомі речовини. Найбільш мінливими як у часі, так і по території є тепло і волога. Їх нестачею або надмірною кількістю пояснюються значні коливання урожаїв.

В посушливих районах та районах нестійкого зволоження ґрунту фактором, що визначає умови зростання та формування врожаїв сільськогосподарських культур, є забезпеченість посівів вологою, через те що тепла у цих районах достатньо.

Оцінкою вологозабезпеченості посівів займались багато дослідників: О.В. Процеров, О.С. Конторщикова, О.М. Конторщикова [8, 62 – 65] та ін. Це дозволило розробити цілу низку методів, що дозволяють виконувати оцінку вологозабезпеченості сільськогосподарських культур в районах недостатнього та нестійкого зволоження. Такі оцінки дуже часто використовуються при прогнозуванні врожаїв сільськогосподарських культур .

Вологозабезпеченість посівів – це міра забезпечення потреб рослин у воді в природних умовах. Вона може бути виражена через запаси продуктивної вологи у відсотках від найменшої вологомісткості, у відсотках від середніх багаторічних запасів продуктивної вологи, через суму опадів у відсотках від середньої багаторічної, у відносних одиницях через випарування та випаровуваність а також у відсотках через ті ж величини [62 – 65].

Розрахунок вологозабезпеченості (V) за сумарним випаровуванням та дефіцитом насичення повітря виконується практично для всіх сільськогосподарських культур як відношення фактичного сумарного випаровування (E_{ϕ}) з поля, зайнятого культурою, до сумарного випаровування при оптимальних умовах зволоження (E_o):

$$V = \frac{E_{\phi}}{E_o} \cdot 100 \quad (11.11)$$

За сумарне випаровування при оптимальних умовах зволоження (потреба рослин у воді) береться випаровуваність, розрахована будь-яким методом.

При виконанні розрахунків фактичне сумарне випаровування (E_{ϕ}) визначається за спрощеною формулою водного балансу:

$$E_{\phi} = (W_1 + x) - W_2 \quad (11.12)$$

де W_1 та W_2 – запаси продуктивної вологи відповідно на кінець попередньої та початок поточної декади;

x – сума опадів за декаду.

Випаровування в оптимальних умовах зволоження – випаровуваність можна розраховувати за будь-яким методом. В агрометеорології найчастіше використовується метод А.М. Алпатьєва [46]. Він запропонував випаровуваність (E_o) розраховувати через сумарний дефіцит насичення повітря (d) з врахуванням коефіцієнтів біологічної кривої водоспоживання (K):

$$E_o = K \cdot \Sigma d \quad (11.13)$$

Значення коефіцієнтів біологічної кривої споживання різне для різних сільськогосподарських культур і також може бути різним для однієї і тієї ж культури в різних ґрунтово-кліматичних зонах.

О.В. Процеров встановив, що в період від сходів до колосіння для зернових культур значення коефіцієнта біологічної кривої становить, 0,6 після колосіння до воскової стиглості – 0,4.

Таким чином, потреба культур у волозі в будь-яку декаду вегетації буде дорівнювати сумі дефіцитів насичення повітря помноженій на 0,6, якщо значення дефіциту насичення виражено у мм, та 0,45, якщо – у мілібарах, тобто, у період від колосіння до воскової стиглості $E_o = 0,4 \cdot \Sigma d$ мм, або $E_o = 0,6 \cdot \Sigma d$ мм.

Для розрахунків забезпечення вологою зернових культур необхідні такі матеріали: дати настання фаз розвитку, фактична та очікувана за прогнозом температура повітря, фактичні та очікувані за прогнозом суми опадів, дефіцит насичення повітря та запаси продуктивної вологи на кінець кожної декади. Якщо запаси вологи не визначались, то вони розраховуються за рівнянням:

$$W_2 = (W_1 + x) - E , \quad (11.14)$$

де W_1 та W_2 – запаси продуктивної вологи на початок та кінець декади, для якої виконуються розрахунки, мм відповідно;

x – сума опадів за декаду, мм.

Для зручності використання цих формул для ярої пшениці були побудовані графіки для визначення очікуваних запасів продуктивної вологи та сумарного випаровування для трьох періодів вегетації: сівба – вихід у трубку, вихід у трубку – цвітіння, цвітіння – воскова стиглість (рис. 5.10 а, б, в). За цими рисунками одночасно визначаються запаси продуктивної вологи на кінець декади та сумарне випаровування. На рис. 5.10 на осі абсцис - значення температури повітря, t °С. На осі ординат – сумарне випаровування, (E_{ϕ}) мм; у полі графіка криві, які відповідають сумі запасів вологи на початок декади і опадів за декаду, ($W + x$), мм.

Для складання прогнозу вологозабезпеченості посівів зернових культур необхідно мати синоптичний прогноз температури повітря, опадів та дефіциту насичення повітря. Але дефіцит насичення не прогнозується. Тому О.В. Процеров запропонував прогнозовану величину дефіциту насичення розраховувати через відхилення від норми температури повітря (табл. 11.4).

Для користування таблицею необхідно спочатку розрахувати у відсотках відхилення температури повітря від середнього багаторічного її значення і потім визначити відхилення дефіциту насичення у відсотках від його середньої багаторічної величини і визначити очікуване його значення у мм.

Таблиця 11.4 – Співвідношення відхилень температури повітря та дефіциту насичення повітря від норми

Елементи	Відхилення від норми (%)			
Температура повітря	±10	±20	±30	±40
Дефіцит температури повітря	±15	±30	±45	±60

Якщо температура повітря очікується близько норми, то і дефіцит насичення теж буде близько норми.

Забезпечення рослин вологою розраховується по декадах періоду вегетації культури, а потім середня величина за період розраховується як середня арифметична.

С.О. Веріго розрахувала оцінку агрометеорологічних умов формування врожаю в залежності від забезпечення рослин вологою (рис. 11.3).

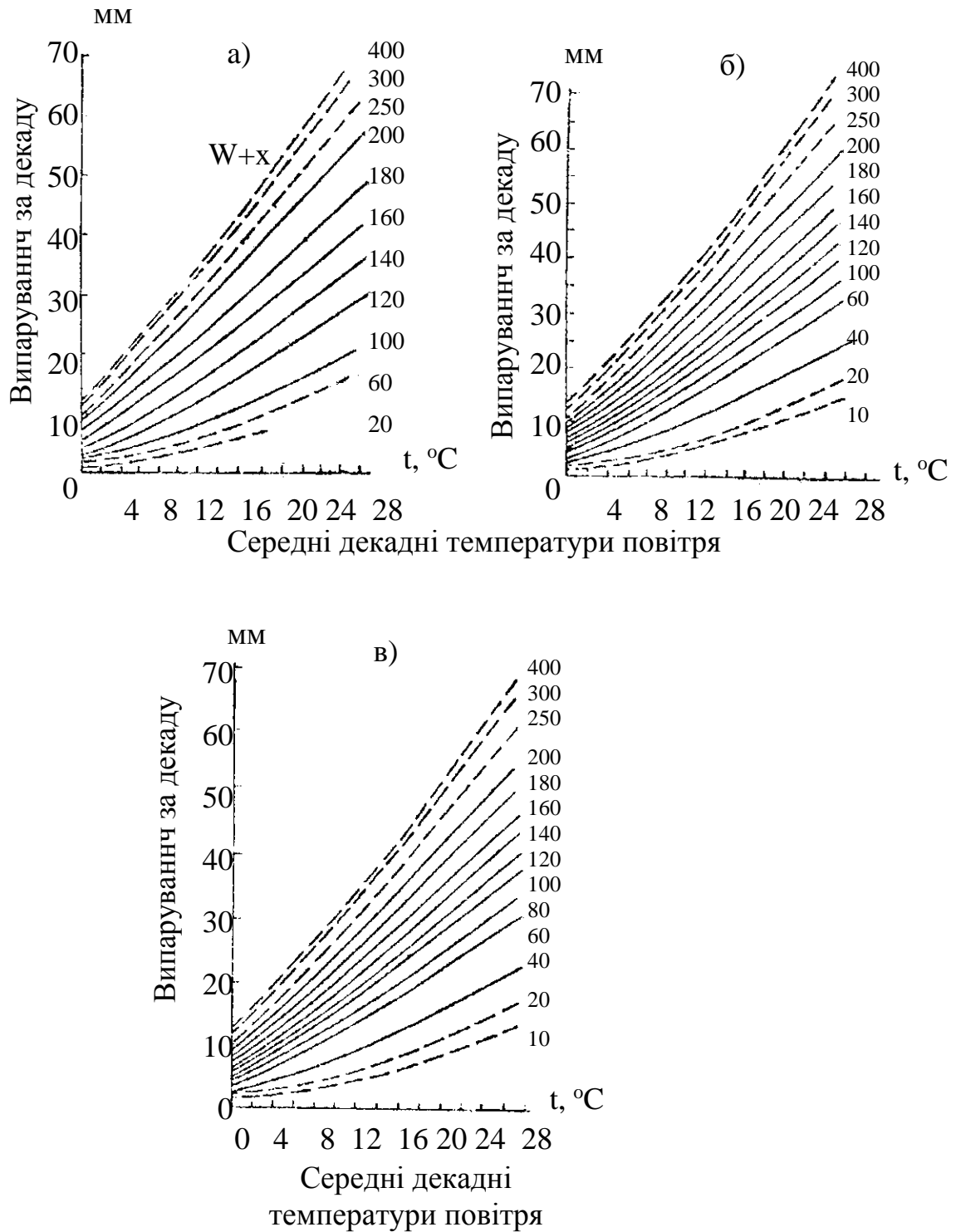


Рис. 11.3 – Сумарне випаровування за декаду (E_{ϕ}) на полях ярої пшениці в залежності від початкових запасів продуктивної вологи (W_1), опадів за декаду (x) та середньої температури повітря (t):

- а) від сівби до виходу у трубку;
- б) після виходу у трубку до колосіння;
- в) після колосіння до воскової стиглості

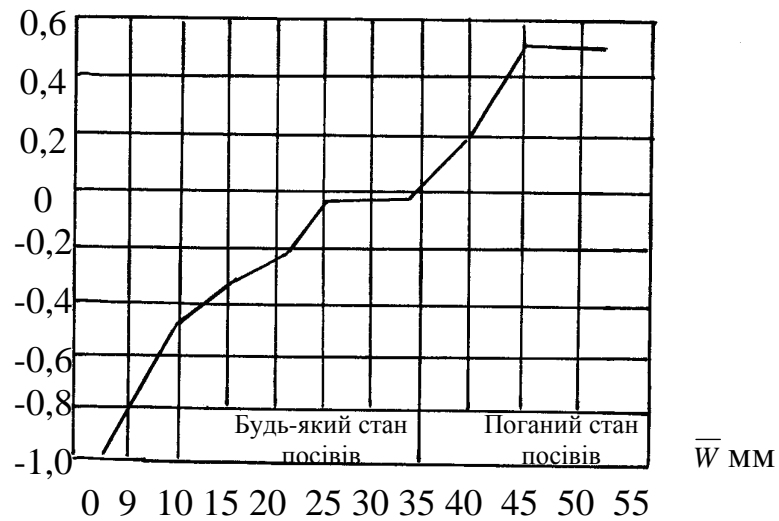
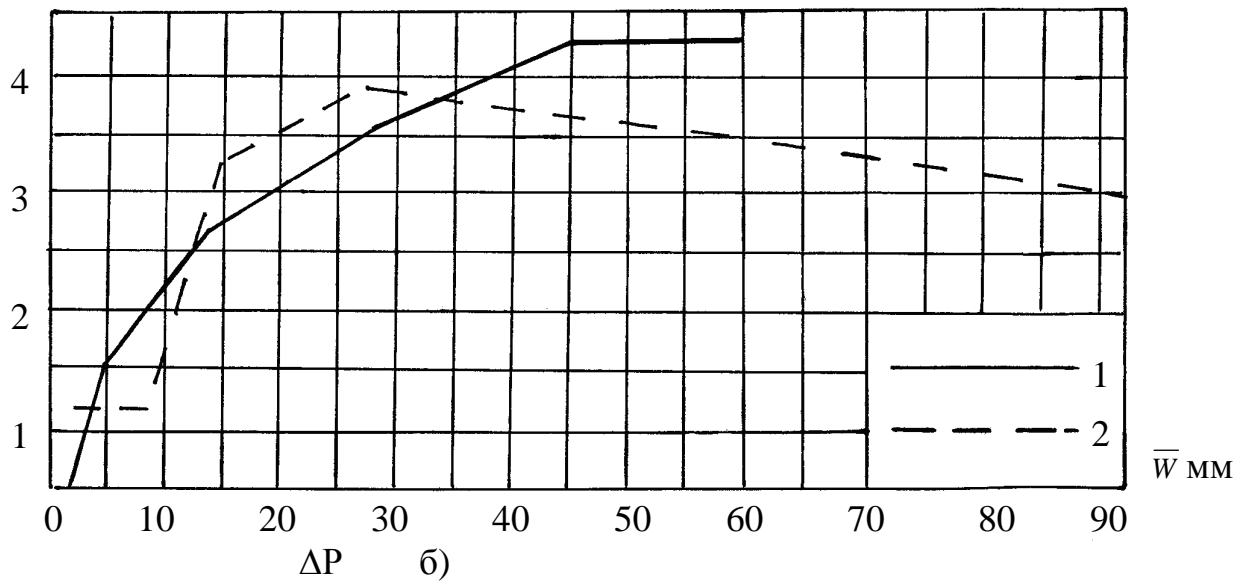


Рис. 11.4– Відносна оцінка посівів ярої пшениці в залежності від забезпеченості вологою ярої пшениці в зоні:

- а) недостатнього зволоження,
- б) в зоні надмірного зволоження

Прогноз забезпеченості вологою ярих зернових культур складається трічі за вегетаційний період: перший – після закінчення сівби ярих; другий – після виходу у трубку; третій – після колосіння.

Приклад. Розрахувати середню по області вологозабезпеченість посівів ярої пшениці. Розрахунок забезпечення посівів вологою краще виконувати у робочій таблиці (табл. 11.5).

Таблиця 11.5 – Приклад розрахунку вологозабезпеченості ярої пшениці

Середні по області показники	Травень		Червень			Липень			Серпень	
	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
Середня декадна температура повітря	7	10	13	15	18	19	21	23	22	20
Сума опадів за декаду (мм)	10	15	25	8	16	0	5	10	25	20
Запаси вологи у метровому шарі ґрунту (мм)	110	105	110	90	80	50	25	15	22	27
Сума середньодобової нестачі вологи повітря за декаду (мм)	22	25	34	49	60	97	90	105	82	82
Величина випарування, яка необхідна для оптимальних умов росту (мм)	13	15	20	29	36	58	54	42	33	33
Сумарне випарування у поточному році (мм)		20	20	28	26	30	30	20	18	15
Вологозабезпеченість за декаду (%)		133	100	96	72	52	56	48	55	45
Середня вологозабезпеченість за весь минулий період (%)		133	116	110	100	90	85	80	76	72

11.3 Метод прогнозу забезпеченості теплом вегетаційного періоду

Наукове підґрунтя методу. Прогноз забезпечення теплом вегетаційного періоду розроблено Ф.Ф. Давітая [25]. Сутність його полягає у прогнозуванні сум температур на вегетаційний період навесні. При цьому вегетаційний період приймається як період від переходу температури повітря через 10 °С навесні до переходу її через 10 °С восени. Ф.Ф. Давітая встановлено асинхронні зв'язки між строками початку весни і загальною кількістю тепла влітку. За індекс весни прийнята дата переходу температури повітря через 10 °С навесні. Чим раніше настає ця дата, тим більша кількість тепла накопичується за вегетаційний період. Кількість тепла виражена через суму температур вище 10 °С. Між датою переходу температури повітря через 10 °С та кількістю тепла існує тісний зв'язок, який характеризується високими значеннями коефіцієнтів кореляції майже в усіх географічних зонах.

Характер залежності сум температур вище 10 °С від початку весняних процесів неоднаковий в різні відрізки вегетаційного періоду. Якщо його розбити на дві частини, відокремивши перші два місяці, то залежність сум температур від дати переходу через 10 °С за другий відрізок значно тісніша.

Крім того, Ф.Ф. Давітая також встановлена та науково обґрунтована залежність тривалості вегетаційного періоду від початку весни. Таким чином, за датою стійкого переходу температури повітря через 10 °С навесні є можливість розрахувати:

- очікувану суму температур вище 10 °С за вегетаційний період або за окремі його частини;
- тривалість вегетаційного періоду.

Дослідження багатьох авторів показали, що, якщо за індекс весни взяти перехід температури повітря через 5 °С, а за індекс початку літа – перехід температури через 15 °С, то існує тісний зв'язок сум температур у межах цих дат з відповідними датами переходу температури повітря.

Прогноз забезпеченості теплом вегетаційного періоду. Ф.Ф. Давітая розроблена ціла низка рівнянь для розрахунку очікуваних сум температур за вегетаційний період для різних районів. В цілому рівняння має вигляд

$$\sum t > 10^{\circ}\text{C} = -aD + A, \quad (11.15)$$

де A – вільний член рівняння,
 a – коефіцієнт при змінній.

В табл. 11.6 наведені значення A та a рівняння (11.15) для різних гідрометеорологічних станцій, розташованих на Європейській частині СНД.

Самий ранній місяць в табл. 11.6 наводиться з метою розрахунку кількості днів від першого числа самого раннього місяця до переходу температури повітря через 10°C навесні в поточному році, тому що в рівнянні (11.15) замість D використовується як раз така кількість днів.

Прогноз забезпеченості теплом складається відразу ж після переходу температури повітря через 10°C навесні поточного року.

Дата переходу температури повітря через 10°C визначається за даними середніх за добу або середніх за декаду температур повітря графічним методом або за формулою:

$$\text{для весни} \quad S = \frac{v - a}{a - v} \cdot d + 5, \quad (11.16)$$

$$\text{для осені} \quad S = \frac{a - v}{v - a} \cdot d - 5, \quad (11.17)$$

де a – температура повітря нижче 10°C ;

v – температура повітря вище 10°C ;

d – кількість днів першої декади.

Визначення дати переходу температури повітря через 10°C за допомогою графіка виконується так. Вибираються дві декади з середньою температурою нижче 10°C та вище 10°C . Ці значення температури наносяться на міліметровий папір, де на осі абсцис відкладаються дати (масштаб вибирається так, щоб 1 мм становив 1 день), а на осі ординат – значення середньої за декаду температури повітря (теж у масштабі 1°C становить 1 день). Потім на графіку на кінець кожної декади відкладається середнє значення температури повітря. Точки з'єднуються прямою лінією. З точки ординати, яка відповідає значенню температури 10°C , проводиться пряма, паралельна осі абсцис, до перетину з лінією, яка сполучає два значення середньої за декаду температури. З точки перетину на вісь абсцис проводиться перпендикуляр до перетину з нею. У точці перетину і буде дата переходу температури повітря через 10°C .

Ф.Ф.Давітая також були розроблені прогностичні рівняння для розрахунку сум температур на другу половину вегетаційного періоду (через два місяці після переходу температури повітря через 10°C). Цей прогноз також складається за даними дат переходу температури повітря через 10°C навесні. Але коефіцієнти в рівнянні (11.15) будуть інші (табл. 11.6).

Таблиця 11.6 – Значення коефіцієнтів A і a для прогнозу сум температур за весь вегетаційний період

Станція	Самий ранній місяць переходу температури повітря через 10 °С навесні	A	A	+
Мінськ	Квітень	2450	-8,03	220
Рига	„	2940	-18,70	250
Псков	„	2670	-15,50	230
С.-Петербург	„	2760	-18,25	220
Вологда	„	2280	-11,20	210
Кострома	„	2560	-15,65	220
Москва	„	2770	-16,21	210
Воронеж	„	3040	-16,62	220
Курськ	„	2940	-14,80	220
Краснодар	березень	4260	-15,65	210
Чернігів	квітень	3390	-25,43	220
Київ	„	3270	-23,07	230
Житомир	„	3100	-22,11	220
Тернопіль	„	2910	-16,62	220
Львів	„	3140	-23,75	230
Чернівці	„	3190	-18,65	230
Южно-Дністровськ	„	3310	-22,25	240
Умань	„	3270	-23,82	220
Полтава	„	3330	-21,71	240
Харків	„	3300	-22,06	250
Луганськ	„	3370	-17,91	220
Дніпропетровськ	„	3540	-18,76	220
Кіровоград	„	3300	-18,16	220
Запоріжжя	„	3630	-22,70	220
Херсон	„	3790	-18,01	240
Одеса	„	3740	-20,45	220
Кишинів	„	370	-23,6	22

Ф.Ф.Давітая також були розроблені прогностичні рівняння для розрахунку сум температур на другу половину вегетаційного періоду (через два місяці після переходу температури повітря через 10 °С). Цей прогноз також складається за даними дат переходу температури повітря через 10 °С навесні. Але коефіцієнти в рівнянні (11.15) будуть інші (табл. 11.6).

Рівняння типу (11.15) для прогнозу сум температур за весь вегетаційний період або другу його половину можна розрахувати для будь-якої станції, яка має ряд спостережень за температурою повітря не менше ніж 50 років. Для цього спочатку за кожен рік визначають дати переходу температури повітря через 10 °С навесні і підраховують фактичну суму температур за весь період вегетації та другу його половину. Потім за допомогою методів математичної статистики одержують відповідні рівняння.

Таблиця 11.7 – Значення коефіцієнтів А та а в рівнянні (11.15) для розрахунку сум температур на другу половину вегетаційного періоду

Станція	Самий ранній перехід температури повітря через 10°С навесні	А	а	+
С.- Петербург	Квітень	2050	-19,58	200
Псков	„	1810	-18,60	190
Москва	„	1970	-19.60	200
Курськ	„	2010	-16,20	200
Київ	„	2330	-24.64	190
Одеса	„	2820	-22.73	190

Приклад складання прогнозу забезпеченості теплом вегетаційного періоду. Ст. Київ. У 2000 р. середня температура повітря за другу декаду квітня складала 8,8 °С, а за третю декаду квітня - 13,3 °С. Дата переходу температури повітря через 10 °С у нашому випадку припадає на 18 квітня. Рівняння для розрахунку суми температур буде:

$$\sum T > 10^{\circ}\text{C} = 3270 - 23,07 \text{ Д}$$

Оскільки перехід температури повітря через 10 °С у 2000 році спостерігався у квітні, тобто в той місяць, коли спостерігається на ст. Київ найбільш рання дата переходу температури повітря через 10 °С, то в рівняння підставляється кількість днів від 1 квітня до знайденої дати переходу температури повітря у поточному році. Таким чином очікувана сума температур у 2000 році становить

$$\sum T > 10^{\circ}\text{C} = 3270 - 23,07 \times 18 = 2855^{\circ}\text{C}.$$

Фактична сума температур вище 10 °С у 2000 році становила 2690 °С.

Прогноз тривалості вегетаційного періоду.

Основою методу прогнозу тривалості вегетаційного періоду є залежність тривалості періоду з температурою вище 10 °С (n) від дати стійкого переходу температури повітря через 10 °С (D) навесні. Рівняння зв'язку має загальний вигляд

$$n = A - a D \quad . \quad (11.18)$$

Для деяких агрометеорологічних станцій України значення коефіцієнтів A та a визначені Ф.Ф. Давітая та Ю.С. Мельником (табл. 11.8). Ці коефіцієнти і використовуються для складання прогнозу тривалості вегетаційного періоду.

Таблиця 11.8 - Значення коефіцієнтів A та a рівняння (11.18) для прогнозу тривалості вегетаційного періоду з температурою повітря вище 10 °С

Станція	Найраніша дата переходу температури повітря через 10°С навесні	A	A	+
Чернігів	Квітень	190	-1,14	10
Житомир	„	176	-1,05	9
Харків	„	179	-0,73	10
Умань	„	187	-1,03	10
Полтава	„	179	-0,71	10
Луганськ	„	182	-0,93	11
Кам'янець-Подільський	„	189	-0,82	9
Чернівці	„	195	-1,176	10
Херсон	„	185	-0,87	10

Для складання прогнозу необхідно визначити дату переходу температури повітря через 10 °С навесні (D). Потім підрахувати кількість днів від першого числа місяця з самим раннім переходом температури повітря через 10 °С до дати переходу температури повітря через цю ж температуру в поточному році. Знайти рівняння, яке відповідає станції, для якої ведеться розрахунок, підставити всі значення в рівняння та виконати розрахунки.

Приклад: На ст. Херсон у 2000 році стійкий перехід температури повітря через 10 °С спостерігався 8 травня. Найбільш ранній перехід

температури повітря через цю межу спостерігається в Херсоні у квітні місяці. Тому замість D в рівнянні (11.14) підставляється значення 38 (тобто, 30 днів квітня плюс 8 днів травня). В табл. 11.5 знаходимо рівняння для ст. Херсон – $n = 185 - 0,87 \times 38$; $n = 152$ дні. Таким чином, тривалість періоду з температурою повітря вище 10°C становить в районі ст. Херсон 152 доби.

11.4 Прогнози врожаїв сільськогосподарських культур

Ефективне управління сільськогосподарським виробництвом неможливе без прогнозування ходу чинників, від яких залежить його діяльність. Прогнозування фаз розвитку сільськогосподарських культур, оцінка їх стану, очікуваний врожай, вологозабезпеченість культур, пошкодження несприятливими метеорологічними умовами та ін. дає можливість створити науково обґрунтовану базу для планування і забезпечує маневрування управління розвитком сільськогосподарського виробництва.

У сільськогосподарському виробництві найбільше впливають на розвиток та формування врожаїв культур метеорологічні умови. Вони в значній мірі зумовлюють продуктивність усіх сільськогосподарських культур.

Недостатнє та нестійке зволоження є головною причиною значних коливань врожайності щорічно. Вивченню динаміки врожаїв, виявленню основних агрометеорологічних факторів і показників стану рослин, а також створенню методів прогнозів врожайності культур присвячені роботи І.В. Свісюка, В.П. Дмитренка, А.М. Польового, М.І. Гойси, В.М. Пасова, М.С. Кулика, К.В. Кирилічевої, А.В. Процєрова та багатьох інших авторів [40].

Агрометеорологічні прогнози врожаїв сільськогосподарських культур відіграють значну роль у формуванні продовольчої бази країни. Особливо велике значення мають прогнози врожаїв сільськогосподарських культур із великою завчасністю (2 – 4 місяці). На разі в різних науково-дослідних установах розроблено та запропоновано для використання на в гідрометеорологічних установах методи прогнозів урожаїв усіх провідних культур. Розглянемо прогнози врожаїв культури, яка займає провідне місце у сільськогосподарському виробництві – озимої пшениці.

Прогнози врожайності озимих культур є головними агрометеорологічними прогнозами. Вони можуть складатись як для окремих полів, так і для великих територій.

Озимі культури займають друге місце за розміром посівних площ. При цьому озима пшениця серед озимих посідає перше місце. Головні

посівні площі озимини знаходяться у районах з родючими чорноземними ґрунтами, багатими речовинами харчування. Світла та тепла також достатньо для повного досягання хлібів. Але тут спостерігаються значні зміни врожайності щорічно, причинами яких є недостатнє та нестійке зволоження ґрунтів. Тому прогнози врожайності озимих культур мають велике значення.

11.4.1 Метод прогнозу врожаїв озимої пшениці для території України (метод В.П. Дмитренка)

Прогноз врожаю озимої пшениці за методом В.П.Дмитренка складається після відновлення вегетації (березень, квітень) та в період колосіння (травень, червень). Метод прогнозу розроблено на основі моделі В.П. Дмитренком у вигляді

$$y = y_1 (1 - U) f(k) S(T, W, R)_{III-VIII} + \Delta \quad (11.19)$$

де y – очікуваний врожай озимої пшениці, ц/га;

y_1 – щорічний статистичний максимум врожаю, ц/га;

U – показник зрідження посівів;

$f(k)$ – функція кущистості;

$S(T, W, R)$ – сумарний коефіцієнт продуктивності, розрахований за гідрометеорологічними показниками весняно – літнього періоду;

Δ – помилка розрахунків через невраховані фактори.

В моделі y_1 – відображає щорічне підвищення врожаю культури внаслідок поліпшення культури землеробства і розраховується з формули

$$y_1 = y_c + At \quad (11.20)$$

де y_c – статистичний максимум врожаю з ймовірністю 99,9 % щодо початкового року;

A – середньорічний приріст врожаю;

$t = t_1 - t_c$ – відхилення даного року від реперного y_c , яке визначається кількістю років у статистичному рядку.

Зрідження посівів U – це різниця між найбільшою N_0 та фактичною N густиною рослин, яка визначається кількістю рослин на метр квадратний, віднесеною до найбільшої густоти на одиницю площі

$$U = \frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - \frac{N}{N_0}, \quad (11.21)$$

де $\frac{N}{N_0}$ – густина посіву.

Кущистість визначається з формули

$$f(k) = 1 - \left(\frac{K - K_0}{K_0} \right)^2, \quad (11.22)$$

де K – фактична кущистість навесні після відновлення вегетації;

K_0 – найбільша кущистість рослин навесні для даної території.

В зв'язку з тим, що сортовий набір посівів неоднаковий, необхідно також визначати середню вагову найбільшу кущистість:

$$K_0 = \frac{\sum K_{oi} S_i}{\sum S_i}, \quad (11.23)$$

де K_{oi} – найбільша весняна кущистість даного сорту;

S_i – площа його посівів у відсотках або гектарах.

Найбільша кущистість різних сортів озимої пшениці спостерігається в межах 2,9 (Аврора) до 5,0 (Миронівська 808).

Кількісна оцінка впливу температури повітря, опадів та запасів продуктивної вологи у весняно – літній період виконується за формулою

$$S(T, W, R)_{III-VIII} = \eta(W) a_3 + \sum \eta_i(T) \eta_i(R) a_i, \quad (11.24)$$

де $\eta_i(T)$, $\eta_i(R)$, $\eta_i(W)$ – відповідно коефіцієнти продуктивності, розраховані відносно температури повітря T , опадів R , запасів продуктивної вологи W навесні в i -ий період розвитку культури;

a_3 , a_i – вагові коефіцієнти, які враховують вклад осінньо – зимового періоду (a_3) та подальші періоди розвитку (a_i) в урожай.

Коефіцієнти продуктивності по температурі та опадах розраховуються за даними табл. 11.9.

Кількісна оцінка впливу температури повітря, опадів та запасів продуктивної вологи у весняно – літній період виконується за формулою:

$$S(T, W, R)_{III-VIII} = \eta(W) a_3 + \sum \eta_i(T) \eta_i(R) a_i, \quad (11.25)$$

де $\eta_i (T)$, $\eta_i (R)$, $\eta_i (W)$ – відповідно коефіцієнти продуктивності розраховані відносно температури повітря T , опадів R , запасів продуктивної вологи W навесні в i -ий період розвитку культури;

a_3 , a_i – вагові коефіцієнти, які враховують вклад осінньо – зимового періоду (a_3) та подальших періодів розвитку (a_i) в урожай.

Таблиця 11.9. – Параметри розрахунку коефіцієнтів продуктивності по температурі і опадах в період вегетації озимої пшениці

Місяць	T_0 , °C	Параметри до рівняння (5.14)		R_0 , Мм	R_{max} , мм	Параметри до рівняння (5.15)		А
		$T \leq T_0$	$T > T_0$			a_1	A_2	
VII – VIII	18	-1	-2	130	526	1/3	1	0.07
IX – X	13	-1	-2	170	411	1/3	1/2	0.07
XI	5	-1	-2	120	243	1/2	1/2	0.05
XII – II	-0.5	-1	-2	160	552	1/2	1	0.29
III – V	8	-1	-2	170	709	1/3	1	0.36
VI	17	-1	-2	17	224	0	2	0.09
VII	22	-1	-2	10	224	0	2	0.07

Для розрахунку коефіцієнтів продуктивності що до вологості ґрунту необхідні дані про $HВ$, а також спостереження за вологістю ґрунту під озимою пшеницею навесні. Визначення виконується за табл. 11.10.

Приклад. Розрахувати середній по Київській області врожай озимої пшениці. Середні по області запаси продуктивної вологи становлять 178 мм. Оптимальні запаси для розвитку озимої пшениці – 167 мм, різниця між ними становить 11 мм. Із табл. 11.10 визначається коефіцієнт продуктивності, він становить за запасами вологи 1,0. Перемножується його значення на значення альфа, яке дорівнює 0,48 і отримується 0,48.

У період березень-травень температура повітря становила 8,6 °C, сума опадів – 100 мм. Із табл. 11.9 визначаються коефіцієнти продуктивності за температурою та опадами, потім сумарний. У нашому випадку він становить 0,94, а з врахуванням значення альфа = 0,36 сумарний коефіцієнт буде – 0,34. В червні температура була 22,1 °C, сума опадів – 79 мм.

Таблиця 11.10 – Коефіцієнти продуктивності озимої пшениці, розраховані за даними запасів вологи метрового шару навесні

Різниця між виміряними та найбільш сприятливими запасами вологи, мм	Найбільш сприятливі, середньозважені запаси вологи, мм							
	140	150	160	170	180	190	200	210
	10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
40	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98
50	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96
60	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94
70	0,82	0,84	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92
80	0,75	0,78	0,81	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89
90	0,67	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,84	0,85
100	0,59	0,64	0,68	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82
	0,49	0,56	0,61	0,65	0,69	0,72	0,75	0,77

Тоді за розрахунками коефіцієнт продуктивності в купі з ваговим коефіцієнтом альфа буде становити 0,02. Розраховується сумарний коефіцієнт за весь період. Він буде:

$$S(T, W, R) = 0,48 + 0,34 + 0,02 + 0,04 = 0,88$$

Різниця між оптимальною і фактичною кущистістю становить – $K - K_0 = 2,8 - 5,0 = -2,2$. У цьому випадку $f(K) = 0,81$. Після розрахунку усіх необхідних величин розраховується очікуваний врожай за моделлю

$$Y = 39,0 \cdot 0,81 \cdot 0,88 = 27,8 \text{ ц / га}$$

11.4.2 Метод прогнозу врожаїв озимої пшениці у головних районах вирощування

Прогноз врожайності озимої пшениці у головних районах вирощування розроблено Є.С. Улановою [44]. Він складається з різною завчасністю: тримісячною – через 10 днів після відновлення вегетації; двомісячною – після виходу у трубку; та місячною - після настання фази колосіння.

Є.С. Улановою розроблені кількісні прогностичні залежності врожаїв озимої пшениці від головних інерційних факторів: густоти рослин, запасів продуктивної вологи у різні періоди розвитку та таких агрометеорологічних показників як середня температура повітря після виходу у трубку, висота рослин на різні фази розвитку, суми опадів також за різні періоди розвитку озимої пшениці. Ці прогностичні залежності дозволяють розраховувати очікуваний врожай з різною завчасністю без використання синоптичного прогнозу погоди, який майже завжди зменшує справджуваність розрахованих величин.

Головними факторами, що зумовлюють величину очікуваного врожаю, є густота стебел на один метр квадратний, висота рослин на дату колосіння, запаси продуктивної вологи на декаду весняного обстеження, виходу у трубку та колосіння, тривалість періодів від відновлення вегетації до виходу у трубку та від виходу у трубку до колосіння, кількість колосків у колосі. Прогноз можна складати для окремих полів, для територій областей та економічних районів.

Прогноз врожаю озимої пшениці для окремих полів. З тримісячною завчасністю очікуваний врожай Є.С. Уланова [44] пропонує розраховувати за рівнянням:

$$y = 0,59W + 0,024m - 2,97, \quad (11.26)$$

де W – запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0 – 100 см в декаду відновлення вегетації, мм;

m – кількість стебел озимої на 1 м², шт.;

У фазу виходу у трубку (з двомісячною завчасністю) врожайність озимої пшениці розраховується за рівнянням:

$$y = -12,8 + 0,29W - 10^{-3}W^2 + 0,04m - 10^{-5}m^2 - 0,72t + 0,03t^2, \quad (11.27)$$

де y – врожайність озимої пшениці, ц/га;

W – середні запаси продуктивної вологи за період від відновлення вегетації до виходу у трубку, мм;

m – кількість стебел на 1 м² в фазу виходу у трубку, шт.;

t – середня температура повітря за період від відновлення вегетації до виходу у трубку, °С.

Для уточнення прогнозу врожаю розрахунки виконуються після настання фази колосіння (з місячною завчасністю) за рівнянням

$$y = -49,67 + 0,32W - 10^{-3}W^2 + 0,04m_k - 2 \cdot 10^{-5}m_k^2 + 0,14h_k + 6 \cdot 10^{-4}h^2 + 0,54n - 4 \cdot 10^{-3}n^2 + 0,06E - 2 \cdot 10^{-4}E^2 \quad (11.28)$$

де W – запаси продуктивної вологи на дату колосіння, мм;
 m_k – кількість колосоносних стебел на дату колосіння, штук/м²;
 h_k – висота рослин озимої пшениці на колосіння, см;
 n – тривалість періоду відновлення вегетації – колосіння, в днях;
 E – сумарне випарування за цей же час, мм.

Слід зауважити, що в агрометеорології при розрахунках статистичних рівнянь для прогнозів врожаїв досить важко визначити в рівняннях зовсім незалежні один від одного фактори.

Це виникає через те, що головні фактори, які впливають на урожай, залежать від великого комплексу агрометеорологічних умов.

Прогноз середнього по області врожаю озимої пшениці. Для плануючих організацій більш важливим є прогноз очікуваного врожаю по області, ніж для окремих полів. Тому на основі вищевказаних залежностей розроблені прогностичні рівняння для окремо взятих областей, країв, республік, економічних районів.

Навесні після весняного обстеження посівів для розрахунку очікуваного врожаю з завчасністю три місяці розроблено рівняння:

Для України, Молдови та Північного Кавказу:

$$y = -21,14 + 0,31W - 7 \cdot 10^{-4}W^2 + 0,023m_g - 8 \cdot 10^{-6}m_g^2 \quad , \quad (11.29)$$

де W – середні по області запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту в декаду весняного обстеження посівів, мм;

m_g – середня по області кількість стебел озимої пшениці в декаду весняного обстеження, штук на м².

Рівняння застосовуються при запасах продуктивної вологи від 60 до 280 мм та кількості стебел від 100 до 2000 на 1 м² в декаду весняного обстеження.

Очікуваний врожай озимої пшениці з тримісячною завчасністю можна розрахувати також за результатами авіаспостережень за станом посівів навесні та запасами продуктивної вологи. В роки з високими врожайями (більше 30 ц/га) більш ніж на 70 % площі переважають посіви озимої пшениці в доброму та відмінному стані; в роки з низькими врожайями – на 70 % площі озимина знаходиться в задовільному та поганому стані. Враховуючи це, були одержані прогностичні залежності для різних територій:

Для України, Молдови та Північного Кавказу

$$y = -2,8 + 0,13W + 0,12S_5 + 0,3S_3 \quad , \quad (11.30)$$

де y – очікуваний середній по області врожай озимої пшениці, ц/га;

W – середні по області запаси продуктивної вологи метрового шару ґрунту в декаду весняного обстеження, мм;

S_5 – відсоток поля у хорошому та відмінному стані озимої пшениці навесні;

S_3 – відсоток поля у задовільному стані озимої пшениці на той же час.

З двомісячною завчасністю, у фазу виходу у трубку, здійснюється перше уточнення прогнозу очікуваного врожаю. Для цього Є.С. Улановою визначені такі рівняння:

для Північного Кавказу, Молдови та більшості областей України

$$y = -35,75 + 0,55W - 0,0017W^2 + 0,03m_T - 9 \cdot 10^{-6} m_T^2 \quad , \quad (11.31)$$

для західних і північних областей України

$$y = -11,32 + 0,3W - 8 \cdot 10^{-4} W^2 + 0,014m_T - 4 \cdot 10^{-6} m_T^2 \quad , \quad (11.32)$$

де y – середній по області врожай озимої пшениці, ц/га;

W – середні по області запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту у декаду виходу у трубку, мм;

m_T – середня по області кількість стебел на 1 м² на дату виходу у трубку, штук на м².

Після настання фази колосіння озимої пшениці, коли стає відомим кількість колосоносних стебел, а також кількість колосків у колосі, складається останній уточнюючий прогноз з місячною завчасністю. В цьому уточненні крім головних факторів враховується висота озимої пшениці на фазу колосіння.

Для уточнення прогнозу врожаю було отримано рівняння

$$y = -19,92 + 0,29W_k - 0,0013W_k^2 + 0,045m_k - 3 \cdot 10^{-5} m_k^2 + 0,23h_k - 14 \cdot 10^{-5} h_k^2 - 0,805K + 0,057K^2 \quad (11.33)$$

для посушливих років було отримано рівняння, яке враховує опади у травні та червні, або опади від колосіння до воскової стиглості

$$y = -19,13 + 0,32W_e - 8 \cdot 10^{-4} W_e^2 + 0,002m_e - 6 \cdot 10^{-6} m_e^2 - 0,06 \sum O_v + 9 \cdot 10^{-4} \sum O_v^2 + 0,02 \sum O_{vi} + 7 \cdot 10^{-5} \sum O_{vi}^2, \quad (11.34)$$

де W – запаси продуктивної вологи в декаду масового колосіння, мм;

m_k – кількість колосоносних стебел, шт;

h_k – середня висота рослин, см;

K – кількість колосків у колосі;

W – середні по області запаси продуктивної вологи навесні, мм;

m_v – середня кількість стебел навесні, шт;

$\sum O_v$ – сума опадів у травні, мм;

$\sum O_{vi}$ – сума опадів у червні, мм.

Підтвердження величини очікуваного врожаю середнього по області також розраховується за рівнянням:

$$y = -26,72 + 0,031W + 0,016m_k + 0,12h + 1,76K, \quad (11.35)$$

де W – запаси продуктивної вологи, середні по області, мм;

m_k – середня кількість колосоносних стебел на колосіння, шт..;

K – середня кількість розвинених колосків у колосі, шт;

h – висота рослин на фазу колосіння, см.

При складанні прогнозу у фазу колосіння з використанням рівняння також необхідно враховувати прогноз температури повітря і опадів. За сумами температур розраховується дата настання воскової стиглості, а потім – суми опадів за міжфазний період від колосіння до молочної стиглості.

Викладений вище метод прогнозу врожайності озимої пшениці різної завчасності розроблено переважно для сортів Безоста –1, Миронівська 80.

Якщо по території області або краю більш ніж 50 % площі озимини займають інші сорти озимої пшениці (Одеська 51, Миронівська ювілейна, Кавказ), то очікувану врожайність необхідно збільшити на 2 – 4 ц/га за середніх та сприятливих умов.

Приклад. Скласти довгостроковий прогноз середнього по області врожаю озимої пшениці з двомісячною завчасністю.

Вихід у трубку по Луганській області спостерігався в південних районах 10 квітня, у північних – 18 квітня. В період від відновлення вегетації до виходу у трубку середня температура повітря була 8 °С, сума опадів – 15 мм. Стан озимої пшениці на вихід у трубку був добрий. Середня кількість стебел становила 850 штук на квадратний метр.

Середні запаси продуктивної вологи становили 110 мм. За відповідним рівнянням розраховується середній по області врожай озимої пшениці:

$$Y = -365,75 + 0,55 \cdot 110 - 0,0017 \cdot 110^2 + \\ + 0,03 \cdot 850 - 0,000009 \cdot 850^2 = 27,9 \text{ ц/га}$$

Таким чином, очікуваний врожай по Луганській області за даними з двомісячною завчасністю становить 27,9 ц/га.

Приклад. Скласти прогноз середнього по області врожаю озимої пшениці з завчасністю один місяць (уточнення перших двох прогнозів).

Масове колосіння озимої пшениці на Луганщині у 2000 році відбулося у період 22 – 24 травня. Від виходу у трубку до колосіння температура повітря становила 14° С, сума опадів – 69 мм. Середні запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту в декаду масового колосіння становили 61 мм, а кількість колосonosних стебел була 464 на квадратний метр. Висота рослин в середньому становила 70 см, а в колосі спостерігалось 16 розвинених колосків. Якщо підставити ці дані у відповідне рівняння, то

$$Y = -19,92 + 0,29 \cdot 61 - 0,0013 \cdot 61^2 + 0,045 \cdot 464 - 0,00003 \cdot 464^2 + \\ + 0,23 \cdot 70 - 0,00014 \cdot 70^2 - 0,805 \cdot 16 + 0,057 \cdot 16^2 = 24,5 \text{ ц/га}$$

Таким чином, очікуваний врожай озимої пшениці становить 27,95 ц/га. Фактичний врожай був 22,3 ц/га. Помилка розрахунків становить 2,2 ц/га, при можливій – 3 ц/га.

11.4.3 Метод прогнозу врожаїв сільськогосподарських культур допомогою динаміко-статистичної моделі

Розробка теорії фотосинтетичної продуктивності посівів стимулювала інтенсивний розвиток робіт по моделюванню продуктивного процесу рослин, серед яких особливий інтерес для практики становили довгоперіодні динамічні моделі формування урожаю (Є.П. Галямін, А.М. Польовий, Р.О. Полуєтков, О.Д. Сиротенко) [11, 41]. Моделювання дозволило узагальнити значну кількість даних, що відображають вплив чинників зовнішнього середовища на ряд найважливіших процесів життєдіяльності рослин, складна сукупність

яких являє собою процес формування урожаю. Динамічні моделі продуктивності дозволяють відтворити ефект впливу агрометеорологічних умов на основні показники фотосинтетичної діяльності посівів і реально оцінити міру цього впливу. Такий підхід виявився особливо плідним. На цій основі відкрилася можливість приступити до створення методів оцінки агрометеорологічних умов росту сільськогосподарських культур, прогнозування їх врожайності.

Розвиток автоматизованих методів обробки агрометеорологічної інформації дав змогу створення Автоматизованого робочого місця агрометеоролога-прогнозіста (АРМ-агрометеоролога). Відкрилася можливість наповнення АРМ-агрометеоролога моделями формування продуктивності сільськогосподарських культур для кількісної оцінки агрометеорологічних умов їхнього вирощування. Цілком природно, що при цьому моделі повинні відповідати цілому ряду вимог, які дозволяють включати їх в АРМ, бути "технологічними". В роботі А.М. Польового були сформульовані теоретичні основи методів оцінки агрометеорологічних умов формування продуктивності та прогнозування врожайності сільськогосподарських культур в Україні, які базуються на розвитку і застосуванні базової динамічної моделі формування врожаю сільськогосподарських культур.

Процес формування урожаю розглядається як складна сукупність цілого ряду фізіологічних процесів, інтенсивність яких визначається не тільки чинниками зовнішнього середовища та біологічними особливостями рослин, але і взаємозв'язком між самими процесами.

Основні концептуальні положення моделі А.М. Польового такі: ріст та розвиток рослин визначається генотипом і чинниками зовнішнього середовища; моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продуктів фотосинтезу з врахуванням необхідності в асимілятах для росту надземної і підземної частин рослин; моделюється радіаційний, тепловий і водний режим системи ґрунт – рослина – атмосфера; моделюється природне старіння рослин і при стресових умовах – перетік асимілятів з листя, стебел, коренів у репродуктивні органи; моделюється вплив агрометеорологічних умов за основні міжфазні періоди розвитку рослин на формування врожаю, втрати урожаю за рахунок посухи та інших несприятливих агрометеорологічних умов.

Структура моделі визначається, виходячи із закономірностей формування гідрометеорологічного режиму в системі ґрунт – рослина – атмосфера та біологічних уявлень про ріст і розвиток озимої пшениці під впливом чинників зовнішнього середовища. В основі моделі лежить система рівнянь радіаційного, теплового і водного балансів та балансу біомаси у рослинному покриві.

Основні концептуальні положення такі:

– ріст та розвиток рослин визначається генотипом і чинниками зовнішнього середовища;

– моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продуктів фотосинтезу з урахуванням необхідності в асимілятах для росту надземної і підземної частин рослин;

– моделюються радіаційний, тепловий і водний режими системи «грунт – рослина – атмосфера»;

– моделюється природне старіння рослин та при стресових умовах, перетікання асимілятів з листя, стебел, коренів у репродуктивні органи;

– моделюється вплив агрометеорологічних умов за основні міжфазні періоди рослин на формування врожаю, втрати урожаю за рахунок посухи та інших несприятливих агрометеорологічних умов.

Вважається, що рослина складається з чотирьох функціонально пов'язаних узагальнених органів: листя – l , стебла – s , коріння – r , репродуктивні органи (колосся озимої пшениці та ярого ячменю, качани у кукурудзи, боби у гороху, кошик у соняшнику, коренеплоди у цукрових буряків) – p . У колосі розглядається формування зерна – g . Загальна суха біомаса рослин M складається з суми біомаси окремих органів: m_l, m_s, m_r, m_p .

Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур складається з п'яти блоків :

1. блок вхідної агрометеорологічної інформації;
2. блок початкових даних та шкали часу;
3. блок чинників навколишнього середовища;
4. біологічний блок;
5. блок врожайності.

У свою чергу блок чинників навколишнього середовища містить три підблоки: перший – радіаційного та водно-теплого режимів посівів; другий – функцій впливу температури повітря та вологозабезпеченості посівів на фотосинтез; третій – комплекс оцінок умов формування врожайності в окремі міжфазні періоди, впливу посушливих явищ та інших несприятливих агрометеорологічних умов. Біологічний блок включає в себе чотири підблоки: перший – онтогенетичних кривих фотосинтезу та дихання; другий – фотосинтезу, дихання та приросту рослинної маси; третій – динаміки біомаси органів рослини; четвертий – площі листової поверхні.

11.4.4 Методика складання прогнозу

Загальна підготовка вхідної агрометеорологічної інформації для виконання розрахунків

Для виконання розрахунків необхідно підготувати вхідну середню по області агрометеорологічну інформацію, що поділяється на п'ять груп:

- 1) опис області;
- 2) характеристика початкового стану посівів;
- 3) середня багаторічна агрометеорологічна інформація;
- 4) поточна агрометеорологічна інформація конкретного року;
- 5) параметри моделі.

Описання області

До складу цієї групи величин, що вводяться, входить:

φ – географічна широта центра області, для якої проводиться розрахунок (градуси з десятими);

KRN – код регіону: 1 – Полісся (Волинська, Рівненська, Житомирська, Чернігівська області); 2 – Лісостеп (Львівська, Тернопільська, Хмельницька, Вінницька, Київська, Черкаська, Сумська, Полтавська, Харківська області); 3. Північний Степ (Кіровоградська, Дніпропетровська, Запорізька, Донецька, Луганська області); 4 – Південний Степ (Одеська, Миколаївська, Херсонська області, Кримська АР); 5 – Закарпаття і Прикарпаття (Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька області);

$KRNZ$ – код регіону для оцінки посухи: 1 – Полісся Закарпаття і Прикарпаття; 2 – Лісостеп; 3 – Степ (південний і північний);

W_{HB} – найменша вологомісткість, мм;

U_{min} – мінімальна середня по області врожайність культури за період з 1986 року, ц/га;

U_{max} – максимальна середня по області врожайність культури за період з 1986 року, ц/га.

Характеристика початкового стану посівів

Ця група величин, що вводяться, включає:

m^o_l , m^o_s , m^o_r – початкова маса листя, стебел, коренів на дату відновлення вегетації (сходів) одного пагона (рослини) за даними табл.11.11 ;

LL^o – початкова площа листя одного пагона (рослини) за даними табл. 11.11

G_s – кількість стебел на дату відновлення вегетації;

$W_0(0)$ – запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту на початок розрахунків (відновлення вегетації, сходи), мм.

Середня багаторічна агрометеорологічна інформація

До складу цієї групи входять середні по області дані:

– Середньобагаторічні фенологічні дані – дати настання фаз розвитку: відновлення вегетації (сходи), вихід у трубку, колосіння, цвітіння, воскова стиглість. На основі цієї інформації визначаються:

n – кількість розрахункових декад від відновлення вегетації (сходів) до воскової стиглості;

Таблиця 11.11– Початкові значення біомаси окремих органів і площі листової поверхні на дату відновлення вегетації (сходів) одного пагона

№ п/п	Культура	Початкова біомаса, г/пагін			Відносна площа листя, (м ² /пагін)×10
		m^o_1	m^o_s	m^o_r	
1.	Озима пшениця	0,010	0,0067	0,010	0,002
2.	Ярий ячмінь	0,009	0,010	0,007	0,003
3.	Горох	0,020	0,011	0,020	0,020
4.	Кукурудза	0,030	0,030	0,035	0,016
5.	Соняшник	0,025	0,170	0,025	0,050
6.	Цукровий буряк	0,030	0,030	0,030	0,011

nn – кількість днів у кожній розрахунковій декаді від відновлення вегетації (сходів) до настання воскової стиглості;

t_o – кількість днів від 1 січня (початок відліку) до дати сходів (відновлення вегетації);

$N1$ – дата відновлення вегетації (сходів)– дата місяця, коли настала фаза;

$N2$ – порядковий номер місяця, коли настала фаза відновлення вегетації (сходів): 1 – січень, 2 – лютий; 3 – березень і т.д.;

$usl1$ – умовна величина за період – одна декада до настання фази вихід в трубку, декада виходу в трубку і одна декада після настання фази вихід в трубку – дорівнює 1, а в інші декади дорівнює 0. Якщо розрахунки починаються з першої декади вегетації, то декада настання фази вихід у трубку визначається за сумою ефективних температур \inf (55);

$usl2$ – умовна величина, яка за декади періоду вихід у трубку – колосіння дорівнює 1, а в інші декади дорівнює 0. Приймається: декада відноситься до цього періоду, якщо розглянута фаза спостерігалася протягом п'яти і більше днів цієї декади. Вона визначається за сумою ефективних температур \inf (55) плюс \inf (48);

$usl3$ – умовна величина, яка за декади періоду колосіння – воскова стиглість дорівнює 1,0, а в інші декади дорівнює 0.

Примітка: одна і та сама декада може бути віднесена і як декада періоду вихід у трубку – колосіння, і як декада періоду колосіння – воскова стиглість.

usl4 – умовна величина, яка за декади періоду цвітіння – воскова стиглість дорівнює 1,0, а в інші декади дорівнює нулю.

Щодекадні за весь період вегетації культури середні багаторічні агрометеорологічні і метеорологічні дані:

W_p0 – запаси продуктивної вологи в орному (0–20 см) шарі ґрунту, мм;

W_m0 – запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту, мм;

ts – середня за декаду температура повітря, °С;

ss – середня за декаду (на один день) кількість годин сонячного саява;

os – сума опадів за декаду, мм;

pnog – норма вегетаційного поливу за декаду, мм;

dww – середній за декаду дефіцит насичення повітря, мб;

hgr – середній за декаду рівень залягання ґрунтових вод, м;

Примітка: У зв'язку з можливою зміною початку та закінчення вегетації в той чи інший бік, щодекадні середні багаторічні дані вибираються також за три декади перед декадою початку вегетації і за три декади після декади настання воскової стиглості.

Поточна агрометеорологічна інформація конкретного року

До складу цієї групи – поточна агрометеорологічна інформація конкретного року – входить поточна середня по області агрометеорологічна інформація, яка щодекадно поповнюється за вегетаційний період конкретного поточного року (року складання прогнозу врожаю).

Інформація цієї групи цілком повторює всі дані, перераховані в підрозділі "Середня багаторічна агрометеорологічна інформація".

Параметри моделі

До складу цієї групи величин, що вводяться, входять параметри моделі, числові значення яких визначені для всіх областей України.

Підготовка і введення вхідної інформації для виконання розрахунків на ПЕОМ

Для виконання розрахунків на ПЕОМ по кожній області створюються дві директорії:

1) середні багаторічні дані;

2) поточні дані – за рік складання прогнозу.

Підготовка файлу поточних агрометеорологічних даних конкретного року, що вводяться

З директорії "Середньобагаторічні дані" файл "ozimaj5. dat" копіюється в директорію "Поточні дані". Головною особливістю внесення поточних даних конкретного року є та обставина, що початок вегетації (початок росту) і тривалість вегетації (число розрахункових декад) можуть змінюватися в той чи інший бік.

При внесенні поточних даних у файл "ozimaj5. dat" можливі три ситуації:

Перша ситуація – відновлення вегетації озимої пшениці (початок розрахунку) почалося раніше – у більш ранні календарні терміни, чим коли спостерігаються середні багаторічні строки відновлення вегетації.

У цьому випадку до вже наявної середньобагаторічної кількості розрахункових декад додається та кількість календарних декад, на скільки раніше почалася вегетація.

Наприклад: середня багаторічна дата початку вегетації 7 квітня. Кількість розрахункових декад 12. У поточному році вегетація почалася 12 березня, тоді до середньобагаторічної кількості розрахункових декад – 12 додається ще дві календарні декади (друга і третя декади березня). Загальна кількість розрахункових декад у поточному році буде 14.

Таким чином вносяться додатково всі необхідні дані для розрахунків відповідно за дві декади (другу і третю декади березня), вони вносяться за середньобагаторічними даними і за поточною інформацією конкретного року і розрахунки починаються з другої декади березня.

Друга ситуація – відновлення вегетації озимої пшениці (початок росту) почалося пізніше – у більш пізні календарні декади, чим за середньобагаторічними термінами. У цьому випадку визначають на скільки календарних декад затримався початок вегетації.

Наприклад: середня багаторічна дата початку вегетації 7 квітня. Дата настання воскової стиглості 22 липня. Кількість розрахункових декад 12. У поточному році вегетація почалася 25 квітня. Таким чином вегетація почалася пізніше на дві календарні декади, з третьої декади квітня. На початку вегетації в умовах невизначеності нам не відомо, коли настане дата воскової стиглості у поточному році. Вона може затягтися, щонайменше, на ту кількість декад, на яку змінився початок вегетації. Припускаємо, що вона затягнеться на дві календарні декади (першу і другу декади серпня). Тому розрахунки починаються з третьої декади квітня і додаються дані двох календарних декад (першої і другої декад серпня). Кількість розрахункових декад залишається 12. У моделі ведеться підрахунок сум ефективних температур і коли накопичується сума ефективних температур, необхідна для настання фази воскової стиглості, розрахунки врожайності по моделі призупиняються, весь період, що залишився, і відповідно дані за цей період у розрахунках врожаю уже не будуть використовуватись. Дані цього періоду просто залишаються "зайвими".

Третя ситуація – відновлення вегетації почалося в ту ж календарну декаду, коли спостерігаються і середні багаторічні строки відновлення вегетації. У цьому випадку в міру надходження нової інформації йде заміна середніх багаторічних даних за календарні декади поточними

даними за ці ж календарні декади конкретного року. Якщо дати відновлення вегетації усередині декади сильно відрізняються, можливе доповнення даними ще однієї декади за аналогією з другою ситуацією.

Примітка: Для другої і, можливо, третьої ситуації, коли виникає необхідність у додаванні нових декад наприкінці вегетації, основним критерієм необхідного доповнення новими декадами служить наступне: поповнивши новими декадами файл "ozimaj5.dat", необхідно виконати розрахунок і порівняти суму ефективних температур, що накопичилася за вегетаційний період, із сумою $\Sigma t_5 - \text{inf}$ (6) у масиві "ozimaj5.dat". Якщо сума температур, що накопичилася за вегетаційний період, дорівнює чи перевищує задане значення Σt_5 , значить доповнення виконане правильно, якщо ні, то необхідно ще додатково ввести одну – дві декади.

Контрольні питання

- 1. Які види агрометеорологічних прогнозів вважаються фенологічними?*
- 2. Перелічіть наукові основи фенологічних прогнозів.*
- 3. Які особливості складання прогнозів фаз розвитку кукурудзи?*
- 4. Особливості прогнозів цвітіння плодових культур та винограду?*
- 5. Як розраховується імовірність припинення заморозків на дату цвітіння плодових культур?*
- 6. Назвіть основні показники поповнення запасів продуктивної вологи в холодну і теплу пору року?*
- 7. Які закономірності покладені в основу прогнозу запасів продуктивної вологи на початок весни?*
- 8. На яких закономірностях розроблені прогнози запасів продуктивної вологи під різними сільськогосподарськими культурами? Чим вони відрізняються?*
- 9. Що покладено в основу прогнозу теплозабезпеченості вегетаційного періоду?*
- 10. Які ви знаєте методи визначення дати переходу температури повітря через певні межі?*
- 11. Що є основою методу прогнозу врожаю озимої пшениці в головних районах вирощування?*
- 12. Які інерційні фактори використовуються при складанні прогнозу врожайів озимої пшениці?*
- 13. Назвіть складові моделі В.П. Дмитренка для прогнозу врожайів озимої пшениці?*
- 14. Що таке « коефіцієнти продуктивності » та за якими елементами вони розраховуються.*
- 15. Які основні концептуальні положення моделі А.М. Польового для прогнозу врожайів сільськогосподарських культур?*

12 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

12.1 Загальні положення

Сільськогосподарське виробництво в значній мірі залежить від гідрометеорологічних умов. Своєчасне та правильне використання гідрометеорологічної інформації сприяє збільшенню прибутків господарств при сприятливих умовах та зменшенню втрат – при несприятливих погодних умовах.

На разі великий економічний ефект має агрокліматичне обґрунтування розміщення сільськогосподарських культур, прогнози перезимівлі озимих культур, запасів продуктивної вологи на початок весни, прогнози врожаїв сільськогосподарських культур, прогнози появи небезпечних метеорологічних явищ і т. ін.

Як відомо, використання різної агрометеорологічної інформації в сільському господарстві відбувається на *трьох рівнях*: 1 – при виборі та обґрунтуванні проектних рішень, 2 - в процесі розробки планових рішень, 3 – під час прийняття оперативно-господарських рішень. При виборі проектних рішень обґрунтовується раціональне розміщення і спеціалізація сільського господарства, районування культур та сортів, проектування крупних гідромеліоративних систем. З цією метою використовується кліматична, гідрологічна, агро кліматична інформація що до конкретних територій.

За вибору планових рішень спеціалісти сільського господарства встановлюють контрольні цифри майбутнього врожаю, визначають потребу в добривах та ядохімікатах, обсяги зрошувальної води, складають графіки польових робіт. Для цього використовується поточна агрометеорологічна і гідрометеорологічна інформація, в тому числі і різні прогнози.

Під час прийняття оперативно-господарських рішень розроблюються дії безпосереднього управління технологічними процесами в період вегетації сільськогосподарських культур. Для цього використовується оперативна інформація про фактичний стан середовища, аналізуються очікувані умови погоди.

Оперативні підрозділи гідрометеорологічної служби України регулярно забезпечують аграрний сектор країни метеорологічною, агрометеорологічною та гідрологічною інформацією, основними видами якої є:

- 1- метеорологічні прогнози різної завчасності;
- 2- гідрологічні прогнози;
- 3 – агрометеорологічні прогнози різних видів та різної завчасності;

4 – попередження про небезпечні для сільського господарства явища теплого і холодного періодів року;

5 – інформація про поточну агрометеорологічні умови та їх вплив на перезимівлю, ріст, розвиток та формування продуктивності сільськогосподарських культур, на проведення польових робіт⁴

6 – рекомендації щодо диференційованого застосування агротехнічних заходів в залежності від наявних та очікуваних агрометеорологічних умов;

7 – режимна (агро кліматична) інформація різних видів.

При визначенні економічного ефекту від гідрометеорологічної інформації важливо використовувати єдину методику розрахунків. Тому Е.І. Монокровичем та О.П. Федсєєвим [73] були розроблені єдині рекомендації для визначення економічного ефекту використання гідрометеорологічної інформації. Вони запропонували економічний ефект (ЕЕ) розраховувати як різницю у величинах чистого прибутку, який одержало господарство в результаті здійснення виробничих заходів з врахуванням гідрометеорологічної інформації та без нього. Чистий прибуток – це різниця між прибутком за здану за закупівельними цінами продукцію та витратами на її вирощування (собівартістю).

Виявлення ЕЕ гідрометеорологічних прогнозів та іншої ГМІ виконується на фоні базісного варіанта, який визначає початковий рівень прибутку, урожайності та інших видів, що характеризують ефективність виробництва. Під базісним мають той варіант дій споживача, який був найкращим при відсутності даного виду ГМІ.

При порівнянні ефективності виробничих рішень або проектних варіантів з використанням старої та нової ГМІ варіант з використанням старої ГМІ береться як базисний.

Головним критерієм ефективності використання ГМІ є одержання додаткового чистого прибутку у господарстві. Але також допускається використання і інших критеріїв. Таким критерієм може бути *зменшення середніх втрат*. Воно розраховується шляхом визначення втрат при застосування одного і того ж виду ГМІ.

Ще одним критерієм ефективності врахування ГМІ є *мінімізація повторності великих втрат*. Цей критерій використовується у випадках, коли на відновлення товарної продукції витрачається кілька років.

Потенційний (можливий) ЕЕ ГМІ або прогнозу визначається шляхом визначення середньої величини від результатів неодноразового використання. Для визначення потенційного ЕЕ прогнозів застосовуються економіко-статистичні моделі, структура яких відображує три головні фактори, що впливають на величину ЕЕ:

1 – масштаб виробництва та його чутливість до зміни ГМІ;

2 – природні мінливість прогнозованої метеорологічної величини або фактична повторність прогнозованого явища;

3 – якість прогнозів – їх справджуваність та завчасність.

Математичні моделі поділяються на два типи: дискретні та безперервні. Дискретні (матричні) моделі використовуються для аналізу ЕЕ альтернативних прогнозів; безперервні моделі – для оцінки ефективності прогнозів, які подаються у кількісній формі.

Застосування моделей дозволяє вибрати найкращу із можливих господарських стратегій.

Фактичний ЕЕ – це результат використання окремих прогнозів, а також інформації про агрометеорологічні умови, що склалися за визначений календарний період. Ефект від окремого прогнозу може бути і позитивним і негативним. Тому сумарний фактичний ЕЕ від використання прогнозів за календарний період буде виражено різницею між сумарним виграшем від вдалих прогнозів та сумарними втратами від невдалих прогнозів.

Надійною оцінкою фактичного ЕЕ агрометеорологічних прогнозів та рекомендацій є метод польового досліду та дослідження посівів. Урожайність, втрати і т. ін., одержані на полях, де технологія вирощування коректувалась з врахуванням ГМІ, порівнюються з цими ж показниками контрольної частки поля, де застосовувалась стандартна технологія, і ЕЕ визначається з формули:

$$EE = K_y S(\Delta VЦ - З), \quad (12.1)$$

де S – площа, на який урожай підвищився, га;

ΔV – прибавка урожаю завдяки будь - якому заходу, проведеному з використанням прогнозу або рекомендаціями агрометеорологів, т/га;

$Ц$ – ціна закупівлі на продукцію, що визначається за прейскурантом, грн/т;

$З$ – витрати на проведення вказаних заходів плюс витрати на збирання додаткової продукції, грн/га.

K_y – коефіцієнт часткової участі гідрометеорологічної інформації у одержаному економічному ефекті (зазвичай $K_y = 0,2 - 0,5$ в залежності від вкладу частки інформації);

При відсутності даних польових досліджень або про враховані втрати ЕЕ від застосування ГМІ може розраховуватись *розрахунково-нормативним методом*. Нормативи являють собою середні характеристики втрат при відхиленні від фактичних термінів сівби та інших робіт від оптимальних. Вони виражені в абсолютних (т/га) або відносних (у % від максимального) показниках. Нормативи

визначаються за даними зональних інститутів землеробства, сільськогосподарських дослідних станцій, держсортодільниць.

Якщо для оцінки ЕЕ окремих видів ГМІ неможливо побудувати економіко-математичну модель, то можливе застосування не прямого методу, у тому числі і методу експертних оцінок для визначення сумарного вкладу ГМІ у сільськогосподарське виробництво. Для експертизи залучаються спеціалісти сільського господарства. Виявлення експертних оцінок виконується шляхом опитування та анкетування. Отримані дані обробляються статистичними методами. В загальному випадку сумарний ефект визначається з формули:

$$EE = \sum_{i=1}^m (EE_1 + EE_2 + \dots + EE_m) + EE_n, \quad (12.2)$$

де m – кількість тих видів ГМІ, ефект яких треба розрахувати;
 EE_1 – ефект від врахування першого виду інформації;
 EE_2 – ефект від врахування другого виду інформації;
 EE_n – постійна складова, яка відображає вклад постійних режимних матеріалів, виражена часткою вартості вирощеної продукції та оцінюється непрямыми методами.

Агрометеорологічні прогнози та рекомендації вміщують характеристику умов, що очікуються на великих площах і не враховують місцеві особливості. Тому у формулу розрахунку ЕЕ запропоновано вводити поправковий коефіцієнт ($K_{\text{випр}}$), який відображає міру справджуваності прогнозу (табл. 12.1)

Таблиця 12.1 – $K_{\text{випр}}$ для врахування впливу економічного ефекту на справджуваність агрометеорологічних прогнозів та рекомендацій

Справджуваність прогнозів, %	90	85–89	80–84	75–79	70–74	65–69	65
$K_{\text{оп}}$	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	0

З точки зору ЕЕ оцінюється гідрометеорологічна інформація (ГМІ):
 – синоптичні, гідрологічні прогнози, попередження про небезпечні явища та особливо небезпечні явища, всі види агрометеорологічних прогнозів, рекомендацій, довідок. Оцінка виконується методом польового дослідження або розрахунково-нормативним методом;

- кліматичні, гідрологічні, агрометеорологічні, агрокліматичні показники. Оцінка їх виконується шляхом розрахунку середнього щорічного ефекту при районуванні території угідь з метою оптимального розміщення сільськогосподарських культур, при довготривалому плануванні та організації сезонних робіт, розрахунках кількості техніки та ін;
- поточна ГМІ – щоденні, декадні бюлетені, декадні таблиці ТСХ - 1, маршрутні спостереження, аерокосмічні спостереження. Оцінка виконується методом експертних оцінок.

12.2 Рекомендації що до розрахунків економічного ефекту при використанні агрометеорологічних прогнозів та довідок

12.2.1 Прогноз перезимівлі озимих культур

Прогноз стану озимих зернових культур на початок відновлення вегетації дає можливість завчасно визначити площі підсіву чи пересіву, підготувати необхідну кількість кондиційного насіння та провести пересів в оптимальні строки. При розрахунках ЕЕ прогнозів перезимівлі використовується формула:

$$EE = (S - \bar{S}) \Delta Y (C - Z) K_y K_{on} , \quad (12.3)$$

де ΔY – різниця в урожаях ярої культури внаслідок різних термінів сівби, т/га;

C – ціна закупівлі однієї тони зерна ярої культури, грн;

Z – витрати на збирання однієї тони зерна (за середніми значеннями $Z = 400$ грн/т);

S – розрахована площа пересіву у поточному році.

Точність розрахунків за формулою (12.3) залежить здебільшого від правильності оцінки ΔY . Авторами методу розраховані втрати урожаю (%) основних сільськогосподарських культур при порушенні оптимальних термінів сівби та збирання (табл. 12.2) та при відхиленні термінів сівби озимих (табл. 12.3) від оптимальних..

При вирішенні питання про підсів або пересів озимих культур необхідно враховувати не тільки різницю у врожаях ярих і озимих, але і різницю в цінах закупівлі, а також витрати на пересів.

Витрати на пересів часто становлять 200 – 300 грн/га. Умови економічної доцільності пересіву записуються:

$$Y_o C_o < Y_y C_y - Z_n , \quad (12.4)$$

де індекс «о» відноситься до озимих, а індекс «я» – до ярих культур;
 $Z_{п}$ – витрати на пересів, грн/га.

Таблиця 12.2 – Втрати врожаю сільськогосподарських культур при відхиленні від оптимальних термінів сівби

Культура	Вид роботи	Дні									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Озимі зернові	Сівба	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,3
Ярі зернові	Сівба	3,2	4,0	4,6	5,2	5,8	6,2	6,8	7,2	7,8	
Зернобобові	"	3,5	5,0	6,5	7,7	8,5	10	11	12	13	14
Кукурудза	"	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6
Цукрові буряки	"	2,9	3,8	4,5	5,1	5,7	6,5	7,2	7,9	8,7	9,4
Картопля	Посадка	2,7	3,1	3,7	4,2	4,7	5,2	5,8	6,5		
Огірки	"	2,9	3,8	4,7	5,6	6,4	7,2	8,9	9,3	10	12
Капуста	"	2,5	3,5	4,5	5,5	6,4	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5
Томати	"	3,0	4,1	5,2	6,3	7,3	8,3	9,2	10	11	

Таблиця 12.3 – Втрати урожаю (%) озимої пшениці при відхиленні термінів сівби від оптимальних

Природно-господарський район	Раніше оптимального дні						Пізніше оптимального, дні					
	30	25	20	15	10	5	5	10	15	20	25	30
Білорусія	36	32	24	18	11	6	5	9	13	17	22	27
Центральний чорноземний	–	–	14	10	6	3	4	10	17	25	35	–
Лісостеп України	30	25	20	15	10	5	5	10	16	22	29	35
Степ України	35	28	20	15	10	5	4	9	15	22	29	35
Сухий степ України	16	14	11	8	5	3	8	14	20	25	30	40
Північний Кавказ	25	20	16	11	8	4	4	8	12	16	20	25

Використовуючи прогноз перезимівлі озимих, можна заздалегідь підготувати для пересіву необхідну кількість насіння вищого класу. Тоді

завдяки цьому, зменшується норма висіву і тим самим заощаджується цінне зерно. При пересіві зерном вищого класу зберігається 10 % насіння, що дає додатковий економічний ефект приблизно у 20 – 28 грн/га.

У випадках, коли площа пересіву у поточному році менша за середню багаторічну, насіння для пересіву необхідно менше. ЕЕ при цьому буде:

$$EE = (\bar{S} - S)(I_c - I_z)K_y K_{on}, \quad (12.5)$$

де N – норма висіву, кг/га;

I_c, I_z – собівартість насіння, грн/т

12.2.2 Економічна оцінка прогнозу і інформації про запаси продуктивної вологи в ґрунті

Запаси вологи в ґрунті відіграють значну роль у формуванні урожаїв сільськогосподарських культур. Від величини запасів продуктивної вологи у ґрунті залежать також норми висіву насіння, його заглиблення, засоби обробітку ґрунту, внесення доз добрив або підживлення.

При недостатньому зволоженні ґрунту восени, в період сівби озимих культур на підставі величин запасів продуктивної вологи в орному шарі ґрунту приймаються рішення про зменшення площ посівів озимих та збільшення площ під ярими культурами. ЕЕ цього рішення буде визначатись різницею в урожаєх озимих та ярих культур на тих полях, де була проведена заміна.

Величина запасів продуктивної вологи восени також враховується при плануванні снігозатримання, особливо в районах з малою кількістю опадів у холодну пору року. В районах, де восени було достатньо опадів і поля увійшли в зиму добре зволоженими, зменшується обсяг робіт по снігозатриманню. Це дає економію у 15 – 200 грн/га.

При доброму зволоженні та глибокому промочуванні ґрунту необхідно проводити азотне підживлення. Наприклад, при звичайному зволоженні в області проводиться підживлення на 300 тис.га. В роки доброго зволоження агрометеорологи рекомендували підживити 450 тис.га. Вартість добрив 50 грн/т або 15 грн/га. Витрати на внесення добрив становили 1,60 грн/га, витрати на збирання зерна – 44 грн/т. Рекомендація агрометеорологів дозволила одержати додатково 45 тис.т ячменю, а додатковий чистий прибуток становив більше 1,9 млн. грн.

12.2.3 Економічна оцінка прогнозів оптимальних термінів сівби

Для кожної природно – кліматичної зони встановлені оптимальні терміни сівби сільськогосподарських культур. Але в кожному конкретному році під впливом погодних умов терміни сівби змінюються. Організації Державного департаменту гідрометеорології щорічно складають прогнози термінів сівби різних культур з врахуванням погодних умов, що складаються у поточному році.

Оцінка ефективності прогнозів термінів сівби виконується шляхом співставлення фактичного недобору врожаю через порушення оптимальних термінів сівби з можливими (розрахованими) недоборами при відхиленні прогнозованих термінів від дійсно оптимальних. Розрахунок виконується за формулою:

$$EE = \frac{(P_{\phi} - P_n)}{100} \cdot US(C - 3) \cdot K_y, \quad (12.6)$$

де P_{ϕ} – втрати урожаю за рахунок відхилення термінів сівби у господарстві від оптимальних, %;

P_n – втрати урожаю за рахунок відхилення прогнозованих термінів сівби від дійсно оптимальних, %;

U – середній урожай у поточному році, т/га;

Для визначення P_{ϕ} необхідні дійсні оптимальні терміни сівби у поточному році та статистичні величини динаміки засіяних площ по п'ятиденках. Дійсний оптимальний термін сівби встановлюється у кожному поточному році на дослідній сільськогосподарській станції.

Величина P_n визначає справджуваність прогнозу термінів сівби.

Приклад. Розрахувати EE прогнозу термінів сівби озимих культур. Оптимальний термін сівби за даними ДС – перша п'ятиденка вересня. Фактично термін сівби тривав з четвертої п'ятиденки серпня по третю п'ятиденку вересня. Середні втрати зерна наведені у табл. 12.3.

Шляхом перемноження відсотків засіяної площі по п'ятиденках на відсотки середніх втрат зерна при відхиленні фактичних термінів від оптимальних розраховуються середні втрати зерна для області (табл. 12.4)

У відповідності з табл. 12.4

$$P_{\phi} = \frac{120 + 182 + 140 + 160 + 170}{100} = 7,62\%$$

Відхилення прогнозованих термінів сівби від дійсно оптимальних становило 5 днів у бік більш ранніх, що спричинило втрати врожаю 7 %, (табл.12.4).

Таблиця 12.4 – Посів озимих у поточному році для розрахунку Π_{ϕ}

Показник	Серпень			Вересень		
	п'ятиденка			п'ятиденка		
	4	5	6	1	2	3
Динаміка сівби, %	6	14	20	30	20	10
Середні втрати урожаю у % від максимального	20	13	7	0	8	16
Втрати урожаю у порівнянні з оптимальним терміном сівби, %	120	182	140	0	160	160

Середня врожайність озимих зернових становила у поточному році 1,5 т/га, площа засіяна озиминою була 216 тис., а ціна закупівлі тони зерна становила 130 грн. За формулою (12.6) визначається ЕЕ прогнозу термінів сівби озимих культур у цілому по області

$$EE = \frac{(7,62 - 7,0)}{100} \cdot 1,5 \cdot 216000(130 - 4) \cdot 0,5 = 126,6 \text{ тис.грн.}$$

Важливе значення мають також прогнози дат настання фаз розвитку сільськогосподарських культур, оцінка агрометеорологічних умов, що склалися у будь-який період їх розвитку, уточнення доз азотних добрив з врахуванням гідрометеорологічних прогнозів, прогнози умов збирання врожаю та прогнози величини самих врожаїв. ЕЕ цих прогнозів розраховується окремо за тими показниками, які використовуються у (12.1). Особливо цінними є прогнози врожайності сільськогосподарських культур з великою завчасністю. Для України розроблено метод оцінки ЕЕ агрометеорологічних прогнозів урожайності зернових культур І.Г. Грушкою. При наявності прогнозу урожаю розробляється оптимальна структура посівних площ за допомогою цільової функції

$$D(S) = \max \left[\sum_{i=1}^n Y_i (C_i - 3_i) \cdot S_i \right], \quad (12.7)$$

де D – чистий прибуток з усієї площі вирощування культур;

Y_i – урожай i -тої культури;

C_i, Z_i – відповідно ціна закупівлі та витрати на вирощування та збирання культур.

Величина Z_i залежить від врожайності і пов'язана з нею співвідношенням

$$Z_i = \frac{z_i^1}{Y_i}, \quad (12.8)$$

де z_i^1 – витрати на одиницю площі, які залежать від врожайності і визначаються з формули

$$Z_i = \alpha_i + \beta_i \cdot Y_i \quad (12.9)$$

Коефіцієнти α_i та β_i у рівнянні (12.9) розраховані І.Г. Грушкою (табл. 12.5).

Таблиця 12.5 – Параметри α_i та β_i рівняння (12.9)

Культура	Перший район		Другий район	
	α_i	β_i	α_i	β_i
Озима пшениця	30,0	5,19	28,8	9,0
Озиме жито	28,0	5,0	28,0	5,0
Яра пшениця	24,0	3,0	24,0	8,07
Ярий ячмінь	20,4	3,28	21,4	8,10
Овес	22,5	3,41	26,5	8,2
Кукурудза	37,9	7,1	40,1	7,5
Горох на зерно	31,0	1,32	36,0	2,22
Просо	27,0	3,62	32,5	3,33

До першого району відносяться області: Миколаївська, Одеська, Херсонська, Запорізька, Донецька. До другого – Лісостепові області України, окрім закарпатських гірських районів.

Контрольні питання

1. Розкажіть про три рівні використання гідрометеорологічної інформації.
2. Перелічіть основні задачі агрометеорологічного обслуговування.

3. Назвіть основні види та форми агрометеорологічної інформації.
4. Сформулюйте своє поняття ЕЕ агрометеорологічної інформації.
5. Як розраховується ЕЕ ефект гідрометеорологічної інформації?
6. Що є головним критерієм ЕЕ ГМІ?
7. Як визначається потенційний ЕЕ від ГМІ?
8. Поясніть поняття «розрахункови метод оцінки ЕЕ ГМІ».
9. Як розраховується ЕЕ прогнозу умов перезимівлі?
10. Як розраховується ЕЕ прогнозу запасів продуктивної вологи?
11. Як розраховується оптимальна структура посівних площ?

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Алпатъев А.М. Влагообороты в природе и их преобразования. – Л.: Гидрометеиздат. 1969. – 323 с.
2. Белобородова Г.Г. Агрометеорологические основы повышения продуктивности плодоводства. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 164 с.
3. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 288 с.
4. Грингоф И.Г., Попова В.В., Страшный В.Н. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 310 с.
5. Лекции по сельскохозяйственной метеорологии /Под ред. М.С.Кулика и В.В.Синельщикова. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 340 с.
6. Лосев А.П. Погода и урожай яблони. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 88 с.
7. Лосев А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. – СПб.: Гидрометеиздат, 1994. – 244 с.
8. Лубнин М.Г. Влияние агрометеорологических условий на работу сельскохозяйственных машин и орудий. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 117 с.
9. Моисейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 295 с.
10. Павлова М.Д. Практикум по агрометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 184 с.
11. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. Санкт - Петербург: Гидрометеиздат, 1992. – 424 с.
12. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Ситов В.М., Ярмольська О.Э. Практикум з сільськогосподарської метеорології. – Одесса: ОДЕКУ, 2002. – 400 с.
13. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агро екосистем.-Київ.: КНТ, 2007. -345 с.
13. Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Береснева И.А. Микроклиматология и ее значение. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 245с.
14. Руднев Г.В. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 277 с.
15. Синицына Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. 344 с.
16. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии /Под ред. И.Г.Грингофа. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 527 с.
17. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
18. Федосеев А.П. Агротехника и погода. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 239 с.

19. Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 144 с.
20. Чирков Ю.И. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 293 с.
21. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 318 с.
22. Шульгин А.М. Агрометеорология и климатология. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 200 с.
23. Гулинова Н.В. Методы агроклиматической обработки наблюдений. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 152 с.
24. Гуральник И.И., Дубинский Г.П. Мамиконова С.В. Метеорология. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 416 с.
25. Давитая Ф.Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. – Л.: Гидрометеоздат, 1964. – 131 с.
26. Зоидзе Е.К. Погода. Климат и эффективность труда в земледелии. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 224 с.
27. Клещенко А.Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 190 с.
28. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеоздат, 1968. – 532 с.
29. Константинов Л.К. Защита сада от резких колебаний температуры и заморозков. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. 112 с.
30. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 271 с.
31. Кулик М.С. Погода и минеральные удобрения. – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – 138 с.
32. Куперман Ф.М., Чирков Ю.И. Биологический контроль за развитием растений на метеорологических станциях. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 144 с.
33. Лосев А.П. Сборник задач и вопросов по агрометеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 144 с.
34. Мельник Ю.С. Климат и произрастание подсолнечника. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 143 с.
35. Микроклимат СССР /Под ред. И.А.Гольцберг. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – 286 с.
36. Пасечнюк Л.Е., Сенников В.А. Агроклиматическая оценка суховея и продуктивность яровой пшеницы. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 128 с.
37. Подольский А.С. Фенологический прогноз. – М.: Колос, 1974. – 287 с.

38. Поляков И.Я., Персов М.П., Смирнов В.А. Прогноз развития вредителей и болезней сельскохозяйственных культур (с практикумом). – М.: Колос, 1984. – 318 с.
39. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектоника растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 341 с.
40. Руководство по агрометеорологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. Т.1 – 309 с.; т.2. – 264 с.
41. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистемы. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 167 с.
42. Страшная А.И. Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая семян многолетних сеяных трав на европейской части СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 156 с.
43. Уланова Е.С. Методы оценки агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 53 с.
44. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 302 с.
45. Цубербиллер Е.А. Суховеи, их агрометеорологическая сущность и пути борьбы с ними. – М.: Колос, 1966. – 110 с.
46. Цупенко Н.Ф. Справочник агронома по метеорологии. – Киев: Гидрометеиздат, 1990. – 240 с.
47. Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 251 с.
48. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 247 с.
49. Шульгин А.М. Растение и солнце. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 251 с.
50. Шульгин И.А. Климат почвы и его регулирование. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 340 с.
51. Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. – Санкт-Петербург.: Гидрометеиздат. 2005. – 550 с.
52. Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология. – Москва. «Колос». 2001. – 300 с.
53. Агрометеорологічне забезпечення та обслуговування. Керівний документ. Основні положення. – Київ.: Державна гідрометеорологічна служба. 2006. – 72 с.
54. Божко Л.Ю. Агрометеорологічні розрахунки і прогнози. – Київ. КНТ. 2005. – 216 с.
55. Польовий А.М., Божко Л.Ю. Довгострокові агрометеорологічні прогнози. – Київ. КНТ, 2007. – 293 с.

56. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11, Ч.1. – М.: Росгидромет. 2000. Кн.1 -347 с., кн.2 – 283 с.
57. Руководство по определению агрогидрологических свойств почв.- 4-е изд. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2002. -202 с.
58. Методические указания .Надземные агрометеорологические маршрутные наблюдения и эпизодические обследования сельскохозяйственных угодий. – М.: Гидрометеоздат, 1994. – 91 с.
59. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии.- Санкт-Петербург.: Гидрометеоздат, 2002. – 470 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А**
Агromетeорoлoгiя 6, 10
Агromетeорoлoгiчнa
 iнфoрмaцiя 7-11
 зaбeзпeчeння 15,
 oбслyгoвyвaння 4 – 10
 oцiнкa 11 – 14, 76 – 78, 99, 160, 210
 рaйoнyвaння 7,
 cпocтepeжeння 135
 тeрмiнi 13, 14
Агromетeорoлoгiчнi
 вiмiрювaння 128 -130
 пpoгнoзи: 7
Агpoekoлoгiчнa cиcтeмa 20
Агpoклiмaтoлoгiя 6
Агpoклiмaтичнi рeсyрci 161-165
Агpoгiдрoлoгiя 6, 90
Азoт 50, 97, 98
Аcимiляти 36, 41
Атмocфepa 18, 20, 22, 26,45, 47, 48, 49, 51
- Б**
Бaлaнc вoдний 8-11
 eнepгeтичний 12-13
 рaдiацiйний 51 – 54
 тeплoвий 53 – 56
Бioлoгiчний мiнiмyм 62
Бioлoгiчнi cyми 63 – 66
Бiocфepa 44 – 50
- В**
Вeгeтaцiя 14, 88
Вeгeтaцiйний пepioд 5 – 7
Випapoвyвaння 77 – 85
Випapoвyвaнiсть 77 – 83
Вiтep 108-111
Вoлoгa
 гpyнтoвa 18, 20
 132, 139, 164
 вiднocнa 7, 8, 74, 76
Вoлoгoмiсткiсть:
- Г**
Гiдрoтepмiчний кoeфiцiєнт 180
Гpaд 106
Гaзooбмiн 31
Гpyнт 41
- Д**
Дeфiцит
 вoлoги в гpyнтi 191
 нacичeння вoдянoї пapи 98
Дoщoмiр пoльoвий 136
Дixaння 32
- З**
Зaмopoзки 116
Зacyxи 100
Зимocтiйкiсть 172
Зaпacи вoлoги 129
Зливи 107
- Ж**
Життeвий цикл 105
- І**
Інфoрмaцiя
 гiдрoмeтeорoлoгiчнa 3
 aгpoмeтeорoлoгiчнa 8
Інepцiйнi фaктopи 141
- К**
Клiмaт 128
Кoeфiцiєнт
 мopoзoнeбeзпeчнocтi 175
Кiркa 58
Кpитичнa тeмпepaтyрa 174
- Л**
Лiмiтyючi фaктopи 74
Листя 183

- найменша 6,
капілярна 139, 13
Вологообмін 31,
Вологозабезпеченість 77 – 95, 192 -195
- М
Масообмін 26
Морозостійкість рослин 174
- О
Обстеження
агрогідрологічні 6
агрометеорологічні 78
Опади 84
- Р
Ресурси агрокліматичні 161
Радіація
сонячна 26
пряма 53
розсіяна 53
фотосинтетично
активна 53
Радіаційний баланс 21,
Ростові процеси 34
- Т
Температура 48
критична 75
температурні межі 50
Темпи розвтку 12
Наростання тепла 19
Температура повітря 5
грунту 60
Тепловий баланс 55
- Н
Нестача насичення 77
Недостатнє зволоження 18
Норма 84
- П
Перезимівля 172
Полягання 105
Продуктивний процес 41
Прогноз
синоптичний 15
агрометеорологічний 3
динаміко-
статистичний 37
Продуктивна
волога 4
стебло 86
процес 38
Приріст біомаси 92
- С
Сільськогосподарське
виробництво 4
культури 4
метеорологія 210
Структура урожаю 153
Сума температур:
- У
Урожайність 200
- Ф
Фази розвитку 135
Фітомаса 39
Фотоелемент 29, 30, 32
Фотосинтез 32
- Е
Економічна ефективність 211
Ерозія ґрунтів 109
- Ефективне випромінювання 51

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

1. Ломоносов М.В. 11
2. Болотов А.Т. 11
3. Комов І.М. 11
4. Воєйков О.І 11
5. Броунов П.І 11
6. Колосков П.І. 12
7. Селянінов Г.Т. 12
8. Шульгін А.І. 12
- 9 Уланова Є.С. 12, 205
10. Мойсейчик В.О. 12
11. Кулик М.С. 12
- 12.Веріго С.О. 12
- 13.Разумова Л.О. 12
- 14.Гольцберг І.А. 12
- 15 Давітая Ф.Ф. 12
- 16.Алпат'єв А.М. 12
17. Шашко Д.І. 12
18. Бабушкін Л.М. 12
- 19.Белобородова Г.Г. 12
20. Грингоф І.Г. 12
21. В.В.Синельщиков 12
22. Клещенко О.Д. 12
23. Вольвач В.В. 12
24. Сиротенко О.Д.
25. Пасечнюк О.Д. 12
26. Польовий А.М. 13, 42, 210
27. Грушка І.Г. 13
28. Гойса І.В. 13
29. Дмитренко В.П. 13, 202
30. Саакс Ю. 30
31. Сабінін Д.А. 30
- 32 Шмальгаузен І.І. 37
33. Блекман В.Х. 37
34. Вінцкевич Г.З. 38
35. Іванов Л.О. 42
36. Ю.К. Росс 44
37. Є.П. Галямін 44
38. Гуляєв Б.І. 57
39. Тоомінг Х.Г. 57
- 40 Єфимова Н.О. 57
41. Ничипорович О.О. 42
42. Степанов В.Б. 12
43. Будико М.І. 82
44. Костянтинов О.Р. 82
45. Процеров О.В. 99
46. Цубербілер Є.О. 101
47. Пасечнюк Л.Є. 102
48. Заславський М.М. 112
49. Сініцина Н.І. 121
50. Міщенко З.А. 162
51. Чирков Ю.І. 162
52. Руденко О.І. 162
53. Бова Н.В. 170
54. Мельник Ю.С. 170
55. Кельчевська Л.С. 170
56. Лебедев А.М. 171
57. Ріхтер Г.Д. 174
58. Лічикакі В.М. 174
59. Лисенко Т.Д. 177
60. Монокрович Є.І. 212
62. Федосєєв О.О. 212.

З М І С Т

	Стор.
Передмова.....	3
1 Агрометеорологічні терміни та їх визначення.....	16
1.1 Зміст агрометеорологічного забезпечення.....	18
1.2 Основні завдання та призначення агрометеорологічного забезпечення.....	20
2 Теоретичні основи агрометеорології.....	22
2.1 Поняття про агроекологічну систему та систему ґрунт-рослина-атмосфера.....	22
2.2 Радіаційний і тепловий режим рослинного покриву.....	24
2.3 Енерго-і масообмін між рослинним покривом і атмосферою.....	28
2.4 Енерго-і масообмін між фотоелементом (листочком) і повітрям.....	33
2.5 Фотосинтез, дихання і газообмін CO ₂ листка.....	35
2.6 Формалізація ростових процесів рослин.....	37
2.7 Агрометеорологічні умови та фотосинтетична продуктивність посівів.....	40
2.8 Розподіл асимілятів та рівняння росту рослин.....	44
3 Земна атмосфера як середовище сільськогосподарського виробництва.....	48
3.1 Склад атмосфери і ґрунтового повітря.....	48
3.2 Будова атмосфери.....	49
3.3 Значення основних газів повітря для біосфери.....	52
3.4 Методи дослідження атмосфери.....	53
4 Значення агрометеорологічних факторів в житті рослин та сільськогосподарському виробництві.....	54
4.1 Промениста енергія.....	54
4.2 Температура повітря і ґрунту.....	61
4.2.1 Вплив температури повітря на ріст, розвиток і формування врожаїв сільськогосподарських культур.....	64
4.3 Температура ґрунту.....	69
4.3.1 Значення температури ґрунту для рослин.....	73
4.3.2 Тепловий баланс земної поверхні.....	74
4.3.3 Заходи впливу на температуру ґрунту.....	74
5 Вологість повітря та її значення для сільськогосподарських культур.....	76
5.1 Вологість повітря.....	76
5.2 Вплив вологості повітря на сільськогосподарське виробництво.....	78
6 Випаровування та випаровуваність.....	80
6.1 Випарування з поверхні води, ґрунту, рослин.....	80

6.2	Конденсація водяної пари. Опали.....	85
6.2.1	Конденсація водяної пари.....	85
6.2.2	Види і типи опадів.....	87
6.2.3	Значення опадів для сільського господарства.....	88
6.2.4	Сніговий покрив.....	89
7	Ґрунтова волога.....	92
7.1	Основні властивості ґрунтової вологи.....	92
7.2	Агрогідрологічні властивості ґрунтів	93
7.3	Продуктивна волога.....	95
7.4	Визначення запасів продуктивної вологи.....	96
8	Несприятливі для сільського господарства метеорологічні явища.....	100
8.1	Засухи і суховії	100
8.1.1	Агрометеорологічні показники посух і суховіїв ..	101
8.2	Сильні зливи і град.....	107
8.3	Ерозія ґрунтів.....	112
8.4	Заморозки	120
9	Агрометеорологічні вимірювання.....	132
9.1	Спостереження за температурою орного шару.....	133
9.2	Спостереження за опадами.....	134
9.3	Візуальні спостереження за вологістю верхніх шарів ґрунту.....	136
9.4	Паралельні спостереження за температурою, глибиною промерзання та відтавання ґрунту і висотою снігового покриву.....	137
9.5	Агрометеорологічні спостереження за фазами розвитку рослин.....	140
9.5.1	Склад, строки та правила спостережень.....	141
9.5.2	Фази розвитку зернових культур (жито, пшениця, ячмінь, овес, рис, просо, сорго) та їх ознаки.....	144
9.5.3	Фази розвитку кукурудзи та їх ознаки.....	144
9.5.4	Фази розвитку зерно-бобових (гороху, бобів, люпину, сої та ін.).....	146
9.5.5	Фази розвитку гречки.....	146
9.5.6	Фази розвитку соняшнику.....	147
9.5.7	Фази розвитку картоплі.....	147
9.5.8	Фази розвитку коренеплодів та їх ознаки.....	148
9.5.9	Фази розвитку плодкових культур та їх ознаки.....	149
9.6	Спостереження за станом сільськогосподарських культур.....	152
9.6.1	Визначення густоти посівів сільськогосподарських культур.....	152
9.6.2	Визначення висоти рослин.....	156

	9.6.3	Визначення маси картоплиння та бульб картоплі.....	158
	9.6.4	Визначення приросту рослинної маси природних кормових угідь, багаторічних та однорічних сіяних трав та травосумішей.....	158
	9.6.5	Визначення маси кореня цукрового буряку.....	160
	9.7.	Спостереження за формуванням елементів продуктивності.....	161
	9.7.1	Зернові колосові культури.....	161
	9.7.2	Спостереження за елементами продуктивності гречки.....	161
	9.7.3	Спостереження за елементами продуктивності кукурудзи в період листоутворення та формування зерна.....	162
	9.8	Визначення структури урожаю зернових культур.....	163
	9.8.1	Визначення структури урожаю кукурудзи.....	164
	9.9	Спостереження за пошкодженням посівів несприятливими метеорологічними факторами.....	165
	9.10	Визначення міри розповсюдження бурянів.....	167
	9.11	Спостереження за пошкодженням посівів хворобами та шкідниками.....	167
	9.12	Спостереження за поляганням посівів.....	168
10		Сільськогосподарська оцінка клімату.....	170
	10.1	Поняття про клімат і кліматоутворюючі фактори.....	170
	10.2	Методика сільськогосподарської оцінки клімату.....	171
	10.3	Оцінка термічних ресурсів вегетативного періоду.....	173
	10.4	Оцінка світлових ресурсів	174
	10.5	Оцінка умов зволоження вегетаційного періоду.....	177
	10.6	Оцінка умов перезимівлі сільськогосподарських культур.....	181
11		Агрометеорологічні прогнози.....	185
	11.1	Фенологічні прогнози.....	186
	11.1.1	Прогнози фаз розвитку ярої пшениці, ячменю, вівса	189
	11.2	Методи прогнозів запасів продуктивної вологи.....	191
	11.2.1	Прогноз запасів продуктивної вологи на початок весни за методом Л.О. Разумової.....	192
	11.2.2	Прогноз запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами.....	195
	11.2.3	Прогнози вологозабезпеченості посівів сільськогосподарських культур	202
	11.3.	Метод прогнозу забезпеченості теплом вегетаційного періоду.....	208
	11.4	Прогнози врожаїв сільськогосподарських культур.....	213
	11.4.1	Метод прогнозу врожаїв озимої пшениці для	

	території України.....	214
	11.4.2 Метод прогнозу врожаїв озимої пшениці у головних районах вирощування.....	217
	11.4.3 Метод прогнозу врожаїв сільськогосподарських культур за допомогою динаміко-статистичної моделі.....	222
	11.4.4 Методика складання прогнозу.....	224
12	Оцінка економічної ефективності від використання гідрометеорологічної інформації у сільськогосподарському виробництві.....	230
	12.1 Загальні положення	230
	12.2 Рекомендації щодо розрахунків економічного ефекту при використанні агрометеорологічних прогнозів та довідок.....	234
	12.2.1 Прогноз перезимівлі озимих культур.....	234
	12.2.2 Економічна оцінка прогнозу і інформації про запаси продуктивної вологи в ґрунті.....	236
	12.2.3.Економічна оцінка прогнозів оптимальних термінів сівби.....	237
	Бібліографія.....	241
	Предметний покажчик.....	245
	Іменний покажчик.....	247

Навчальне видання

**Польовий Анатолій Миколайович
Божко Людмила Юхимівна
Вольвач Оксана Василівна**

«ОСНОВИ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЇ»

Підручник

Підписано до друку 9.07.12 р. Формат 60x84/16
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 14,88
Наклад 100 прим. Замовлення 742
Видавництво та друкарня "ТЕС"
(Свідоцтво ДК № 771) Одеса, Канатна 81/2
Тел.:(0482)42-90-98, (0482)42-89-72

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська 15