

ПОЛЬОВИЙ А.М., БОЖКО Л.Ю., ЖИГАЙЛО О.Л.

# ОСНОВИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МЕТЕОРОЛОГІЇ

Навчальний посібник



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеський державний екологічний університет

А.М. ПОЛЬОВИЙ, Л.Ю. БОЖКО, О.Л. ЖИГАЙЛО

# ОСНОВИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МЕТЕОРОЛОГІЇ

Навчальний посібник



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2020



УДК 63:551.5

П 49

**Рецензенти:**

Адаменко Т.І., кандидат геогр. наук, начальник відділу агрометеорологічних прогнозів ГМЦ України, м. Київ.

Лобода Н.С., д. геогр. н., професор, завідувач кафедри гідроекології і водних досліджень Одеського державного екологічного університету, м. Одеса

*Затверджено Вченою радою  
Одеського державного екологічного університету  
Міністерства освіти і науки України як навчальний посібник  
для здобувачів вищої освіти за спеціальностями  
«Екологія» і «Науки про Землю»  
(протокол № 6 від 07 липня 2019 р.)*

**Польовий А.М., Божко Л.Ю., Жигайло О.Л.**

П 49 Основи сільськогосподарської метеорології : навчальний посібник /

А.М. Польовий, Л.Ю. Божко, О.Л. Жигайло. – Одеса: Видавничий дім

«Гельветика», 2020. – 347с.

ISBN 978-966-992-194-9

У навчальному посібнику подаються доповнені і розширені основні розділи сільськогосподарської метеорології. Розглянуто умови формування гідрометеорологічного режиму в агроєкосистемі. Особлива увага приділена розгляду умов формування продуктивності рослин під впливом екстремальних умов та антропогенних факторів.

Навчальний посібник призначений для студентів і магістрів ВНЗ за спеціальностями «Екологія» і «Науки про Землю», спеціалістів агрометеорологів та агроєкологів, студентів ВНЗ сільськогосподарського напрямку навчання.

The tutorial presents the supplemented and expanded main sections of agricultural meteorology. The conditions of formation of a hydrometeorological regime in the agroecosystem are considered. Particular attention is paid to consideration of the conditions of formation of plant productivity under the influence of extreme conditions and anthropogenic factors.

The manual is intended for students and masters of higher education in the specialty "Ecology" and "Earth Science", specialists in agro-meteorologists and agro-ecologists, students of universities in the agricultural field of study.

ISBN 978-966-992-194-9

© Польовий А.М., Божко Л.Ю., Жигайло О.Л. 2020  
© Одеський державний екологічний університет, 2020

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
І. ПОНЯТТЯ ПРО ЕКОСИСТЕМИ ТА АГРОЕКОСИСТЕМИ.....	12
1.1 Поняття про загальну структуру екосистем.....	12
1.1 Принципи організації та рівні агроекосистем.....	16
2. РОЛЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИН .....	22
2.1 Уявлення про фактори врожаю.....	22
2.2 Екологічні чинники агроекосистем.....	25
2.2.1 Світло.....	25
2.2.2 Тепло.....	40
2.2.3 Волога.....	61
2.2.4 Ґрунти і мінеральне живлення.....	73
2.2.5 Родючість ґрунтів.....	89
2.2.6 Повітря.....	91
2.2.7 Кліматична складова урожаю .....	93
3. АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА НАЙВАЖЛИВІШІ ПРОЦЕСИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИН.....	95
3.1 Загальна характеристика онтогенезу вищих рослин.....	95
3.2 Етапи органогенезу в онтогенезі вищих рослин.....	97
3.3 Найважливіші екологічні закони.....	101
3.4 Агрометеорологічні умови існування рослин.....	105
3.4.1 Біологічні властивості рослин .....	105
3.4.2 Фенологічні фази розвитку .....	109
3.4.3 Взаємодія факторів середовища. Лімітуючі фактори.....	112
4. ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.....	121
4.1 Загальна характеристика продукційного процесу.....	121
4.2 Ефективність використання сонячної радіації фітоценозами... ..	128
4.3 Потенційний і дійсно можливий урожай посівів.....	135
5. НЕБЕЗПЕЧНІ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ ЯВИЩА ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.....	139
5.1 Види і типи небезпечних явищ.....	139
5.2 . Небезпечні гідрометеорологічні явища та їх критерії.....	141
5.2.1 Вітер і екстремальні явища пов'язані з ним.....	144

5.2.2 Сильний дощ і град.....	150
5.2.3 Полягання посівів.....	155
5.2.4 Посушливі явища .....	162
5.2.5 Посушливі умови і урожай.....	174
5.2.6 Заморозки.....	182
5.2.7 Неприятливі умови зимового періоду.....	198
5.2.7 Шкідники і хвороби.....	228
5.3 Ерозія ґрунтів.....	245
5.3.1 Вітрова ерозія.....	245
5.3.2 Водна ерозія.....	257
5.4 Забруднення ґрунтів .....	285
5.4.1 Забруднення ґрунтів мінеральними добривами.....	285
5.4.2 Забруднення ґрунтів важкими металами .....	305
5.4.3 Забруднення ґрунтів радіонуклідами .....	316
5.5 Економічні наслідки небезпечних явищ для виробництва сільськогосподарської продукції.....	332
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>339</b>
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....</b>	<b>345</b>

## ПЕРЕДМОВА

Сільське господарство України – це «цех» під відкритим небом. Обсяг сільськогосподарського виробництва, кількість та якість врожаїв залежать від родючості ґрунтів, кількості сонячного світла, тепла і 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 і розвитку тваринництва.

Сільське господарство як галузь матеріального виробництва являє 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.);
- невизначеністю 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 продовольством всіх потреб людини. *Критичною межею* продовольчої безпеки країни вважається п'ятидесятивідсоткова частка 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.

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, боротися 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 [1].*

*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 й поняттями, методами і 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 і 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 і 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».

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 й 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 і небезпечними для сільського господарства гідрометеорологічними явищами.

8. Вивчення та прогнозування попиту на агрометеорологічну інформацію в умовах переходу до ринкової економіки, популяризація агрометеорологічних знань [1].

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.

Перші наукові уявлення про роль клімату і погоди в сільському господарстві відносяться до XVIII і XIX ст., коли почали проводитись 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.

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

У 1885 р. О.І. Воєйков організував перші в Росії 12 агрометеорологічних станцій і розробив програму 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.

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.

За рубежом 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. І. 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 збору й аналізу всіх матеріалів мережі спостережень.

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

В 1932 р. у Ленінграді на базі створеного П.І. Броуновим відділу був організований Агрогідрометеорологічний інститут (АГМІ) і трохи пізніше Інститут посухи у Саратові. У цих інститутах 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. 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 опубліковано 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».

В Україні у довоєнний період М. І. Розовим вивчалися залежності урожаю сільськогосподарських культур від елементів погоди. Були розпочаті розробки методики прогнозу урожаю на основі дослідження динаміки температури повітря й опадів. В. А. Равич проводив розробку критеріїв посушливості. О. В. Федоров вивчав вплив сонячної радіації на розвиток рослин. Особливе місце займали дослідження впливу несприятливих умов зимового періоду на перезимівлю озимих. У 1932 році М.С. Кулик та Н.М. Нізеньков організували спостереження за мінімальною температурою ґрунту на глибині вузла куціння зернових за допомогою мінімального термометра.

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.

З початком Великої Вітчизняної війни агрометеорологічна тематика була передана із системи Гідрометслужби СРСР у систему Наркомзему СРСР. У 1948 р. вона знову була повернута в систему Гідрометеослужби СРСР. У 1948 р. в Одеському гідрометеорологічному інституті було створено агрометеорологічне відділення, перетворене згодом в агрометеорологічний факультет.

В 60-і роки ХХ століття 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. Алпатьев, С.А. Веріго, Л.О. Разумова, О.Р. Константинов, А.М. Шульгін, С.І. Харченко та ін.). В

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

Створення в 1953 році відділу агрометеорології в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті стимулювало розвиток агрометеорологічних досліджень в Україні.

В Українському науково-дослідному інституті проводилось узагальнення і систематизація матеріалів вивчення агрогідрологічних властивостей ґрунту (Н.Г. Іовенко, А.І. Салєпова, А.М. Кекух, В.М. Лічікакі, А.С. Трегубова, Н.П. Паламарчук та ін.), розглядались характеристики вологозабезпеченості озимої пшениці (А.М. Кекух, Н.І. Михайлова) і були побудовані карти розподілу волого запасів (С.А. Сапожникова, А.М. Кекух, Н.Г. Йовенко, І.Е. Бучинський).

С.А. Сапожникова визначила 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 встановлені залежності і запропонований метод розрахунку тривалості міжфазних періодів озимої пшениці, кукурудзи і гречки.

Також досліджувався зв'язок урожаю з гідрометеофакторами. Подальшим дослідженням зв'язку врожаю з гідрометеорологічними факторами стала розробка базової моделі урожайності сільськогосподарських культур (В.П. Дмитренко) та розробки методик прогнозу урожайності озимої пшениці, ярого ячменю, 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).

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).

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

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.

Сучасні агрометеорологічні дослідження в Україні все більше спираються на новітні технічні засоби, нові прилади з використанням камер штучного клімату, авіації, супутникової інформації, парку ПЕОМ.

Розвиваються роботи, спрямовані на створення системи агрометеорологічного моніторингу посівів сільськогосподарських культур в Україні із застосуванням аерокосмічних методів (В.С. Антоненко, О.А. Кривобок). Розвинуті питання теорії створення та функціонування системи агрометеорологічного моніторингу посівів (В.С. Антоненко).

Значний внесок в розвиток агрометеорологічних досліджень в Україні зробили М.І. Кульбіда, М.Ф. Цупенко, Т.І. Адаменко, М.П. Кривенченко, А.І.Прокопенко.

Наукові дослідження в області агрометеорології інтенсивно проводились на кафедрі агрометеорології Одеського гідрометеорологічного інституту. Ці дослідження продовжуються на кафедрі агрометеорології та агроєкології 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.М. Свидерська, О.А. Барсукова, Т.К. Костюкевич, Н.В. Данілова, В.В. Колосовська).

Гідрометеорологічна служба України представляє нашу країну у Всесвітній метеорологічній організації (ВМО), що входить до складу Організації Об'єднаних Націй (ООН). Провідні агрометеорологи беруть активну участь у діяльності Комісії із сільськогосподарської метеорології (КСГМ) ВМО.

Спираючись на науково обґрунтовані методи агрометеорологічних оцінок, прогнозів і рекомендацій, Український гідрометеорологічний центр, Обласні Центри з гідрометеорології забезпечують інформацією всі сільськогосподарські галузі Агропромислового комплексу [1].

Автори висловлюють свою глибоку подяку доценту кафедри агрометеорології Барсуковій О.А. за допомогу при підготовці рукопису та О.Д. Соколенко за редагування рукопису.

# 1. ПОНЯТТЯ ПРО ЕКОСИСТЕМИ ТА АГРОЕКОСИСТЕМИ

## 1.1 Поняття про загальну структуру екосистеми

Нерівномірний розподіл континентів, океанів, континентальних і морських водоймищ, гірських масивів, різних ґрунтово – кліматичних зон та високогірних поясів, які утворились в процесі еволюції Землі, є особливістю біосфери.

Екологічна система являє собою складний об'єкт, який складається з великої кількості організмів, має здатність до нагромадження і багаторазового використання енергії і речовини, з великою кількістю механізмів, які підтримують цілісність його структури в умовах навколишнього середовища ( рис. 1.1).

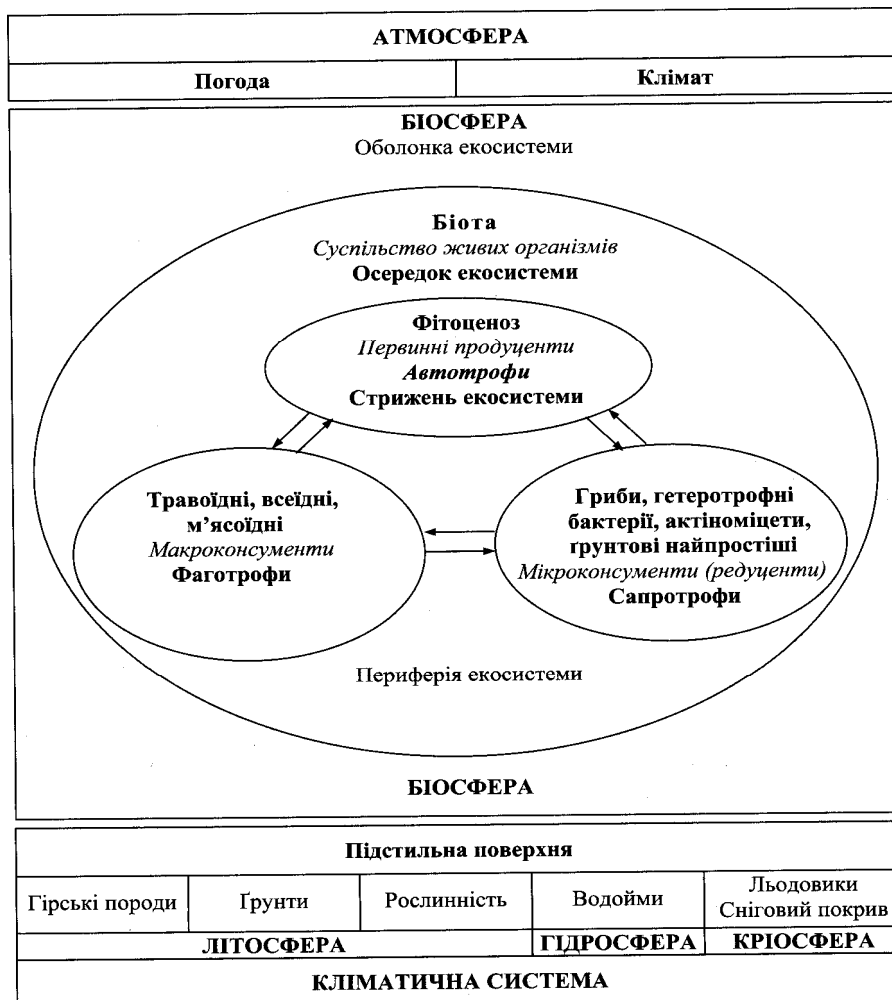


Рис. 1.1 – Принципова різнокласифікаційна (біотична, трофічна, функціональна) схема структури екосистеми



В сучасній екології склалась певна класифікація поняття середовища: **природне середовище** – це сукупність неорганічних (абіотичних) і органічних (біотичних) факторів по відношенню до рослин, тварин і інших організмів без залежності від спілкування з людством.

**Навколишнє середовище** – це речовина, енергія і простір, які оточують організми і впливають на них як позитивно, так і негативно[73]. **Антропогенне середовище** – це природне середовище, яке тою чи іншою мірою було змінене людством.

Виокремлюють також поняття *середовище існування і умови існування*. *Середовище існування* – це частка природного середовища, яка оточує живі організми та з якою вони взаємодіють.

*Зовнішнє середовище* – це сукупність сил і явищ природи, її речовина, її простір, будь - яка діяльність людини, яка знаходиться зовні об'єкта, без контакту з природою.

*Природне середовище* – це сукупність сил і явищ природи, її речовина, її простір, будь – яка діяльність людини, яка контактує з нею.

*Середовище мешкання* – включає в себе сукупність абіотичних і біотичних факторів окремого організму або біоценозу в цілому, які впливають на його ріст та розвиток. В живій природі існує чотири типи середовищ мешкання: 1- водне, 2 – наземне, 3 – ґрунтове, 4 – тіло іншого організму.

*Умови існування* – це сукупність елементів середовища, з якими організми середовища знаходяться в поєднанні і без яких вони не можуть існувати. Ці два поняття вміщують в собі також поняття « *екологічний фактор*», будь – який мінливий елемент навколишнього середовища, який спричиняє у живих організмів зворотні еколого – фізіологічні пристосованості, які потім спадкоємно закріплюються в процесі еволюції.

Екологічні фактори числені і вони розрізняються за середовищем виникнення ( повітряні, водні, ґрунтові і ін.), за мірою впливу (лімітуючі, летальні, екстремальні та ін.), за часом дії ( еволюційні, сезонні та ін.) і за характером дії ( геофізичні, географічні, біогенні й ін.).

Загальні властивості навколишнього середовища за ознаками підстильної поверхні, метеорологічних умов і кліматичних ресурсів формують ієрархію екосистем ( рис. 1.2).

В сільському господарстві завше виділяють три групи факторів: абіотичні, біотичні і антропогенні.

**Абіотичні фактори** – це елементи неорганічної природи, які впливають на живі організми. До них відносяться рівень сонячної радіації, світловий і тепловий режими, газовий склад, атмосферний тиск, рух повітряних потоків, особливості рельєфу місцевості, волога ( різні її форми).

**Біотичні фактори** – це сукупний вплив на живі організми життєдіяльності інших організмів. Вплив може бути прямий та побічний.

До прямих форм впливу відноситься широко розповсюджене в природі використання одних організмів іншими. До побічних форм впливу відноситься зміна умов існування для інших організмів (наприклад дія бур'янів на культурні рослини).



Рис. 1.2 – Структурна схема суміщення біологічної та екологічної ієрархії екосистем

**Антропогенні фактори** відображають вплив господарської діяльності людства на навколишнє середовище (наприклад, заміна лісу ріллею, зрошення, осушування та ін.).

Існує і інший підхід до класифікації екологічних факторів, основою якого є їх природа. Екологічні фактори поділяють на три категорії: погодно – кліматичні, едафічні (вплив на рослину через ґрунт) та біотичні (вплив на рослину інших організмів).

Екологічна система - це цілісна природна одиниця, яка утворилась в результаті взаємодії компонентів групи істот і неорганічного середовища їх проживання. Екологічну систему зазвичай визначають як сукупність живих істот і умов середовища:

Екосистема = Біотип + Біоценоз.

Життя на планеті - це велетенський всеосяжний біологічний комплекс, який називається *біосферою*. Розрізняють три основні частини біосфери – *літосферу, гідросферу і тропосферу*. Основу біосфери становлять трофічні зв'язки. Між трьома основними частинами існують добре відрегульовані зв'язки рослинних і тваринних організмів. Розрізняють такі екологічні групи рослинних і тваринних організмів, які забезпечують безперервний зв'язок між різними формами життя на Землі: *продуценти* – створювачі органічної речовини, *консументи*- споживачі продукції продуцентів, *редуценти* – дрібні організми (гриби, бактерії)

Ці екологічні групи відрізняються будовою і типом живлення (табл.1.1).

Таблиця 1.1 – Основні складові живої природи (за І.П. Бабаєвою та Г.М. Зеновою) [2]

Екологічні групи		Продуценти	Редуценти	Консументи
Тип живлення		Автотрофний	Гетеротрофний	
		Фотосинтез	Абсорбція	Перетравлення
Тип будови	Еукаріоти тканинні	Рослини <i>Plantae</i>		Тварини <i>Animalia</i>
		Водорості		Найпростіші
	Еукаріоти одноклітинні і багатоклітинні		Мусота Гриби	
	Прокаріоти переважно одноклітинні	Фотобактерії Скотобактерії, Архабактерії Прокаріоти		

За даними [3] екосистема може розглядатись як біоцентричне поняття. Стрижнем системи є фітоценоз, осередком – біота відповідного угіддя, а середовище охоплює підстильну поверхню й атмосферу із властивими біотичними, абіотичними характеристиками, факторами і умовами.

Система складається з мікроконсументів (редуцентів) і макроконсументів або фаготопів. Сукупність осередку екосистеми утворює біоту завдяки енергомасообміну і масообміну прямого та зворотного характеру.

Осередок кожної екосистеми за властивостями біологічних систем вміщує ознаки цілісності, здатності до адаптації, розвитку, само відтворення, еволюції.

## 1.2 Принципи організації та рівні агроекосистем

В процесі еволюції вказані екологічні групи змінюються. Проте найбільшою мірою рослинний і тваринний світ змінюється під впливом діяльності людини, тобто під впливом **антропогенного фактора**.

Під впливом спрямованої антропогенної дії природні екосистеми руйнуються і на їхньому місці утворюються штучні *агроекологічні* системи. **Агроекологічною** системою називається спеціальний вид 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 агроекологічна система характеризується нестійкістю, але значно вищою продуктивністю. Характерною особливістю агроекосистеми є те, що вона – продукт трансформування природних систем.

В агроекологічних системах саморегуляція зруйнована, розірвана більшість зворотних зв'язків і зруйнований природний обмін енергією і речовиною на різних трофічних рівнях. В агроекологічній системі фітоценоз не може самовідновлюватись, для цього необхідна антропогенна діяльність. Період існування агроекосистем різний. Так, посіви зернових культур існують не більше одного року, посіви багаторічних трав – 3 – 4 роки, насадження плодкових культур – від 6 – 7 років (персик) до 20 – 30 років ( яблуни, груші). Своєрідною формою агро екосистеми вважаються парникові та оранжерейні насадження.

Структура будь – якої агроекосистеми складається із біотичних сполук *агрофітоценозів*, які характеризуються обмеженою кількістю видів рослин і абіотичних компонентів, що становлять середовище існування рослин і тварин. Основу агрофітоценозу становлять культурні рослини, тобто *едифікатори*, про домінуючу роль яких дбає людина (рис. 1.3)

Штучно створені агроекосистеми відрізняються від природних рядом особливостей : різко зниженим різноманіттям організмів, залежністю від турботи людини, отриманням додаткової енергії від людини, вилученням вирощеного врожаю, потребою належного догляду. Агроекосистеми характеризуються обов'язковим домінуванням вирощуваних культурних рослин.

Стрижнем агроекосистеми є агрофітоценоз окремого угіддя за сукупністю рослин будь-якої культури.

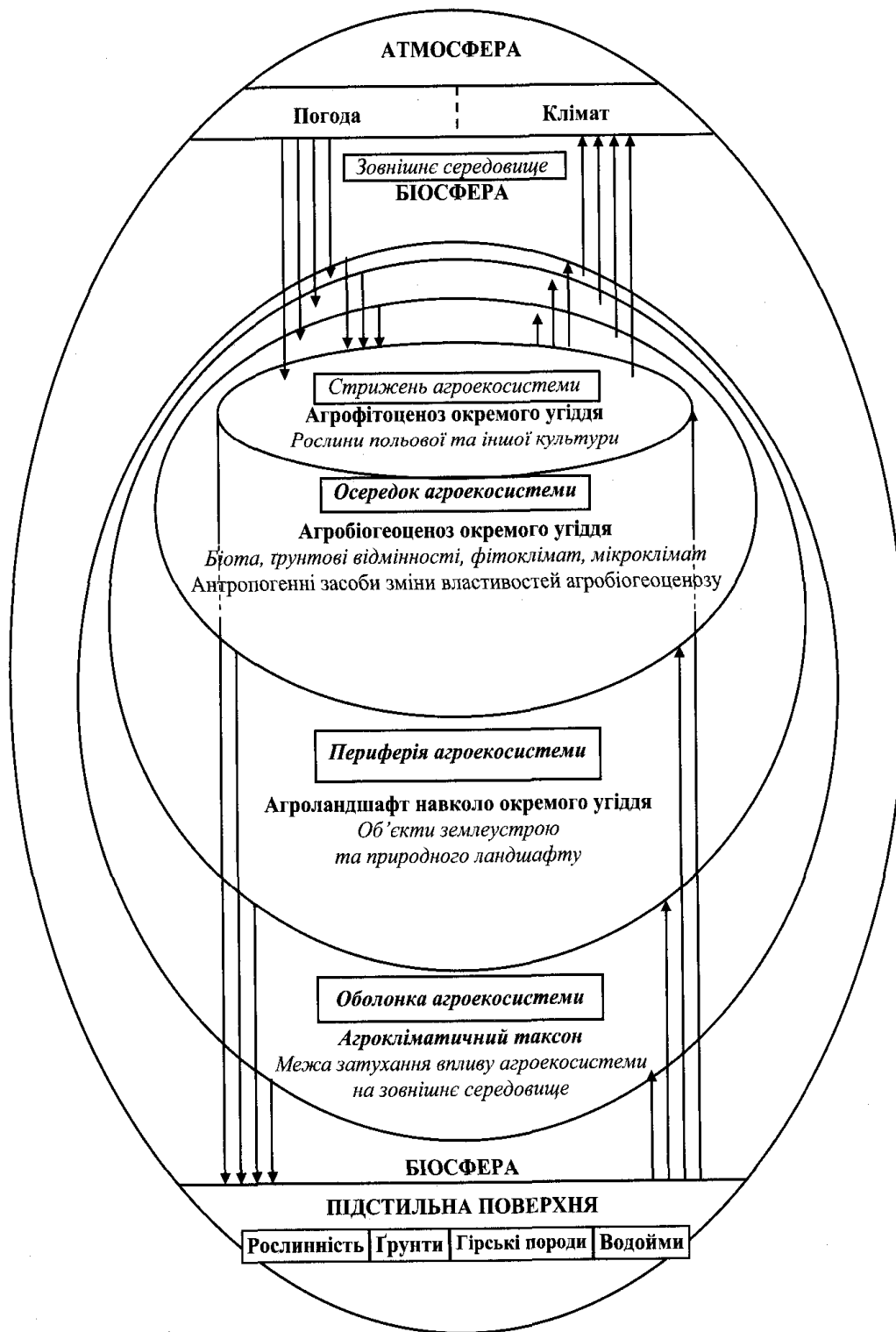


Рис 1.3. – Загальна структурна схема агроєкосистеми

Агроєкосистема має принципові відмінності від будь-яких інших екосистем. Вона вміщує окрім структурних одиниць екосистеми ще й виробничі компоненти (системи землеробства, системи овочівництва, системи плодівництва, системи тваринництва і т.ін.



Під *типом агроєкосистеми* розуміють сукупність окремих агроєкосистем, однорідних за компонентним складом середовища та їх динамікою. Найвищою ієрархічною одиницею агроєкосистемного рівня є *агросфера*.

Н.А. Уразаєв та ін. (2000), пропонують такі екологічні терміни для визначення сільськогосподарських екосистем: 1) **агросфера** - глобальна екосистема, що об'єднує територію земної поверхні, перетворену сільськогосподарською діяльністю людини; 2) **аграрний ландшафт** - екосистема, сформована в результаті сільськогосподарського перетворення ландшафту (степового, пустельного тощо); 3) **сільськогосподарська екологічна система** (сільськогосподарська екосистема) - екосистема на рівні господарства; 4) **агроєкосистема** - поле, сад, теплиця, оранжерея; 5) **пасовищна агроєкосистема** - природне чи культурне пасовище [1].

Основними **елементами** сільськогосподарських **екосистем** є: 1) культурні рослини, висіяні або висаджені людиною; 2) бур'яни, які потрапили в агроєкосистеми всупереч волі людини; 3) мікроорганізми ричосфер культурних рослин і бур'янів; 4) бульбочкові бактерії на корінні бобових рослин, що зв'язують вільний азот повітря; 5) мікоризотворні гриби на корінні вищих рослин; 6) водорості, бактерії, гриби, актиноміцети, вільноживучі в ґрунті; 7) безхребетні тварини, що живуть у ґрунті і на рослинах; 8) хребетні тварини (гризуни, птахи та ін.), які живуть у ґрунті й посівах; 9) гриби, бактерії, віруси – паразити (напівпаразити) культурних рослин і бур'янів; 10) бактеріофаги – паразити мікроорганізмів.

Характерна **особливість сільськогосподарських екосистем** у тім, що вони є продуктом трансформування природних. Трансформуючи природні екосистеми в сільськогосподарські, людина змінювала живі та неживі компоненти природних комплексів: рослинний і тваринний світ, ґрунт, воду, атмосферу. Рослини природної флори знищували, змінювали на нові, потрібні для задоволення потреб людини.

*Біотична* частина агро екосистеми має всі ланки, 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, 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 – це 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 стикання рослин з фізичним середовищем. Так, процес фотосинтезу відбувається в листках, стеблах та репродуктивних органах рослин, тобто на межі рослин і атмосфери. Надходження води та мінеральних речовин здійснюється через межі стикання 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 і ґрунтових процесів.

Під дією цих процесів змінюється повітряне і ґрунтове середовище мешкання рослин і створюється система «ґрунт-рослина-атмосфера» [1].

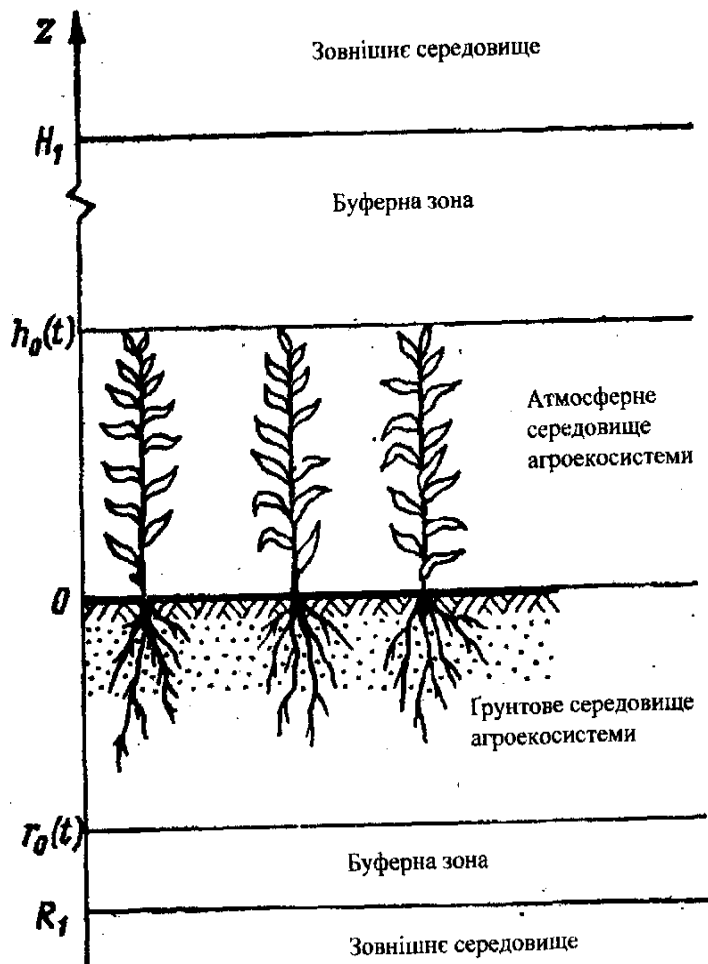
У повітряному середовищі ці зміни охоплюють такі процеси енергетичного масообміну між рослинним покривом і атмосферою: перенесення сонячної радіації в рослинному покриві, її поглинання і розсіювання фітоелементами, поглинання і відбиття сонячної радіації ґрунтом, ослаблення швидкості вітру та зміна характеристик 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, який охоплює виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту, його перенесення в повітрі і поглинання (вдень) або виділення (вночі) рослинами. Протилежно перенесенню  $\text{CO}_2$  йде перенесення кисню та його поглинання ґрунтом і виділення (вдень) або поглинання (вночі) рослинами [2,3].

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.

Рослини знаходяться одночасно і в атмосфері і в ґрунті і створюють систему «ґрунт – рослина – атмосфера» яка поділяється на шість горизонтальних шарів (рис.1.4)[1].

По вертикалі від поверхні ґрунту до верхньої межі рослинності  $z_o = h_o(t)$  і до нижньої межі поширення коріння  $r_o(t)$

Рис 1.4 – Схема системи « ґрунт – рослина – атмосфера»

виділяється внутрішнє середовище – невід'ємна складова частина агроєкосистеми. Це відповідно атмосферне і ґрунтове середовище агроєкосистеми. З ними межують 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

грунту, 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  $z < R_i$ ) формуються під впливом процесів іншого, більш великого масштабу, незалежних від впливу агроєкосистеми: атмосферних процесів і процесів, що протікають у підстильній породі.

Властивості внутрішнього атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми визначаються особливостями взаємодії з іншими фізичними і фізіологічними процесами, які протікають в агроєкосистемі. Властивості зовнішнього середовища агроєкосистеми формуються під впливом великомасштабного впливу атмосферних процесів та процесів, які відбуваються в підстильних породах ґрунту. Межі внутрішнього й зовнішнього середовища агроєкосистеми дуже динамічні в часі й просторі і визначаються сезонними особливостями росту та розвитку сільськогосподарських культур.

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

У сільськогосподарських екосистемах ланцюги живлення залучені в сферу діяльності людини. В них змінена екологічна піраміда, на вершині якої стоїть людина, що є специфічною ознакою будь-якої сільськогосподарської екосистеми. При умовному розгляді агроєкосистеми як поєднання природної екосистеми з антропогенною енергією, неважко виявити, що питомі затрати енергії в доіндустріальному сільському господарстві були порівнянні з енергозатратами в природних екосистемах. З переходом на інтенсивне ведення сільського господарства енерговикористання набагато зросло.

Людина як споживач має підтримувати свій трофічний (**антропогенний**) ланцюг у біосфері і використовувати з нього органічної речовини (тобто поживних речовин або загалом енергії) не більше, ніж надходить у нього. Лише за такої умови забезпечується цілісність екосистеми. Тому створюване на полях в системі сівозмін штучне біологічне середовище, має функціонувати так само ефективно, як і природне.

Проте обсяг біологічного кругообігу речовин у ньому повинен бути набагато більшим, щоб забезпечити одержання необхідної кількості продуктів харчування і сировини для промисловості. Штучно створена екосистема сівозміни або агроландшафту добре функціонує лише за оптимальної взаємодії усіх трьох складових трофічного ланцюга – продуцентів, консументів усіх порядків (включаючи людину) та редуцентів – деструкторів.

Від рослинництва люди повинні мати якісну продукцію. Для її одержання слід використовувати якомога менше енергоресурсів, тобто рослинництво, як провідна галузь сільського господарства повинно заощаджувати енергію і бути екологічно доцільним виробництвом. Цьому сприяють застосування переважно біологічних, агротехнічних прийомів вирощування культур (застосування органічних добрив, біологічної азотфіксації, широке використання асоціативної мікрофлори, правильний догляд за посівами, впровадження сортів польових культур, які мало уражуються хворобами та шкідниками, тощо).

#### Контрольні запитання

- 1. Яка система називається екосистемою?*
- 2. Чим відрізняються поняття «середовище існування» і «умови існування»?*
- 3. Яка система називається агро екосистемою?*
- 4. Рівні організації та типи агро екосистем.*
- 5. Що таке біосфера та її складові?*
- 6. Наведіть приклади співіснування в агрофітоценозах.*
- 7. Глобальність антропогенного фактора.*
- 8. Продуценти, консументи та редуценти.*
- 9. Які властивості має ґрунтова екосистема?*
- 10. З яких шарів складається система «ґрунт-рослина-атмосфера»?*
- 11. Як класифікуються екологічні фактори?*



## 2. РОЛЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИН

### 2.1 Уявлення про фактори урожаю

Уявлення про фактори урожаю можна відобразити таким виразом

$$Y = y(x, F, R^x, R^{Fx}, R^{xF}, \gamma, Q, t) \quad , \quad (2.1)$$

де  $x$  – система внутрішніх елементів;

$F$  – зовнішнє середовище проживання;

$R^x$  – внутрішня структура;

$R^{Fx}$  – пряма взаємодія;

$R^{xF}$  – зворотна взаємодія;

$\gamma$  – вхід в систему;

$Q$  – вихід із системи;

$t$  – час.

За системним охопленням факторів урожаю їх можна класифікувати. Всі екологічні фактори поділяють на дві основні групи: 1) ресурси, які безпосередньо використовуються рослиною (сонячна енергія, вода, елементи мінерального живлення, вуглекислий газ і кисень повітря та ін.); 2) умови, які впливають на життєдіяльність рослин (температура повітря і ґрунту, кількість і розподіл атмосферних опадів, гранулометричний склад ґрунту, його кислотність тощо). На практиці ці дві групи факторів об'єднують у загальному понятті **агрокліматичні ресурси** [3].

Існує й інший підхід до класифікації екологічних факторів, в якому фактори поділяють на 3 групи: 1) *погодно-кліматичні* (комплекс атмосферних впливів); 2) *едафічні*, які об'єднують всі екологічні впливи на рослину через ґрунт; 3) *біотичні*, які пов'язані з впливом на рослини інших організмів.

Однією з головних умов, які визначають географію розподілу агроєкосистем, є кліматичні особливості (рис. 2.1).

Екологічні фактори також поділяються на *зовнішні* (сонячна радіація, інтенсивність атмосферних опадів, атмосферний тиск, швидкість вітру, швидкість течії і т. ін.) та *внутрішні* (численність і біомаса популяцій, запаси різних речовин, характеристика приземного шару повітря, водної та ґрунтової маси).

Для характеристики величезної кількості екологічних факторів введено поняття «*простір екологічних факторів*», який називається евклідовим простором. В цьому просторі кожній конкретній комбінації значень екологічних факторів відповідає точка евклідового простору з точно визначеними властивостями [4, 5].

Для кількісної характеристики впливу екологічних факторів на показники життєдіяльності рослин і тварин (швидкість росту та розвитку, плодючість, тривалість життя, харчування, метаболізм, активність рухів, смертність і т.ін.) застосовується *поняття про функції відгуку* одного фактора на зміну інших. Для кожної допустимої комбінації екологічних факторів функція показує відповідне цій комбінації значення швидкості іншого фактора. Загальна класифікація факторів врожаю наводиться на (рис. 2.1). Відношення рослини до будь-якого фактора проявляється у вигляді взаємодії, тобто проявляється закон єдності та боротьби протилежностей.

Не зважаючи на те, що кількість екологічних факторів може бути дуже велика, насправді виділяється кількість факторів, за допомогою яких можна пояснити швидкість зміни інших.

Діапазон дії (інакше *зона толерантності*) екологічного фактора обмежується відповідними крайніми пороговими значеннями цього фактора, за яких можливе існування будь-якого організму. Точки мінімуму, оптимуму та максимуму становлять три основні точки, які визначають можливість реакції організму на певний екологічний фактор.

Умови середовища, в якому який – небудь фактор (або сукупність факторів) виходить за межі зони толерантності і пригнічує рослини, називаються *екстремальними*. Це визначення екстремальних умов стосується не тільки екологічних факторів, а взагалі всіх умов, де життя майже закінчується (полярні зони, високогір'я, пустелі).

*Принцип оптимальності* полягає в тому, що оптимальній продуктивності відповідає максимальний урожай за оптимального значення факторів.

Рослини і середовище їх існування знаходяться в дуже складній та динамічній взаємодії, інтенсивність якої залежить від сезону року, агрометеорологічних умов, біологічних особливостей та фази розвитку рослин, агротехнічних заходів тощо. Рослини реагують на зміну зовнішніх умов шляхом перебудови біологічних процесів на біохімічному, фізіологічному та клітинному рівні. Вплив зовнішніх умов завжди відбувається комплексно, тобто діє декілька факторів одночасно, табл. 2.1.



Рис.2.1 – Топологічна схема властивостей факторів урожаю (за В.П. Дмитренком)

Таблиця 2.1 – Залежність процесів росту і розвитку озимої пшениці від впливу факторів абіотичного середовища [3]

Процеси розвитку	Фактори середовища			Фізіологічні процеси
	грунтове зволоження	температура повітря, °С	тривалість дня, год	
Насіння у ґрунті	Більше від вологості розриву капілярів	Вища за 3 – 5°С	-	Набухання насіння, ріст зародкових корінців і поява колеоптиля
Росток, перехід до сходів	Те ж саме	Між біологічним мінімумом і біологічним максимумом	Опромінення квантом світла	Надбання зеленого кольору хлоропластами, ріст рослини, фотосинтез
Припинення та відновлення вегетації	Не менше від вологості розриву капілярів	> 1 °С	< 12 год	Перехід до анабіозу та початок ростових процесів
Вихід у трубку	Те ж саме	>10 °С	>12 год	Початок утворення репродуктивних органів
Колосіння	Те ж саме	>15 °С	>15 год	Запліднення, утворення зерна.

## 2.2. Екологічні чинники агроєкосистем

### 2.2.1. Світло

Джерелом енергії для всіх метаболічних процесів на планеті є Сонце. Кількісною мірою сонячної енергії є густина потоку радіації, тобто кількість променистої енергії, яка падає на одиницю площі за одиницю часу. Вона вимірюється у Вт/м<sup>2</sup> (або кВт/м<sup>2</sup>). Енергетика сонячної радіації, яка падає на верхню межу атмосфери, на одиницю площі,

перпендикулярної до сонячного проміння, за середньої відстані Землі від Сонця називається *сонячною сталою*, яка дорівнює  $1367 \text{ Вт/м}^2 \pm 0,03$ .

Сонячна енергія є практично єдиним джерелом енергії, тепла і світла. Надходження сонячної енергії визначає всі процеси, які відбуваються в атмосфері, водах Світового океану та на поверхні землі. Практично сонячна енергія забезпечує утворення й існування біосфери. Надходження сонячної радіації на верхню межу атмосфери змінюється в залежності від відстані Землі до Сонця. Вона не залишається постійною через еліптичну форму земної орбіти. Кількість сонячної радіації, яка надходить до поверхні Землі, неоднакова влітку та взимку і залежить від географічної широти місцевості (табл. 2.2) [6,7].

Таблиця 2.2 – Суми сонячної радіації, яка надходить до поверхні Землі за абсолютно прозорої атмосфери, ккал/см<sup>2</sup> (Будико М.І.,1971)

Півріччя	Широта, град.									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Літнє	161	170	175	174	170	161	149	139	135	133
Зимове	161	147	129	108	84	59	34	13	3	0
Рік	322	317	304	282	254	220	183	152	138	133

У зв'язку з тим, що Земля оточена атмосферою, сонячні промені проходять крізь всю товщу атмосфери, яка частково їх відбиває, а частково розсіює. Поверхня Землі під дією сонячного проміння нагрівається і стає джерелом випромінювання тепла.

Надходження сонячної радіації до поверхні землі буває найбільшим, коли промені падають на неї під кутом 90°. Зі зміною кута нахилу проміння змінюється кількість сонячної радіації. Найбільші значення сонячної радіації в субекваторіальній зоні, при просуванні в помірний пояс її кількість зменшується за законом

$$S' = S_{90} \sin h_o \quad , \quad (2.2)$$

де  $S'$  – надходження сонячної радіації на поверхню, перпендикулярну сонячним променям;

$h_o$  – висота Сонця.

На кількість надходження сонячної радіації впливає співвідношення тривалості світлої і темної пори доби. Крім того, на надходження сонячної радіації впливає хмарність, яка зменшує синьо-фіолетову частину радіації.

Промениста енергія Сонця є джерелом усіх біофізичних і фізіологічних процесів, які відбуваються в системі ґрунт-рослина-атмосфера. Сонячна радіація, яка проходить крізь атмосферу, відбивається

від підстильної поверхні, при цьому змінюється і перетворюється на інші види енергії, головним чином на теплову; інша частка розсіюється в атмосфері молекулами газів, аерозолями та хмарами.

Внаслідок поглинання і розсіювання в атмосфері на поверхню Землі сонячна радіація надходить вже змінена. Ту частину радіації, що надходить від Сонця у вигляді пучка паралельного проміння, називають *прямою* сонячною радіацією, а ту, що розсіюється в атмосфері і надходить на поверхню землі з усіх частин небосхилу у вигляді дифузійної радіації - *розсіяною* радіацією. У сукупності пряма і розсіяна сонячна радіація складають сумарну радіацію.

Як пряма, так і розсіяна радіація, надходячи на поверхню Землі, частково відбивається від неї і спрямовується назад в атмосферу у вигляді відбитої радіації, частина її поглинається, перетворюючись на теплову, частина розсіюється молекулами газів і паром повітря. Всі ці види радіації мають назву короткохвильова радіація (КХР) на відміну від теплової або інфрачервоної (ІЧР) радіації, які випромінюються атмосферою і поверхнею Землі.

Потоки променистої енергії та теплового випромінювання Землі й атмосфери поділяються за довжиною хвиль на короткохвильову ( $\lambda = 0,1 \dots 4,0$  мкм) і довгохвильову радіацію ( $\lambda = 4,0 \dots 80$  мкм). Видиме світло займає інтервал довжини хвиль  $\lambda = 0,34 \dots 0,76$  мкм. Розподіл енергії сонячної радіації за довжиною хвиль називається *сонячним спектром*. В загальному плані сонячний спектр поділяється на три основні частини: ультрафіолетову (УФР  $\lambda < 0,40$  мкм, видиму -  $\lambda = 0,40 \dots 0,76$  мкм та інфрачервону (ІЧА),  $\lambda = >0,76$  мкм).

На верхній межі атмосфери на видиму частину спектра припадає 47 %, на ІЧР - 44 %, на ультрафіолетову - 9 % всієї сонячної радіації. Максимум енергії Сонця на верхній межі атмосфери припадає на довжину хвилі 0,48...0,49 мкм, яка знаходиться біля поверхні Землі в межах жовто - зеленої частини спектра.

Інтенсивність сонячної радіації визначає особливості ростових процесів, форму та розташування листя у рослин, їх будову та колір. В умовах гірського рельєфу кут падіння сонячного проміння значною мірою залежить від кута нахилу поверхні та її експозиції. На північний схил надходить 68 % від кількості сонячної енергії, яка надходить на пряму поверхню, а на південний схил - 128 %.

Інформативним показником міри освітленості території є *тривалість сонячного сяйва*, яка залежить від географічної широти місцевості, тривалості світлої пори доби та від режиму хмарності.

На рослини впливають: тривалість сонячного освітлення, інтенсивність сонячної радіації, спектральний склад світла.

За відношенням до світла рослини поділяються на три групи:

1. *Світлолюбні* (геліофіти). Оптимальна життєдіяльність спостерігається в умовах повного сонячного освітлення. Вони погано переносять затінення. Типовими геліофітами є степові і лукові злаки, рослини тундр, високогір'я, прибережні та напівзанурені рослини, ефемери та ефемероїди, більшість рослин відкритого ґрунту.

2. *Тіньовитривалі* рослини мають широку екологічну амплітуду по відношенню до світла. Ці рослини краще ростуть і розвиваються за повної освітленості, однак, мають здатність адаптуватися до умов різного рівня затінення. До цієї групи рослин відносяться деякі деревні породи, більшість чагарників і трав'янистих рослин лісової зони, кімнатні рослини.

3. *Тіньові* рослини ростуть тільки в затінених місцях і в умовах високої освітленості ніколи не ростуть. В процесі еволюції ці рослини адаптувались до умов, властивих нижнім затіненим співтовариствам темнохвойних і широколистяних лісів, тропічних вологих лісів. Тіньовитривалість цих рослин дуже часто співпадає з великою потребою у воді.

Постійні зміни дня і ночі впродовж тривалого періоду дозволили рослинам в процесі еволюції виробити ритмічні зміни найважливіших життєвих процесів і властивостей їх організму – *фотоперіодизм*. Фотоперіодизм керує ритмічністю добової та сезонної життєдіяльності рослин, тобто всіма метаболічними процесами, які пов'язані з ростом, розвитком та розплідненням рослин і тварин.

У рослин фотоперіодизм проявляється в узгодженні періодів цвітіння і дозрівання плодів з періодом найбільш активного фотосинтезу.

В залежності від фотоперіодичної реакції рослин виділяють: *рослини короткого дня*, у яких перехід до цвітіння відбувається за тривалості світлового дня меншій ніж 12 годин на добу (коноплі, капуста, амарант і ін.); *рослини довгого дня*, яким для цвітіння і подальшого розвитку необхідна тривалість безперервного освітлення більша за 12 годин на добу (пшениця, овес, льон, морква, цибуля та ін.); *фотоперіодично нейтральні рослини*, у яких розвиток генеративних органів настає за різної тривалості світлового дня (гречка, виноград, бузок і ін.).

Рослини довгого дня переважно вирощують у північних широтах, рослини короткого дня – в південних [8].

Засвоєння сонячної енергії рослинами відбувається вибірково: найбільш інтенсивно поглинаються синьо - фіолетові промені з довжиною хвилі  $\lambda = 0,40 \dots 0,48$  мкм та помаранчево – червоні промені з довжиною хвилі  $\lambda = 0,65 \dots 0,68$  мкм, менш інтенсивно поглинаються жовто – зелені з довжиною хвилі  $\lambda = 0,50 \dots 0,58$  мкм та довгі червоні,  $\lambda > 0,68$  мкм.

*Фотосинтетична діяльність рослин*. За біологічною дією на рослини діапазон короткохвильової радіації поділяється на ультрафіолетову, *фотосинтетично* активну (ФАР) та ближню інфрачервону (БІЧР). Для фізіологічних процесів, які визначають

життєдіяльність рослин, найбільше значення має короткохвильова радіація з довжиною хвиль меншою за 4,0мкм.

Вплив радіації на рослини визначається у *трьох напрямках*:

- 1) *тепловий ефект* сонячної радіації. Із поглиненої рослинами сонячної енергії близько 70% перетворюється на тепло і використовується для транспірації, для підтримки температури рослин та ін;
- 2) *фотосинтетичний ефект* сонячної радіації. Із поглиненої в інтервалі спектра 0,38-0,71 мкм радіації (область ФАР) до 28 % використовується в процесі фотосинтезу для створення органічних речовин;
- 3) *фотоморфогенетичний* (регулюючий) *ефект* сонячної радіації в процесі росту і розвитку рослин. Активна частина радіації, що впливає на ці процеси, починається з ультрафіолетової частини, охоплює діапазон ФАР і закінчується на порозі близько 0,76 мкм, тобто в початковому діапазоні близької інфра – червоної радіації (БІЧР).

Ці ефекти впливу сонячної радіації поряд з іншими факторами довкілля значною мірою визначають закономірності розвитку рослинного покриву. Ось чому дані щодо радіаційного режиму як на верхній межі посіву, так і в середині його, є підставою для чинних методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів [ 29, 60, 92].

У процесі фотосинтезу використовується частина короткохвильової радіації, яка знаходиться в інтервалі  $\lambda = 0,38...0,71$  мкм і називається *фотосинтетично активною радіацією* (ФАР). Ю.К. Россом (1975) визначене біологічне значення різних частин спектра, табл. 2.3 [9].

Таблиця – 2.3 – Біологічне значення різних частин спектра (Ю.К.Росс, 1986)

Вид радіації	Область спектра, Мкм	Відсоток сонячної радіації	Ефект дії радіації на рослину		
			тепловий	фотосинтез	ріст і розвиток
Ультрафіолетова	0,29...0,38	0...4	не суттєвий	не суттєвий	суттєвий
ФАР	0,38...0,71	21...46	суттєвий	суттєвий	суттєвий
Ближня інфрачервона	0,71...4,0	50...79	суттєвий	не суттєвий	суттєвий
Далека інфрачервона	>4,0	-	суттєвий	Не суттєвий	суттєвий



Процес трансформації поглиненої рослиною енергії світла в хімічну енергію органічних (і неорганічних) сполук називається **фотосинтезом**.

Це складний цикл біохімічних і біофізичних процесів, в ході яких рослини, поглинаючи сонячну енергію у формі ФАР, створюють за допомогою зеленого пігменту – хлорофілу із вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) і води ( $\text{H}_2\text{O}$ ) високоенергетичні вуглеводи (крохмаль, цукор, глюкозу, клітчатку і ін.), вивільнюючи при цьому кисень ( $\text{O}_2$ ). Первинні продукти фотосинтезу в результаті асиміляції перетворюються на органічні речовини (асиміляти), які використовуються рослиною впродовж росту і розвитку для створення вегетативної та генеративної маси.

ФАР – найважливіший фактор продуктивності рослин. Інтенсивність ФАР вимірюється інструментально або розраховується за даними про надходження прямої, розсіяної чи сумарної радіації ( $Q$ ) (Тоомінг Х.Г., Гуляев Б.І., 1967, Єфимова Н.А.)

$$\sum Q_{\text{фар}} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D \quad , \quad (2.3)$$

де  $\sum Q_{\text{фар}}$  – сумарна фотосинтетично активна радіація ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ );

$\sum S'$  – сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ );

$\sum D$  – сума розсіяної сонячної радіації ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ).

Для приблизного розрахунку ФАР використовується також формула

$$Q_{\text{фар}} = 0,52 \sum Q \quad . \quad (2.4)$$

Сумарна радіація ( $Q$ ) – сума прямої ( $S'$ ) і розсіяної радіації ( $D$ ), що падає на горизонтальну поверхню, у даному випадку – на поверхню рослин.

$$Q = S' + D \quad . \quad (2.5)$$

Найбільш точні дані добових величин сумарної радіації одержують за допомогою стандартних метеорологічних спостережень (актинометричних). Однак мережа станцій, які ведуть відповідні спостереження, не задовольняє вимоги оперативного агрометеорологічного обслуговування різних територій. У такому випадку визначення  $Q$  виконується за допомогою розрахунків з використанням інших метеорологічних характеристик [10, 11].

Тривалість сонячного сьйва, визначена за допомогою геліографа, дозволяє з високою мірою точності розраховувати величини сумарної радіації. З цією метою використовується формула С.І. Сівкова, яка складається з параметрів, що не входять до інших емпіричних формул:

$$Q = 12,66(SS^J)^{1,31} + 315(\sin h_o^J)^{2,1}, \quad (2.6)$$

де  $SS$  – тривалість сонячного сьйва за добу, кал/(см·д);

$h_o$  – полуденна висота Сонця, град.

Ефективність використання сонячної радіації рослинами характеризується *коефіцієнтом корисної дії* (ККД), який визначається відношенням кількості енергії, запасеної в продуктах фотосинтезу, або тієї, що утворилась у фітомасі врожаю, до кількості поглиненої радіації [1].

$$\eta = \frac{qY \cdot 100\%}{\sum Q_{\phi}}, \quad (2.7)$$

де  $\eta$  – ККД;

$q$  – калорійність рослин, кДж/г;

$Y$  – біологічний врожай загальної сухої фітомаси, г/м<sup>2</sup>;

$\sum Q_{\phi}$  – сума фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період, МДж/м<sup>2</sup>.

ККД рослин можна визначити як відносно падаючої, так і відносно поглиненої радіації. У такому випадку

$$\eta_{над} = a_n q_{погл}, \quad (2.8)$$

де  $\eta_{над}$  – ККД, визначений відносно падаючої радіації,

$\eta_{погл}$  – ККД, визначений відносно поглиненої радіації;

$a_n$  – функція поглинання.

Залежність інтенсивності фотосинтезу від величини надходження ФАР можна описати *світловими кривими фотосинтезу*. Зі збільшенням інтенсивності сонячної радіації світлова крива фотосинтезу (поглинання CO<sub>2</sub>) зростає, потім поступово переходить на «плато» (рис. 2.2). Характеристика світлової кривої залежить від виду рослин [12, 13].

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 листя за ярусами неоднакова, тому що світло падає на листя однієї і тієї ж рослини під різними кутами (рис.2.2).

Стан, коли при збільшенні ФАР інтенсивність фотосинтезу за даних умов утримується на одному найвищому рівні, називається рівним плато (рис. 2.2).

Сонячна радіація має добовий ритм (чергування дня і ночі). Встановлено, що рослини переходять до генеративного розвитку при певному співвідношенні тривалості дня і ночі (фотоперіодична реакція).

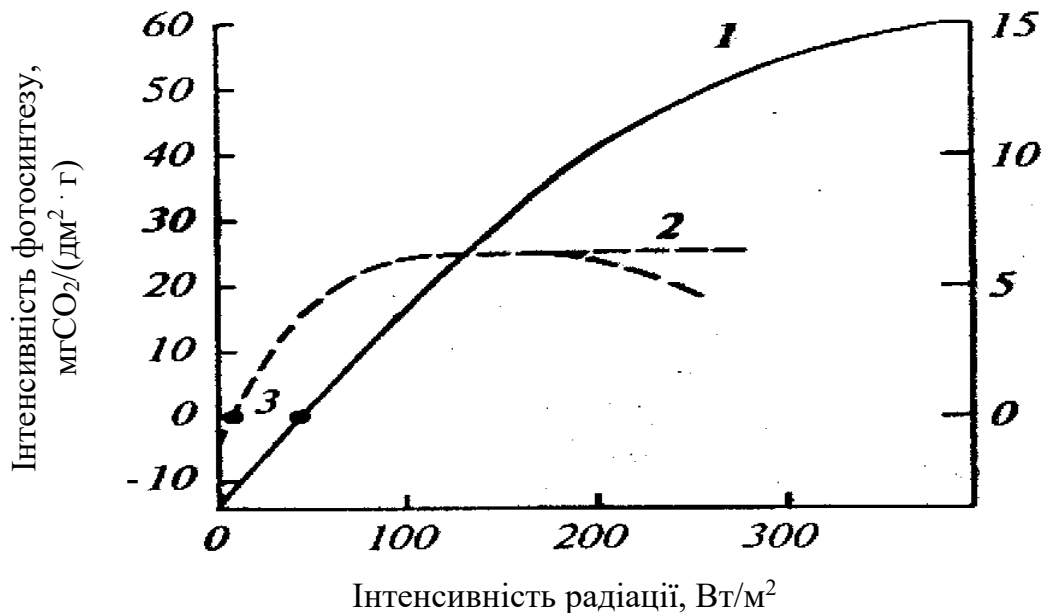


Рис. 2.2 — Світлова крива фотосинтезу світлолюбних (1) і тіншовитривалих (2) рослин (3 — компенсаційні точки. За О.М. Шульгіним).

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. ).

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 припадає 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 дослідях з різними термінами сівби.

Світлові асиміляційні криві (або криві насичення), що характеризують інтенсивність фотосинтезу в залежності від інтенсивності сонячної радіації, неоднакові у всіх культурних рослин. Зі збільшенням ФАР за звичайного вмісту в повітрі  $\text{CO}_2$  продуктивність фотосинтезу спочатку збільшується, потім починає знижуватись.

*Інтенсивність фотосинтезу* відповідає кількості вуглекислого газу, яка засвоюється одиницею листової поверхні за одиницю часу. Вона коливається від 5 до 25  $\text{мг CO}_2/(\text{м}^2/\text{год})$ . Добову продуктивність фотосинтезу визначають за співвідношенням добового приросту маси рослини до площі її листків.

Продуктивність фотосинтезу істотно залежить від площі листя, яка може регулюватись шляхом створення оптимальної оптико – біологічної структури посіву польових культур і температури повітря. Асиміляційна поверхня повинна повністю покривати поверхню ґрунту протягом вегетаційного періоду рослин.

Важливим показником, який визначає поглинання і пропускання ФАР є *листовий індекс* – відношення сумарної площі листової поверхні посіву до площі поля. Поглинання ФАР збільшується зі збільшенням площі листя. За даними А.А. Ничипоровича найбільше поглинання ФАР спостерігається при значенні листового індексу 4, та площі листя  $40\ 000\text{м}^2/\text{га}$ . Поглинання ФАР залежить від розподілу ФАР по ярусах листя (рис.2.3).

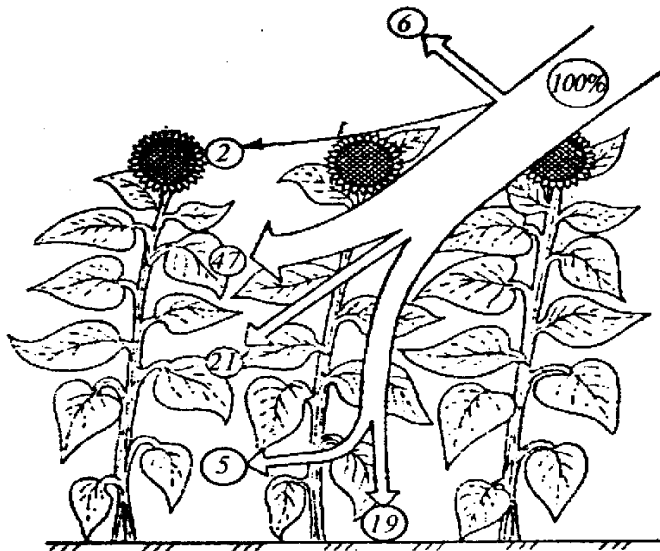


Рис.2.3 – Розподіл ФАР по ярусах листя в посівах соняшника

Характеристикою продуктивності фотосинтезу є *чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ)*, тобто кількість органічної речовини, що формується на  $1\ \text{м}^2$  за добу. Її величина залежить від густоти посівів. В загущених посівах вона зменшується, зазвичай вона становить для більшості культур 4 – 6 г органічної речовини за добу [12, 13].

*Фотосинтетичний потенціал посіву* (ФПП) – сумарна листкова поверхня, яка брала участь у фотосинтезі від початку вегетації до закінчення фотосинтезу. Сума показників робочої асимілюючої поверхні по міжфазних періодах розвитку рослин становить загальну площу листкової поверхні, тобто *сумарний фотосинтетичний потенціал* (СФПП).

Для утворення репродуктивних органів і господарської цінної частки врожаю необхідно, щоб площа листя була оптимальною. Оптимальною вважається така площа листя, яка забезпечує максимальний газообмін посіву. Більшість дослідників дійшли згоди, що площа листя 2-7 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> або 40-50 тис. м<sup>2</sup>·га є оптимальною [14, 12]. Оптимальна площа листя також залежить від структури рослинного покриву, виду і сорту рослин, морфології рослин, віку листя.

Х.Г.Тоомінг запропонував формулу для визначення оптимальної площі листя [8, 15].

$$L_{opt} = \frac{\sin \bar{h}_o}{G_L(\bar{h}_o)} \ln \frac{\bar{Q} G_L(\bar{h}_o) [\tau_o - 24c]}{24(1 - \sqrt{c})\sqrt{c}\bar{\Pi} \sin h_o}, \quad (2.9)$$

де  $G_L(\bar{h}_o)$  – функція геометричної структури РП при висоті Сонця  $\bar{h}_o$ ,  
що відповідає стану  $Q = \bar{Q}$ ;

$\tau_o$  – тривалість дня год;

$\bar{Q}$  – насичена інтенсивність ФАР;

$c$  – коефіцієнт витрат на дихання;

$\bar{\Pi}$  – інтенсивність радіації пристосування листка.

Високі врожаї одержують у тому випадку, коли площа листя буває оптимальною і фотосинтезує якомога триваліший час.

Для характеристики тривалості фотосинтетичної роботи посіву за весь вегетаційний період або його відрізок запропоновано вираз [13]:

$$\Phi_n = \int_{t_1}^{t_2} L_o(t) dt, \quad (2.10)$$

де  $L_o$  – відносна площа листя, м<sup>2</sup>·м<sup>2</sup>;

$t$  – час роботи площі в днях;

$\Phi_n$  – має розмірність м<sup>2</sup>·день·га<sup>-1</sup>.

Фотосинтетичний потенціал посіву знаходиться в тісному зв'язку з урожаем.

Сумарний фотосинтетичний потенціал залежить від виду та сорту культури, густоти посіву, умов живлення і зволоження, освітлення, температури повітря, ґрунту та ін. Пізньостиглі рослини польових культур

розвивають більшу поверхню листя, довше вегетують і створюють більший врожай.

Фотосинтетична діяльність посівів є домінуючою в перший період формування врожаю. З переходом рослин до активного росту репродуктивних органів роль фотосинтезу постійно зменшується і домінуючими стають процеси, пов'язані з формуванням репродуктивних органів і перерозподілом пластичних речовин між окремими органами рослин.

Одночасно з утворенням органічної речовини в процесі фотосинтезу виділяється кисень. Високопродуктивні фотосинтезуючі системи використовують багато вуглекислоти (CO<sub>2</sub>) і тим самим створюють високі врожаї. Одним із показників високопродуктивної системи є густина посівів.

Велику роль відіграє також регулювання фотосинтетичної діяльності рослин. На формування фотосинтетичної діяльності посіву впливають і біотичні (строки сівби, норма і глибина висіву, ґрунти тощо) і абіотичні фактори (сонячне світло, опади, температура і вологість повітря і ґрунту).

Велике значення для фотосинтетичної діяльності має і густина рослин, яка забезпечується способом сівби та нормою висіву. Доцільна архітектоніка посівів, яка надає рослинам оптимальну площу ґрунтового і повітряно – світлового живлення, забезпечує швидке нарощування і тривале функціонування асимілюючої поверхні.

Дослідження впливу сумарної радіації на урожайність пов'язано із застосуванням методів її розрахунку, які були розглянуті вище. Загалом вплив сумарної радіації на урожай визначається за особливостями динаміки характеристик урожайності та ознак сумарної радіації [3].

М.А. Перельот встановив тісноту зв'язку сумарної радіації із урожайністю цукрових буряків впродовж вегетаційного періоду (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Тіснота зв'язку між урожайністю цукрових буряків та сумарною радіацією (за Перельотом М.А)

Ґрунтово-кліматична зона	Показники зв'язку	Періоди вегетаційного циклу				
		III -IV	V	VI	VII-VIII	IX
Полісся	R	-0,02	-0,15	-0,17	-0,20	-0,34
	D	0,28	0,42	0,39	0,38	0,48
Лісостеп	R	0,22	0,30	0,21	-0,18	-0,31
	D	0,28	0,46	0,40	0,50	0,49
Степ	R	0,18	-0,09	-0,32	-0,33	-0,47
	D	0,24	0,52	0,39	0,41	0,62
Прикапаття	R	0,18	0,18	0,22	0,38	-0,25
	D	0,29	0,41	0,40	0,49	0,50

За даними табл. 2.4 залежність урожайності цукрових буряків від сумарної сонячної радіації описується нелінійними формами зв'язку в усіх ґрунтово – кліматичних зонах та в усі періоди вегетаційного циклу і визначається за кореляційним відношенням на рівні середньої тисноти зв'язку і практично є значущою.

Продуктивність сільськогосподарських культур в залежності від сумарної радіації характеризується кривими продуктивності, коефіцієнти якої визначаються за відхиленнями сумарної радіації в поточному році від оптимальних її значень ( $\eta(Q) = y/Y_1$ ).

В цілому вплив сумарної радіації на урожай сільськогосподарських культур за вегетаційний період описується

$$\sum \eta(Q) = \sum y(Q)_i / Y_1(Q_0)_i \cdot a_i, \quad (2.11)$$

де  $a_i$  – ваговий множник внеску тривалості кожного міжфазного періоду в загальну тривалість вегетаційного циклу, як частка потенціалу урожаю  $Y$  в значення  $a_i$  за виразом

$$a_i = y_i / Y(T), \quad (2.12)$$

де  $y_i$  – маса урожаю в період,  $T$ ;

$Y(T)$  – кінцева маса урожаю  $Y$  за вегетаційний період  $T$ .

У зв'язку зі складнощами інформації про інтенсивність сонячної радіації пропонується використовувати для її розрахунку дані про тривалість сонячного сьйва.

**Радіаційний режим рослинного покриву.** Сумарна сонячна радіація, яка надходить до верхньої межі посіву, вступає у взаємодію з різними частинами рослин, поглинається ними, відбивається, розсіюється і створює *радіаційний режим рослинного покриву*.

Радіаційний режим рослинного покриву (РП) формується внаслідок переносу променистої енергії Сонця між рослинами. Величина переносу залежить від геометричної структури РП. Геометрична структура РП (Ю.К.Росс, Т.А.Нільсон) характеризується за допомогою таких функцій [9]:

1. Площі листя в одиниці об'єму РП на висоті  $z$  –  $u_L(z)$ ;
2. Відносної площі листя РП

$$L_o = \int_0^{z_o} u_L(z) dz \quad (2.13)$$

3. Відносної площі листя вище заданого рівня  $z$

$$L(z) = \int_z^{z_0} u_L(z') dz', \quad (2.14)$$

де  $z$  – висота всього РП.

4. Просторової орієнтації листя  $q_L(z, r_L)$ ,

де  $r_L = (\theta_L, \varphi_L)$  – напрям нормалі верхньої сторони листка;

$\theta_L$  – кут нахилу нормалі листка, який відраховується від вертикальної осі;

$\varphi_L$  – азимут нормалі листка, який відраховується від півночі за годинниковою стрілкою.

Функція  $dz$  різна у різних культур та сортів.

Кут нахилу листя різний у різних ярусах. Крім того, впродовж вегетаційного періоду розподіл листя щодо кута нахилу також суттєво змінюється. Так, для деяких ярових зернових культур до колосіння найбільша кількість листків має кути нахилу  $75-90^\circ$ . У період молочної стиглості –  $45-60^\circ$ , у період воскової стиглості листя мають кути нахилу  $0-15^\circ$ . Із зміною кута нахилу листя пов'язано споживання променистої енергії Сонця.

Вся радіація, що надходить на поверхню Землі, вступає у взаємодію з фітоелементами. Внаслідок цього змінюється густина потоку радіації, просторова структура та її спектральний склад.

Радіаційне поле всередині рослинного покриву складається із:

- 1) осередненої в горизонтальному напрямку густини потоку прямої сонячної радіації на глибині  $L - S'(L, h_0)$ ;
- 2) осередненої в горизонтальному напрямку густини розсіяної радіації неба на глибині  $L - D(L, h_0)$ ;
- 3) густини потоку радіаційного поля, що виникає всередині рослин внаслідок взаємодії поміж падаючою на рослинний покрив радіацією Сонця і неба та елементами рослин (листя, стебла та ін.).

Перші два види радіації характеризуються коефіцієнтом пропускання:

а) для прямої радіації

$$a_S(L, h_0) = \frac{S'(L, h_0)}{S'_0(h_0)}; \quad (2.15)$$

б) для розсіяної радіації

$$a_\phi(L, h_0) = \frac{D(L, h_0)}{D_0(h_0)} \quad (2.16)$$



Осереднені потоки  $S'(L, h_0)$  і  $D(L, h_0)$  прямої і розсіяної радіації доходять до заданого рівня без взаємодії з РП і вони за спектральним складом не відрізняються від  $S'_0$  та  $D_0$ .

Радіаційне поле, яке виникає внаслідок взаємодії падаючої на РП радіації з елементами РП, розглядають як потік, що вміщує відбиття прямої  $R_S(L, h_0)$  і розсіяної  $R_D(L, h_0)$  радіації. Альbedo – це відношення відбитого від РП потоку до падаючого на нього.

Розрахунок величин сумарної радіації на верхній межі посіву проводиться або за даними тривалості сонячного сяйва, або за даними спостережень за хмарністю.

При відсутності даних спостережень за тривалістю сонячного сяйва сумарну радіацію розраховують за допомогою даних про верхню та загальну хмарність. Це можливо тому, що існує досить чіткий зв'язок між вказаними величинами. М.Е. Берлянд запропонував формулу [9]:

$$Q^J = Q_0^J [1 - c_n n_n - c_{св} (n - n_n)], \quad (2.17)$$

де  $Q_0^J$  – сумарна радіація за ясного неба, кал./( $\text{см}^{-2} \cdot \text{д}^{-1}$ );

$c_n=0,72$  – коефіцієнт для хмар нижнього ярусу, безрозмірний;

$c_{св}= 0,26$  – коефіцієнт для хмар верхнього і середнього ярусів, безрозмірний;

$n_n$  і  $n$  – середні значення кількості хмар нижнього ярусу і загальної хмарності в частках одиниці за світлу пору доби.

Значення  $Q_0$  розраховується згідно з формулою Сівкова (2.6). При цьому вважається, що тривалість сонячного сяйва за ясного неба визначається тривалістю дня  $\tau_d$ , тобто тривалістю періоду від сходу до заходу Сонця.

Найбільш цінна в сільськогосподарському відношенні область спектра сонячної радіації – ФАР (фотосинтетично активна радіація). Від інтенсивності ФАР залежить продуктивність фотосинтезу рослин і, як наслідок, процес формування врожаю сільськогосподарських культур.

При проникненні ФАР всередину рослинного покриву відбувається зменшення її інтенсивності в залежності від висоти рослинного покриву, кутової орієнтації листя, розподілу густоти рослинного покриву щодо вертикалі, товщини і форми листя та ін. Найпростішим і досить розповсюдженим виразом, що описує послаблення ФАР в рослинному покриві, є формула Будаговського, згідно з якою середня інтенсивність ФАР в посіві багато в чому визначається розвитком листя рослин, тобто відносною площею листя (листяним індексом) [12, 13, 15].

$$Q^j = Q_0^j / (1 + cL^j), \quad (2.18)$$

де  $Q^j$  – інтенсивність ФАР в посіві,  $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{хв}^{-1}$ ;

$L$  – відносна площа листя,  $\text{м}^2\cdot\text{м}^{-2}$ ;

$c$  – емпіричний коефіцієнт, що дорівнює 0,65, безрозмірний.

Формування оптимального радіаційного режиму в рослинному покриві здійснюється сучасним застосуванням різних агротехнічних засобів і селекційної роботи щодо створення сільськогосподарських культур, які адаптовані до умов їх вирощування.

**Приклад** виконання розрахунків фотосинтезу рослинного покриву, за наведеними нижче даними. наводиться у табл.2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок інтенсивності ФАР на полі з озимою пшеницею (за декаду) . Дані для обчислення:  $A = 0,73^0$   $0,006=0,004$ ;  $B=0,68$   $l=0,68$ ;  $\sin h_0 = 0,684$ , **квітень, 2-а декада, ст. Сербка**

Дата	$L$ , $\text{м}^2\cdot\text{м}^{-2}$	$SS$ , год	$Q$ , $\text{кал}\cdot/(\text{см}^{-2}\cdot\text{д}^{-1})$	$\delta$ , Град	$\tau_d$ , год	$J_0$ , $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{хв}^{-1}$	$J$ , $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{хв}^{-1}$
11.04	0,83	5,8	265,7	0,316	14,0	0,158	0,103
12.04	0,86	12,0	470,1	0,330	14,1	0,278	0,178
13.04	0,91	13,3	517,5	0,323	14,2	0,304	0,191
14.04	0,97	3,8	214,7	0,328	14,5	0,123	0,075
15.04	1,00	3,5	207,2	0,332	14,7	0,117	0,071
16.04	1,05	9,5	383,6	0,336	15,0	0,213	0,127
17.04	1,06	5,7	265,7	0,338	15,1	0,147	0,087
18.04	1,09	7,5	319,2	0,342	15,2	0,175	0,102
19.04	1,12	7,7	325,4	0,346	15,2	0,178	0,103
20.04	1,16	13,4	521,2	0,350	15,3	0,284	0,162

Для розрахунків використати модель, розроблену А.М. Польовим для розрахунку фотосинтезу на ПЕОМ. В модель вводяться дані:

1 – опис географічного пункту: географічну широту пункту в градусах з десятими ( $\Psi$ );

2 – значення найменшої вологомісткості напівметрового шару ґрунту ( $W_{\text{нв}}$ );

3 – фенологічні дані поточного року: дати настання фаз розвитку озимої пшениці – дата відновлення вегетації ( $N1$ ), порядковий номер місяця, коли настала дата відновлення вегетації ( $N2$ ): 1 – березень, 2 – квітень; кількість розрахункових декад ( $n$ ) та кількість днів у кожній розрахунковій декаді ( $dv$ ), кількість днів від 21 березня до відновлення вегетації ( $t_{06}$ ), середня за декаду температура повітря ( $t_s$ ), середня за декаду кількість годин сонячного сйва ( $ss$ ), запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-50 см ( $W(0)$ ).

4 – параметри моделі для розрахунку: біологічний нуль культури ( $T_0$ ), сума ефективних температур за період вегетації ( $\sum t_{\text{еф}}$ ), сума ефективних температур від відновлення вегетації до колосіння; ( $\sum t_{\text{max1}}$ ), сума ефективних температур від відновлення вегетації до цвітіння ( $\sum t_{\text{max2}}$ ), максимальна площа листя ( $LAI_{\text{max}}$ ) інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні ( $k$ ), початковий нахил світлової кривої ( $b$ ), найменша вологомісткість метрового шару ґрунту ( $W_{\text{нв}}$ ), оптимальна температура фотосинтезу ( $t_{\text{опт}}^{\Phi}$ ).

Для розрахунків на ПЕОМ створюється файл даних, назва файлу «Foto 10.dat»

Вхідна інформація вводиться в програму для розрахунку в такому порядку:

– 1 рядок складається з чотирьох чисел: 1 – назва пункту спостережень пишеться буквами, починаючи з другої позиції; 2 – рік проведення розрахунків, пишеться дві останні цифри року через одну позицію після назви пункту; 3 – дата розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після року; 4 – місяць розрахунку, пишеться через одну позицію після дат. (приклад запису першого рядка: Херсон 04 20.6)

– 2 рядок складається з п'яти чисел:  $n$  – кількість розрахункових декад, ціле число записується в трьох позиціях;  $t_{об}$  – кількість днів від 21 березня до відновлення вегетації, число ціле записується у трьох позиціях;  $N1$  – дата відновлення вегетації, ціле число в трьох позиціях;  $N2$  – місяць відновлення вегетації, пишеться арабськими цифрами, ціле число, в трьох позиціях;  $\Psi$  – географічна широта пункту спостережень, хвилини виражені в частках градуса. Десяткове число в шести позиціях, з двома знаками після коми (приклад запису другого рядка: 12 54 13 3 47.40).

– 3 рядок:  $W(0)$  – масив запасів продуктивної вологи в напівметровому шарі ґрунту, число ціле, в шести позиціях з одним знаком після коми (приклад запису третього рядка:

110.0 90.0 80.0 71.0 66.0 61.0 55.0 50.0 45.0 50.0 47.0)

– четвертий рядок:  $t_s$  – масив середніх за декаду температур повітря, число в шести позиціях з одним знаком після коми (приклад запису четвертого рядка: 15.9 17.5 18.4 19.6 20.1 21.2 22.3 22.5 22.2 21.3 20.5 19.6);

– 5 рядок –  $ss$  – масив кількості годин сонячного сяйва в розрахункових декадах (в середньому за один день декади), число в шести позиціях з одним знаком після коми (приклад запису п'ятого рядка:

9.8 9.1 9.5 9.9 15.2 15.5 10.8 10.6 10.4 10.2 10.6 9.3).

– шостий рядок :  $dv$  – масив кількості днів в розрахункових декадах, число ціле в трьох позиціях (приклад запису шостого рядка:

8 11 10 10 10 10 10 11 10 10 10 10).

– сьомий рядок: інформаційний масив ( масив  $inf$ ) містить дев'ять чисел, кожне число кодується у восьми позиціях з двома знаками після коми: (приклад запису: 05.00 1800.00 0600.00 0800.00 05.00 030.00 0400.00 0100.00 0020.00).

$inf(1)$  –  $T_0$  – біологічний ноль культури;

$inf(2)$  -  $\sum t_{еф}$  - сума ефективних температур за період вегетації;

$inf(3)$  -  $\sum t_{маx1}$ , сума ефективних температур від відновлення вегетації до колосіння;

$inf(4)$  -  $\sum t_{маx2}$ , сума ефективних температур від відновлення вегетації до цвітіння;

$inf(5)$  -  $LAI_{маx}$  – максимальна площа листя;

$inf(6)$  –  $\kappa$  – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні та нормальній концентрації;

$inf(7)$  –  $b$  – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу;

$inf(8)$  -  $W_{нв}$  – найменша волога місткість метрового шару ґрунту;

$inf(9)$  -  $t_{opt}^{\phi}$  – оптимальна температура процесу фотосинтезу

Приклад вхідної інформації наводиться в додатку Б. Приклад вихідної інформації (розрахунки) наводиться в додатку В.

## 2.2.2 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 має товщину в декілька

десять 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 кількість тепла, що переноситься потоком повітря через одиницю площі за одиницю часу в напрямку, перпендикулярному до площі.

Конвективний потік тепла зумовлюється 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) – виникають через нерівномірне нагрівання різних ділянок поверхні. Теплова конвекція на суші розвивається вдень і влітку, над морем – вночі і взимку.

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

В 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 менша ніж влітку.

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

За величиною середньої багаторічної амплітуди температур і часом настання екстремальної температури виділено чотири типи річного ходу температури повітря (рис.2.4 )

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 [1].

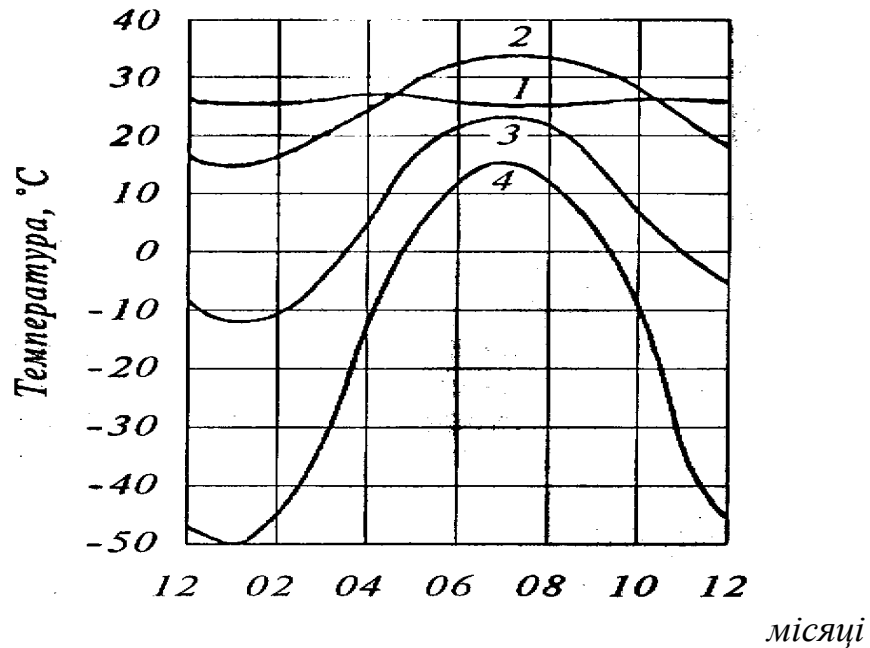


Рис.2.4— Типи річного ходу температури повітря: 1 – екваторіальний (Джакарта,  $\varphi = 6^{\circ}$  півд. ш.); 2 – тропічний (Асуан,  $\varphi = 24^{\circ}$  півн. ш.); 3 – помірного поясу (Саратов,  $\varphi = 52^{\circ}$  півн. ш.); 4 – полярний (Верхоянськ,  $\varphi = 67^{\circ}$  півн. ш.).

Розподіл температури з висотою характеризується вертикальним градієнтом температури (ВГТ)

$$ВГТ = ( t_H - t_B ) / ( Z_B - Z_H ) , \quad (2.19)$$

де  $t_H - t_B$  – різниця температури між нижнім і 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 ВГТ залежить від погодних умов, пори року, пори доби, вітру, вологості ґрунту, наявності рослинного покриву.

Достатня кількість тепла є головною умовою для життя рослин. Для кожного етапу життєвого циклу існують цілком визначені температурні межі і деякий оптимум, після переходу через які інтенсивність процесу життєдіяльності припиняється.

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, і температурним максимумом, за межами якого рослини існувати не можуть. Значення

температури між температурним оптимумом і мінімумом називається зоною комфорту [15,16].

За відношенням рослин до термічного режиму розрізняється:

- 1- характерна крива розвитку;
- 2- визначений рівень температур, в межах якого відбувається розвиток рослини;
- 3- загальна сума тепла, необхідна для всього періоду вегетації рослини.

За відношенням до температурної кривої розвитку рослини поділяються на 3 групи.

До першої групи відносяться всі рослини тропічного походження, які впродовж свого розвитку потребують майже однакової температури.

До другої групи відносяться зимуючі дворічні і озимі рослини, що розвиваються у помірному кліматі при поступовому зниженні температури восени і закінчують вегетацію навесні та влітку.

До третьої групи відносяться ярі культури помірних і субтропічних широт, які починають вегетацію при знижених температурах, але для подальшого розвитку потребують підвищених температур.

За рівнем температури початку і кінця вегетації рослини поділяються на 4 групи. До першої групи відносяться рослини, що починають свій розвиток за температури 5°C і вище; до другої – рослини, що потребують помірного тепла і розвиваються при температурі 10 °C; до третьої – теплолюбні рослини, що ростуть при температурі 15 °C. Це вимогливі до тепла рослини помірного поясу і рослини літнього періоду субтропічного поясу; до четвертої – дуже теплолюбні рослини тропічного поясу, що розвиваються за температури 20 °C.

Рослини також характеризуються визначеними біологічними мінімумами, максимумами та оптимумами температури.

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 вимірюється 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;
- сума температур за декаду, місяць, міжфазний та вегетаційний період.

У сільськогосподарському виробництві найчастіше використовуються значення середньої температури за декаду, міжфазний період, вегетаційний період розвитку рослин.

Вплив температури повітря на продуктивність рослин проявляється, перш за все, через вплив на інтенсивність фотосинтезу і дихання.

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

Рослини розвиваються тільки у тому випадку, якщо середня температура повітря сягає межі біологічного мінімуму.

Температурний режим вегетаційного періоду рослин досить повно характеризується динамікою сезонного ходу температури повітря і ґрунту, рівнем температури початку і кінця вегетації, максимальною і мінімальною температурами, діапазоном оптимальних температур, сумою температур, необхідною рослинам для всього періоду вегетації.

Дослідженнями О.О Шиголева, Ю.І.Чиркова, Є.С. Уланової та багатьох інших встановлено, що за достатніх умов зволоження тривалість міжфазних періодів залежить від середньої температури за період (рис.2.5).

Дослідженнями багатьох авторів були встановлені статистичні зв'язки залежності тривалості міжфазних періодів з середньою температурою за період. Особливо чітка залежність простежується у теплолюбних культур з біологічним мінімумом вищим за 10°С, табл.2.6.

Таблиця 2.6– Рівняння залежності тривалості міжфазних періодів томатів (У) від середньої температури повітря (t) за період

Сорти	Висадка розсади в ґрунт - цвітіння	Цвітіння – бланжова стиглість	Бланкова стиглість – повна стиглість
Ранньостиглі	$Y = -15,3t + 226,3$	$Y = -17,1t + 117,3$	$Y = -13,6t + 321,7$
Середньостиглі	$Y = -14,8t + 219,6$	$Y = -17,8t + 123,4$	$Y = -13,8t + 334,5$
Пізнньостиглі	$Y = -14,9t + 235,3$	$Y = -18,1t + 135,8$	$Y = -14,0t + 352,1$

Нижня межа температури життєдіяльності рослин визначається фізичним процесом замерзання клітинного соку в асимілюючих органах. Верхня межа життєдіяльності рослин зазвичай не перевищує 50 ... 55°С. Оптимальні температури життєдіяльності рослин відповідають кліматичним нормам. Ці межі не залишаються постійними.

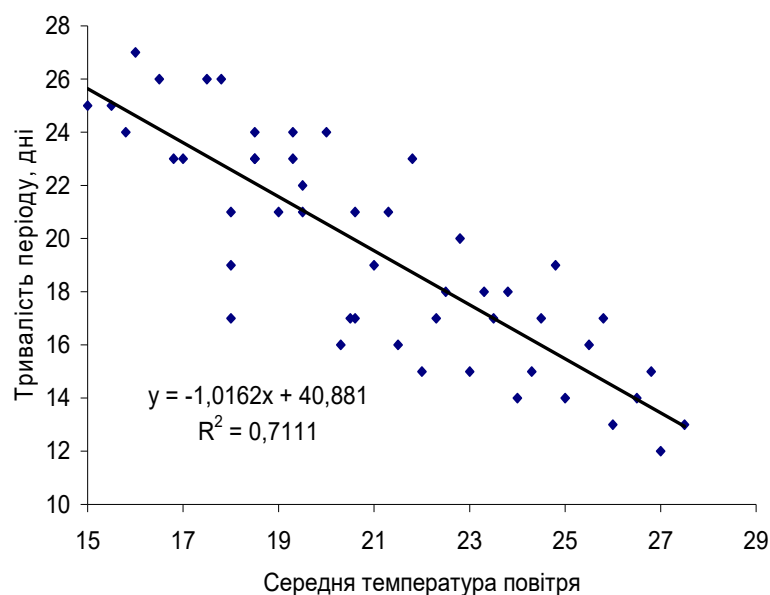


Рис. 2.5 – Залежність міжфазного періоду поява ниток – молочна стиглість кукурудзи від середньої температури повітря за період

Окрім середніх, максимальних і мінімальних температур для характеристики теплового режиму ще використовуються суми температур.

Відрізняють кліматичні і біологічні суми. *Кліматичні суми температур* – це суми температур вищі від 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. 2.7).

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 [1].

*Сума активних температур* – це показник, пропорційний кількості тепла і виражений сумою середніх за добу температур повітря або ґрунту, перевищуючий біологічний мінімум температури, встановлений для визначеного періоду розвитку рослин.



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.

Суми активних і ефективних температур мають екологічне значення через те, що відтворюють зв'язок рослини із середовищем мешкання. Значення сум температур залежить від широти місця та від його висоти над рівнем моря.

В районах достатнього зволоження і в районах зрошуваного землеробства продуктивність культур залежить від теплозабезпеченості вегетаційного періоду (рис. 2.6).

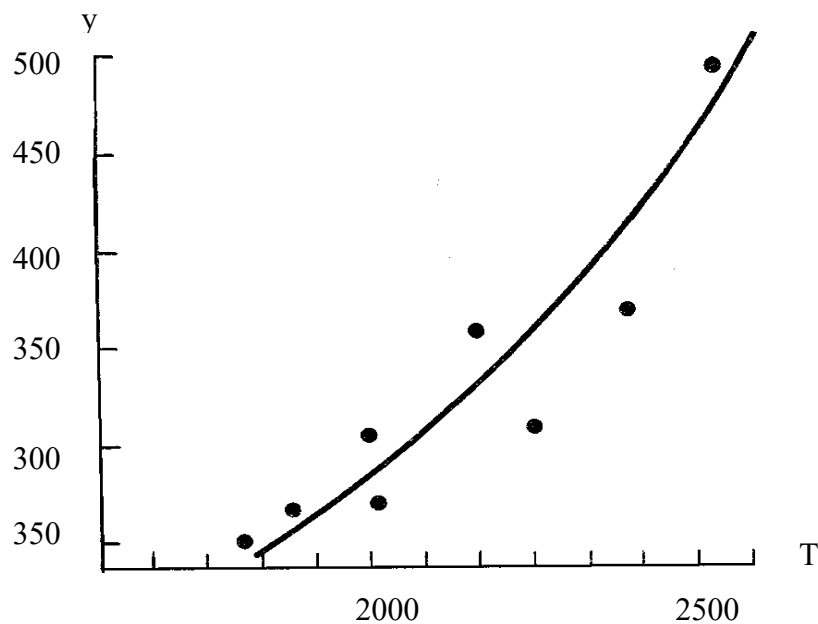


Рис. 2.6 – Залежність урожаїв огірків (у, ц/га) від сум температур за вегетаційний період (х, °С)

Для уточнення термічних умов, необхідних рослинам, користуються також сумами денних і сумами нічних температур.

Дослідження О.І. Руденко і З.А. Міщенко показали, що для більш досконалої оцінки впливу температури повітря на розвиток рослин необхідно враховувати окремо середні денні та середні нічні температури [4, 17].

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 від оптимальних значень температури для даної культури не сприяє прискоренню її розвитку.

Таблиця 2.7 – Біологічний мінімум температури у різні періоди вегетації, °С (за В.М. Степановим )

Культури	Поява сходів і формування вегетативних органів, °С	Формування генеративних органів, °С
<i>Зернові культури</i> (пшениця яра, жито, ячмінь)	4 – 5	10 – 12
Овес	4 - 5	10 – 12
Гречка	7 - 8	10 - 12
Просо	10 – 11	12 – 15
Кукурудза	10 – 13	12 – 15
Рис	14 – 15	18 – 20
Сорго	12 - 13	15 - 18
<i>Зернобобові</i>		
Вика	4 -5	10 - 12
Горох	4 - 5	8 – 10
Чечевиця	5 – 6	12 - 15
Люпин	10 – 11	8 – 10
Соя	12 – 13	15 – 18
Квасоля	12 – 13	15 – 18
<i>Олійні та прядивні</i>		
Рапс ярий	2 – 3	8 – 10
Соняшник	7 – 8	12 – 15
Льон кудряш	5 – 6	10 – 12
Льон- довгунець	5 – 6	10 – 12
Коноплі	2 – 3	10 – 12
Бавовна	14 – 15	15 – 20

Температури, що не сприяють прискоренню розвитку рослин, називаються *баластними* [18].

Діапазон дії (або зона толерантності) температури повітря (або іншого будь-якого чинника) обмежується крайніми пороговими значеннями температури, за якої можливе існування рослинного організму.

Точка на осі абсцис, що відповідає найкращим умовам життєдіяльності рослинних організмів, визначає оптимальне значення фактора. Одну точку визначити досить складно, тому, зазвичай, 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 і розповсюдження шкідників. Температура повітря зумовлює 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 і вживанні агротехнічних заходів.

Для оцінки загальних термічних ресурсів території використовується сума активних температур вищих за 10<sup>0</sup>С, оскільки за такого значення температури повітря активно відбувається вегетація більшості рослин. Для оцінки потреб рослин у теплі використовується *біологічна сума температур*, тобто сума температур повітря за вегетаційний період рослин, табл. 2.8.

Дослідження біологічних сум температур, виконані Д.І. Шашко і С.О.Сапожниковою [2, 18], показали, що вони змінюються в залежності від континентальності клімату.

Характеристика термічного режиму тієї чи іншої місцевості не вичерпується тільки середніми сумами температур періоду 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 [19] встановив, що розвиток весняних, літніх та осінніх процесів на великих просторах іде закономірно. Ця закономірність зумовлюється макропроцесами: надходженням сонячної радіації, циркуляцією атмосфери та особливостями підстильної поверхні. Тому темпи наростання тепла на весні змінюються мало, вони тільки зміщуються за часом.

Врахування температурного режиму, знання особливостей його формування на сільськогосподарських полях, в середовищі рослин, а також в умовах регульованого клімату (оранжереї, парники, теплиці тощо) важливе для отримання високих урожаїв.

Важливою ознакою впливу термічного режиму на урожайність сільськогосподарських культур є характеристики часового і просторового осереднення значень температури та врахування максимальних температур та біологічних екстремумів. Характеристику впливу температури на формування врожаїв сільськогосподарських культур у різні відрізки вегетаційного періоду добре показано в дослідженнях В.П. Дмитренка, табл. 2.9.

Оцінка ймовірності показників тісноти зв'язку за критерієм Фішера показала, що всі показники тісноти зв'язку, за винятком значень у IX-X

місяцях для озимого жита та у III-IV місяцях для ячменю, мають надійність не меншу ніж 95 %.

Таблиця 2.8 – Потреба сільськогосподарських культур в теплі(в біологічних сумах температур повітря )

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

Таблиця 2.9 – Зв'язок урожайності сільськогосподарських культур із температурою повітря (за Дмитренком В.П.)

Період	Місяці	Показники		Показники	
		середня температура, °С	кореляційне відношення	середня температура, °С	кореляційне відношення
Озима пшениця				Озиме жито	
1	VII-УІІ	19,5	0,21	18,9	0,28
2	ІХ-Х	10,8	0,10	10,2	0,03
3	ХІ	1,9	0,24	1,7	0,27
4а	ХІІ-ІІ	-4,0	0,53	-5,4	0,23
4	ІІІ-V	7,3	0,21	7,0	0,30
5а	VI	18,3	0,31	17,9	0,55
5	VII	20,0	0,24	19,3	0,62
Ярий ячмінь				Овес	
1	ХІІ-ІІ	-5,3	0,38	-4,0	0,45
2	ІІІ-ІV	3,8	0,08	3,7	0,20
3	V	14,5	0,32	14,5	0,25
4	VI	18,3	0,15	18,3	0,41
5	V	20,0	0,26	20,0	0,26
Просо				Кукурудза	
1	ХІІ-ІІІ	-3,1	0,28	-3,1	0,30
2	ІV-V	11,4	0,30	1,3	0,23
3	VI-VII	18,4	0,32	19,1	0,39
4	VIII	20,1	0,27	19,1	0,41
5				13,9	0,42

Криві продуктивності культури - це відношення урожаю культури, який утворюється за оптимального значення фактора до фактичної величини цього ж фактора в основні міжфазні періоди розвитку.

Як за ходом кривих продуктивності сумарної радіації, так і за ходом температурних кривих продуктивності можна зробити висновок, що оптимальні значення сумарної радіації й температури повітря служать динамічним показником умов формування врожайності.

Рослини реагують також на зниження температур, які спричиняють пошкодження рослин. Це пошкодження залежить від рівня температури, холодової експозиції, виду рослин і попередніх умов розвитку.

**Приклад.** Розрахувати тривалість міжазного періоду від куціння до виходу у трубку ярого ячменю, якщо куціння настало 20 травня, середня температура кінця травня- червень становила 18 °С. Сума ефективних температур за період куціння – вихід у трубку становить 330 °. Біологічний мінімум ячменю становить 5 °С. За формулою  $n = 330 / (18 - 5) = 25$  днів. Отже тривалість періоду від куціння до виходу у трубку становила 25 днів.

**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 частинки ґрунту, передачі тепла від однієї частинки до іншої, молекулярній теплопровідності у середовищі поміж частинками, теплопередачі на межі твердих частин і середовища, конвекції газів і вологи.

Денне нагрівання і нічне охолодження ґрунту спричиняють добові коливання його температури. Максимум температури на поверхні ґрунту спостерігається близько 13-ї 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 (рис. 2.7).

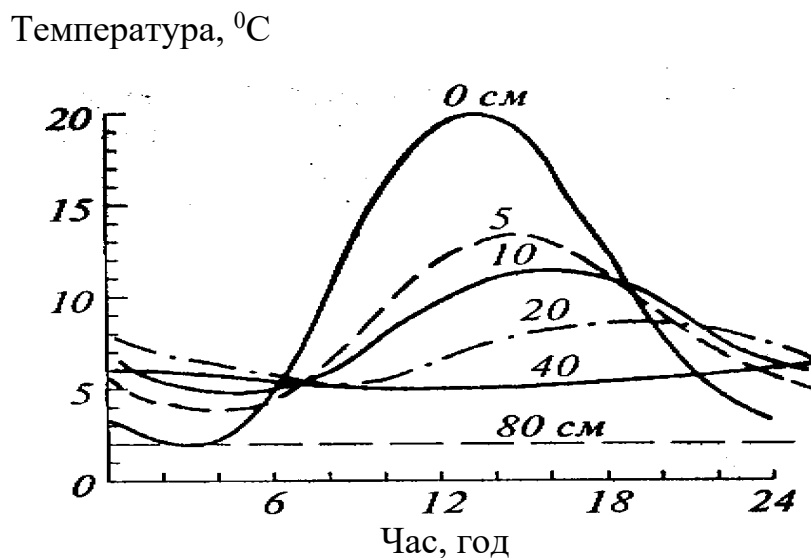


Рис. 2.7 – Добовий хід температури ґрунту на різних глибинах.

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 й теплопровідності. Теплоємність – це кількість тепла, необхідна для підвищення температури ґрунту на 1 °С. Теплоємність буває питома та об'ємна.

*Питома теплоємність* ( $C_{пит}$ ) – 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 м<sup>3</sup> ґрунту на 1 °С. Одиниця вимірювання питомої теплоємності – Дж/(кг·К), об’ємної – Дж/(м<sup>3</sup>·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/(м<sup>3</sup>·К), а теплоємність повітря – 1,2 кДж/(м<sup>3</sup>·К). Таким чином видно, що за однакової кількості надходження тепла сухі ґрунти нагріваються і охолоджуються більше і швидше ніж вологі [20].

Здатність ґрунту передавати тепло від шару до шару називається *теплопровідністю*. Мірою теплопровідності ґрунтів є коефіцієнт теплопровідності ( $\lambda$ ). Коефіцієнт теплопровідності – це кількість тепла в Дж, що проходить за 1 секунду крізь перетин основи стовпчика ґрунту діаметром 1 м<sup>2</sup> і висотою 1 м. Одиниця виміру  $\lambda$  – Вт/(м·К). Коефіцієнт теплопровідності залежить від пористості, вологості, температури і 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. 2.10.

Таблиця 2.10 – Теплофізичні характеристики і щільність основних компонентів ґрунтів (за де Фрізом)

Складові частини ґрунту	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Об’ємна теплоємність, кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	Коефіцієнт	
				тепло про- водності, Вт/(м·К)	температу ропрод- ності, м <sup>2</sup> /с
Пісок	0.74	$2.65 \cdot 10^3$	$2.0 \cdot 10^3$	8.80	$4.40 \cdot 10^{-6}$
Більшість ґрунтових мінералів	0.80	$2.65 \cdot 10^3$	$2.1 \cdot 10^3$	2.90	$1.40 \cdot 10^{-6}$
Органічна речовина	2.50	$1.10 \cdot 10^3$	$2.7 \cdot 10^3$	0.25	$0.09 \cdot 10^{-6}$
Вода	4.20	$1.00 \cdot 10^3$	$4.2 \cdot 10^3$	0.60	$0.14 \cdot 10^{-6}$
Повітря (t = 20°С)	1.00	1.20	1.20	0.03	$21 \cdot 10^{-6}$

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

Мірою температуропроводності ґрунту є коефіцієнт температуропроводності, що характеризує швидкість розповсюдження

тепла у ґрунті і визначається як відношення коефіцієнта теплопровідності ( $\alpha$ ) до об'ємної теплоємності ( $C_{об}$ )

$$K_T = \alpha / C_{об} \quad (2.20)$$

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 [20, 21]:

- 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.2.8).
- максимальні і мінімальні температури на глибинах настають пізніше.

Як видно з (рис. 2.8), 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.

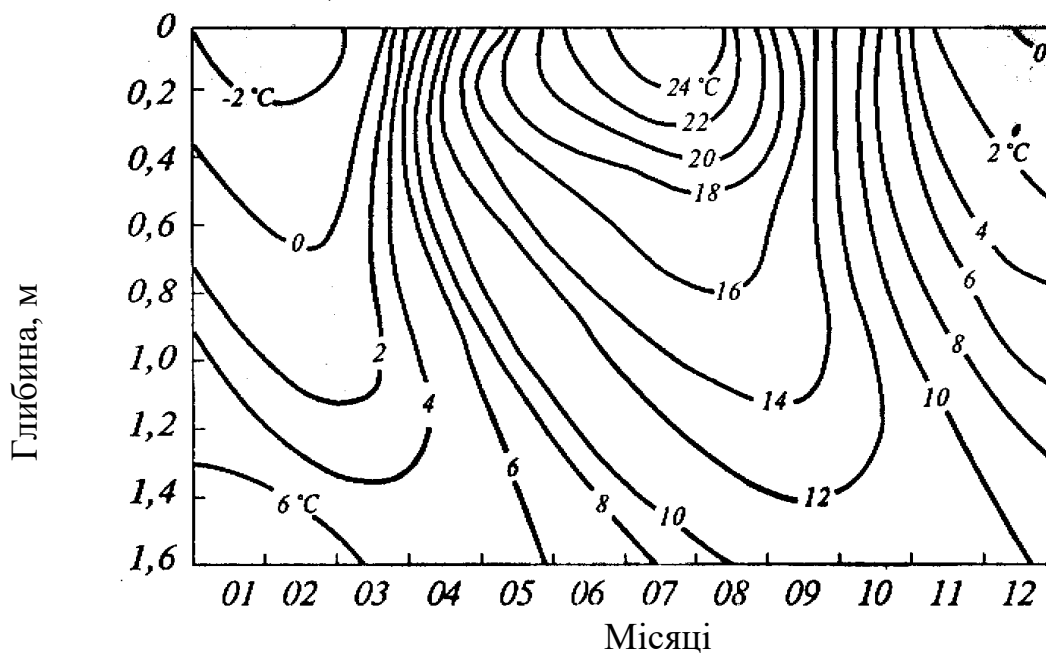


Рис. 2.8 – Термоізоплеті річного ходу температури ґрунту



Розподіл температури впродовж доби, декади, місяця, року розглядають за допомогою графіків (рис. 2.8), 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*.

Такі графіки використовують для визначення критичних температур вимерзання озимих культур, а також при розрахунках меліорацій, у комунальному господарстві та при будівництві шляхів [1].

На температуру ґрунту суттєво впливає рельєф. Навесні і восени південні схили вдень тепліші, а північні холодніші, ніж відкрите рівне місце. Це зумовлено 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 спричиняє 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 значною мірою визначає розподіл температури у міжлистковому 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 [1].

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. Шульгін встановив, 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. 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

грунту навесні призводить до загнивання і пошкодження насіння, що, в свою чергу, зумовлює зрідження посівів.

Проростання насіння зернових культур відбувається при температурі  $0 - 5^{\circ}\text{C}$ ; соняшнику, картоплі –  $5 - 8^{\circ}\text{C}$ ; кукурудзи, капусти –  $8 - 10^{\circ}\text{C}$ ; рису  $10 - 12^{\circ}\text{C}$ ; томатів, баклажанів, перцю –  $12 - 15^{\circ}\text{C}$ ; бавовни, гарбузів –  $13 - 15^{\circ}\text{C}$ ; динь, огірків –  $15 - 18^{\circ}\text{C}$ .

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 і хімічних процесах, які визначають напрям і швидкість перетворення питомих речовин у ґрунті. Встановлено, що при температурі ґрунту  $5^{\circ}\text{C}$  надходження азоту і фосфору в рослини в 3 рази менше, ніж при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ . Перетворенню елементів живлення на доступну для рослин форму сприяють мікроорганізми, активність яких збільшується при підвищенні температури [22, 23].

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.

**Тепловий баланс рослинного покриву.** Сонячна радіація і випромінювання атмосфери після поглинення рослинами і подальшого променистого обміну надалі витрачаються на фотосинтез, випаровування рослинами і ґрунтом, нагрівання рослин і т.ін. У загальному вигляді рівняння теплового балансу записано

$$R = P + LE + B + \Delta, \quad (2.21)$$

де  $R$  – радіаційний баланс;

$P$  – турбулентний теплообмін поміж підстильною поверхнею і атмосферою;

$LE$  – витрати тепла на випаровування;

$B$  – потік тепла в ґрунт;

$\Delta$  – тепло, що витрачається або виділяється при біохімічних процесах.

Окремо рівняння теплового балансу рослин і ґрунту мають вигляд:

$$R(l) = P(l) + LE(l) + B(l) + \Delta; \quad (2.22)$$

$$R(\Pi) = P(\Pi) + LE(\Pi) + B(\Pi) + \Delta. \quad (2.23).$$

При біохімічних процесах в природних умовах витрати енергії не перевищують 2% від величини радіаційного балансу, тому величина  $\Delta$  найчастіше не береться до уваги.

Знання закономірних зв'язків процесів теплообміну в середовищі мешкання рослин і коріння дозволить з'ясувати особливості мікрокліматичного режиму полів з різними сільськогосподарськими культурами, а також дасть можливість враховувати ці особливості при розробці методів прогнозів і регулювання середовища мешкання рослин.

Добовий хід радіаційного балансу  $R(l)$  і потоку тепла в ґрунт  $B(l)$  майже завжди визначається потоком сумарної радіації і умовами хмарності; в залежності від зміни  $R(l)$  і  $B(l)$  змінюються і витрати тепла на випаровування  $LE(l)$  та  $P(l)$ . Крім того,  $LE(l)$  змінюється в залежності від розвитку РП: чим більш розвинуте листя, тим більше  $LE(l)$ .

Як характеристика структури теплового балансу РП використовується співвідношення між окремими складовими:  $R$ ;  $LE$ ;  $P$ ;  $P/R$ ;  $P/LE$  (відношення Боуена). Величина  $P/LE$  тим більша, чим менше вологи в ґрунті і чим більше надходження сонячної радіації при незмінних вологозапасах. Якщо вологозапаси становлять 80% НВ і є добре розвинений РП, то спостерігаються близькі до 0 і навіть негативні значення  $P/LE$  [15, 24, 25, 26, 27].

Таке явище називають «оазисним» ефектом і воно виникає на добре зволоженому полі за високих температур, збільшення дефіциту насичення повітря вологою і швидкості вітру. Для визначення складових теплового балансу існують методи інструментальні і розрахункові.

Турбулентний потік теплоти  $P(l)$  і витрат тепла на випаровування  $LE(l)$  визначаються за допомогою теплових балансових спостережень. Найчастіше для визначення  $P(l)$  та  $LE(l)$  використовуються формули

$$P(l) = 1,35k_1 + \Delta t, \quad (2.24)$$

$$LE(l) = 2,1k_1 \cdot \Delta l, \quad (2.25)$$

де  $\Delta t$  і  $\Delta l$  – різниці температури повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ) і пружності водяної пари (мб) на рівнях 0,5 і 2,0 м;

$k_1$  – коефіцієнт турбулентності на висоті 1 м,  $\text{m}^2 \cdot \text{c}^{-1}$ , визначається при зміні швидкості вітру тільки на  $h = 1$  м рівнянням

$$k_1 = 0,16U_1 \cdot D[1 + 7,5(\Delta t / \Delta U^2)], \quad (2.26)$$

де  $U_1$  – швидкість вітру на висоті 1 м;  $D = 1/\ln(t/Z_0)$ .

При зміні швидкості вітру на висотах 0,5 і 2,0  $k_1$  визначають з виразу

$$k_1 = 0,104\Delta U \cdot m, \quad (2.27)$$

де  $\Delta U$  – різниця між швидкостями вітру на висоті 2,0 і 0,5 м;

$m$  – множник, який залежить від швидкості вітру і різниці температур повітря на рівнях 0,5 і 2,0 м.

Для визначення  $Z_0$  і  $D$  для різних поверхонь використовують дані табл.2.11.  $\Delta t$ ,  $\Delta l$  та  $\Delta U$  визначаються як різниця між вимірами на висоті 0,5 і 2 м.

Таблиця 2.11 – Параметр  $Z_0$  і коефіцієнт  $D$  для різних діючих поверхонь

Діюча поверхня	Висота нерівностей, см	$Z_0$ , м	$D$ , безрозм.
Гола поверхня твердого ґрунту	–	1	0,22
Чорний пар	6...10	2	0,26
Трава	6	1	0,22
Трава	6-15	2	0,26
Трава	16-25	3	0,29
Трава	26-35	4	0,31

Найбільш складним є розрахунок теплообміну в ґрунті.

Теплообмін в ґрунті здійснюється з допомогою теплопровідності вздовж елемента твердого скелету ґрунту, передачею тепла завдяки теплопровідності від однієї частини ґрунту до іншої, молекулярної теплопровідності, теплопередачі на межі твердих частинок і середовища, випромінюванням від частинки до частинки та ін [12].

Потік тепла  $B(l)$  в ґрунт через одиницю його поперечного перерізу в одиницю часу описується рівнянням

$$B(l) = -\lambda \frac{dT_n}{dZ}, \quad (2.28)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м<sup>1</sup>·град<sup>-1</sup>).

$$\lambda = K_T \cdot C'; \quad (2.29)$$

$$K_T = X[m_i(W_1 - W_n)^2 + 10^{-3} m_2 \rho_n + m_3] \cdot 10^{-7}; \quad (2.30)$$

$$C' = (C_n \cdot C_{вод} \cdot 0,01W) \rho_n, \quad (2.31)$$

де  $K_T$  – коефіцієнт температуропровідності,  $\text{Втм}^2/\cdot\text{с}^{-1}$ ;

$C'$  – об'ємна теплоємність ґрунту,  $\text{кДж} \cdot \text{м}^3, ^\circ\text{С}$ ;

$\rho_n$  – щільність ґрунту,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$C_n$  – питома теплоємність ґрунту,  $\text{кДж}/\text{кг}^{-1}, ^\circ\text{С}$ ;

$C_{вод}$  – питома теплоємність води становить  $4,19 \text{кДж}/\text{кг}^{-1}, ^\circ\text{С}$ ;

$m_i$  – коефіцієнт, що залежить від типу ґрунтів ( $i = 1, 2, 3, 4$ );

$W$  – вологість ґрунту, %.

Значення усіх теплофізичних характеристик  $\lambda$ ,  $K_T$ ,  $C'$  залежать від властивостей і стану ґрунтів – вологості, щільності, механічного складу, які змінюються з глибиною.

Із збільшенням вологості ґрунту  $\lambda$  і  $C'$  збільшуються, а із збільшенням  $\rho_n$  – зменшуються. Коефіцієнт температуропровідності  $K_T$  також залежить від вологості ґрунту та вмісту повітря в ньому. При малих значеннях вологості  $K_T$  зростає, із збільшенням вологості зростання  $K_T$  уповільнюється [25, 26, 28, 29].

Питома теплоємність ґрунту  $C_n$  залежить від механічного складу ґрунту і для різних ґрунтів значення  $C_n$  наведені в табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Питома теплоємність абсолютно сухого ґрунту при позитивних температурах (за А.Ф. Чудновським та Д.А. Куртєнер )

Тип ґрунту	Теплоємність, $C_n, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$
Звичайний чорнозем	1,05
Супісок	0,84
Пісок	0,75
Суглинок	0,96
Торф	2,18
Каштановий	0,84

Значення емпіричних коефіцієнтів у формулі (2.30) представлені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Емпіричні коефіцієнти для різних типів ґрунту (за даними Є.О. Іконникова)

Тип ґрунту	Значення $m_i$ при $i$			
	1	2	3	4
Звичайний чорнозем	-0,013	3,1	1,21	20
Темнокаштановий	-0,017	2,2	1,90	18
Сірозем	-0,0062	2,7	-0,20	18
Південний чорнозем	-0,0104	2,4	0,68	20
Дерново-глеюватий, Підзолистий	-0,020	3,1	1,40	20

Для розрахунку потоків тепла використовується формула (2.28) у тих випадках, коли відомий розподіл температур з глибиною, тобто при наявності теплобалансових спостережень.

Якщо температурне поле невідоме, то використовується рівняння теплопровідності ґрунту,

$$\rho_n C_n \frac{dT_n}{dt} = \frac{d}{dZ} \left( \lambda \cdot \frac{dT_n}{dZ} \right), \quad (2.32)$$

в якому ліва частина представляє собою зміну температури ґрунту за часом; права – приріст потоку тепла з глибиною. Р. Дж. Хенкс і Дж. Расмусен показали, якщо це рівняння (2.32) подати у залишковому вигляді, то

$$\frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{\lambda (T_{i-1}^j - 2T_i^j + T_{i+1}^j)}{(\Delta Z)^2}, \quad (2.33)$$

де  $i$  – індекси, що визначають шари ґрунту;

$j$  – верхні індекси, що визначають приріст з часом;

$\Delta t$  – відрізок часу;

$\Delta Z$  – відстань між шарами ґрунту, см.

Якщо визначити, що

$$\lambda [\Delta t / (\Delta Z)^2] = 0,5, \quad (2.34)$$

то рівняння (2.32) спрощується до вигляду

$$T_i^{j+1} = 0,5 (T_{i-1}^j + T_{i+1}^j) \quad (2.35)$$

Отримане рівняння використовується для розрахунку температури ґрунту на будь-якій глибині  $i$  в будь-який час в умовах невстановленого теплового потоку. Для розв'язання рівняння (2.32) необхідні початкові та межові умови, які можуть бути визначені у полі або розраховані з обмеженими припущеннями. У цьому випадку температура ґрунту за попередній час  $j$  є початковою межею для подальшого  $j+1$ .

Температура ґрунту в шарі  $i$  для часу  $j+1$  визначається як осереднена температура верхнього шару ґрунту  $i-1$  з температурою нижнього шару  $i+1$  за час  $i$  та ін.

Р.Дж. Хенксом і Дж. П. Ашкрофтом [77] отримані розрахункові дані температури ґрунту за початковими і межовими умовами (табл. 2.14).

Таблиця 2.14 – Розрахунок температури ґрунту за початковими і межовими даними (згідно з Р.ДжХенкс і Дж.П. Ашкрофт)

Час Доби	Почат- кові дані	$T_i^{j+1}$ при глибині, см									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
00	18,6	21,8	23,2	21,8	21,0	20,0	18,8	18,5	18,0	17,0	16,5
02	16,8	20,9	21,8	22,1	20,9	19,9	19,3	18,4	17,8	17,3	16,5
04	15,5	29,3	21,5	21,4	21,0	20,1	19,2	18,6	17,9	17,2	16,5
06	15,6	18,5	20,4	21,3	20,8	20,1	19,4	18,6	17,9	17,2	16,5
08	17,3	18,0	19,9	20,6	20,7	20,1	19,4	18,7	17,9	17,2	16,5
10	23,9	18,6	19,3	20,3	20,4	20,1	19,4	18,7	18,0	17,2	16,5
12	32,1	21,6	19,5	19,9	20,2	19,9	19,4	18,7	18,0	17,3	16,5
14	38,7	24,8	20,8	19,9	19,9	19,8	19,3	18,7	18,0	17,3	16,5
16	37,4	29,8	22,9	20,4	19,9	19,6	19,3	18,7	18,0	17,3	16,5
18	31,9	30,2	25,1	21,4	20,0	19,6	19,2	18,7	18,0	17,3	16,5
20	26,5	28,5	22,8	22,6	20,5	19,6	19,2	18,6	18,0	17,3	16,5
22	23,2	26,2	25,6	23,2	21,1	19,9	19,1	18,6	18,0	17,3	16,5
24	21,5	24,4	24,7	23,4	21,6	20,1	19,3	18,6	18,0	17,3	16,5

*Примітка:* Започатковані умови – температура на поверхні ґрунту за добу з інтервалом 2 год; температура в 00.00 годин на глибинах  $i$  температура на глибині 100 см.

**Приклад** розрахунку потоку тепла в ґрунт наводиться в табл. 2.15.  
Таблиця 2.15 - Розрахувати потік тепла в ґрунт.

Глибина, См	Температура ґрунту (°С) в строки спостережень, (21.05 – 31.05)						
	19	1	7	10	13	16	19
0	22,3	14,2	16,7	43,0	46,0	41,6	23,9
5	27,9	20,2	16,9	31,0	31,0	39,5	27,9
10	25,1	22,2	17,4	25,3	25,3	29,2	25,1
15	29,2	26,4	19,3	23,7	23,4	26,2	24,2
20	21,6	23,9	20,2	19,9	23,3	23,3	21,6
Розрахунок $\Delta t$							
$\Delta t_0$	-	8,1	2,5	19,4	6,9	1,4	18,5
$\Delta t_5$	-	7,7	3,3	7,3	6,8	8,5	11,6
$\Delta t_{10}$	-	2,9	4,8	2,9	5,0	3,9	4,1
$\Delta t_{15}$	-	5,8	4,1	0,1	4,0	2,8	2,0
$\Delta t_{20}$	-	2,3	3,8	0,8	3,9	0,0	1,7
Розрахунок $S, D(t)$							
$S_0$	-	13,3	4,1	34,6	11,3	2,4	15,0
$S_5$	-	51,7	22,0	48,3	44,6	56,6	18,9
$S_{10}$	-	10,2	16,4	10,2	17,2	13,6	14,4
$S_{15}$	-	17,8	12,3	0,3	12,2	8,6	6,0
$S_{20}$	-	0,2	0,3	0,1	0,3	0,0	0,1
$D(t)$	-	92,8	55,3	93,8	85,6	89,6	69,4
Величина		Строк, год.					
		1	7	10	13	16	19
$D(t)$		10,2	16,4	10,2	17,2	13,6	14,4
$D_n(t)$		0,2	0,3	0,1	0,3	0,0	0,1
$D(t)-D_n(t)$		10,0	16,1	10,1	16,9	13,6	14,3
$c$		13,8	22,2	13,9	23,3	18,8	19,7
$c \cdot [D(t)-D_n(t)]$		13,8	22,2	13,9	23,3	18,8	19,7

## Контрольні запитання

1. Що називається тепловим ежимом атмосфери?
2. Якими величинами характеризується температура повітря?
3. Дайте характеристику річного ходу температури повітря.
4. Як змінюється температура повітря з висотою?
5. На які групи діляться рослини по відношенню до тепла?
6. Що називається біологічною сумою температур?
7. Що називається біологічним мінімумом температури?
8. Дайте визначення активної і ефективної температури.
9. Чим визначається потреба рослин у теплі?
10. Що називається амплітудою температур?
11. Які температури називаються баластними для рослин?
12. Від яких факторів залежить нагрівання і охолодження ґрунту?
13. Що характеризує коефіцієнт теплопровідності ґрунту?
14. Як характеризується добовий хід температури ґрунту?
15. Які складові входять в рівняння теплового балансу ґрунту?
16. Як розраховується теплообмін у ґрунті?



### 2.2.3 Волога

Вода як екологічний фактор має найважливіше значення в житті всіх без винятку біологічних об'єктів. В тканинах рослин вона становить 70...95 % сирої маси. При зниженні кількості води в клітинах і тканинах до критичного рівня живі структури переходять в стан анабіозу.

Згідно з дослідженнями Польового В.В. (1989) в біологічних об'єктах вода виконує такі функції:

- вода – найважливіший розчинник і необхідне середовище для біохімічних реакцій;
- вода входить до складу молекул білків і бере участь в життєдіяльності клітинних структур;
- вода – метаболіт, тобто речовина, яка виникає в організмі в результаті обміну речовин і безпосередній компонент біохімічних процесів;
- вода – терморегулюючий фактор, який захищає тканини рослин від різких коливань температури;
- вода – добрий амортизатор при механічних впливах на рослини.

За потребою у воді рослини поділяються на 4 групи: *гідрофіти*, *гігрофіти*, *ксерофіти*, *мезофіти*.

1. *Гідрофіти*- рослини, які ростуть і вільно плавають у воді або укорінені на дні водоймищ (водяна лілія).

2. *Гігрофіти* – суходольні рослини, життєвий цикл яких здійснюється в умовах достатнього водопостачання і високої вологості повітря. Найбільш типовими гігрофітами є рослини вологої і теплої атмосфери тропічних лісів (папоротники, орхідеї), та світлолюбні рослини заболочених і перезволожених ґрунтів.

3. *Ксерофіти* рослини, які пристосувались до значної постійної або тимчасової нестачі води в ґрунті або в повітрі за рахунок обмеження випаровування, збільшення постачання води із ґрунту, створення запасів води під час тривалої перерви у водопостачанні. Це можливе через поширений розвиток кореневої системи. Ксерофіти найбільш поширені в степах, пустелях і напівпустелях.

4. *Мезофіти* займають проміжне положення між гігрофітами та ксерофітами. Вони найбільше розповсюджені в помірно-вологих місцях. Ця група рослин найбільше поширена в помірному кліматі. До неї відносяться дерева, чагарники, лукові і лісові трав'янисті види, бур'яни та культурні рослини, ефемери та ефемероїди. Ефемероїди – рослини з надзвичайно коротким періодом вегетації (30 – 50) днів. Вони характерні для пустель, напівпустель і сухих степів.

Значний вплив на формування запасів вологи в ґрунті, а отже і на урожай справляють опади. Опосередкований вплив опадів на ґрунтову вологу є головним, провідним для росту, розвитку і продуктивності

сільськогосподарських культур. Вивченням впливу опадів на урожай займалися Р. Слейчер, А.В. Федоров, О.С. Конторщиков, А.Г. Булавко та ін.[1, 30].

Вплив опадів на врожай виражається інтенсивністю, тривалістю та кількістю. Основна функція опадів є подвійною і полягає, по-перше, у забезпеченні рослин вологою, а також у наявності опосередкованого впливу опадів на формування продуктивності (рис.2.9).

В.П.Попов ввів поняття ефективних опадів, які визначаються як різниця між їх річною кількістю, випаровуванням і стоком. За даними В.П. Попова ефективні для формування врожаю опади становлять 20 – 30 % їх річної кількості.

А.Г. Булавко розподіляє опади на частки : опади, що спостерігались, опади затримані рослинами, активні опади та приведені.

Коефіцієнти акумуляції опадів застосовуються для оцінки їх частки, що спрямована на насичення ґрунту.

Уявлення про оптимальну кількість опадів для формування врожайності сільськогосподарських культур започаткував В.М. Обухов [1].

Показники опадів		
За елементами водного балансу		За урожайністю
Середнібагаторічні		Оптимальні
/		/
Ефективні		Критичний мінімум
/		/
Активні		Кліматичний мінімум
/		/
Акумульовані		Біологічний мінімум, оптимум, максимум

Рис.2.9 – Класифікація показників опадів для характеристики умов формування врожаю (за В.П.Дмитренком).

Під *оптимумом* опадів в даній місцевості в даний час для визначеної культури розуміється їх кількість, яка зумовлює максимальну врожайність.

*Біологічним мінімумом* опадів вважається їх відсутність. Під *біологічним максимумом* опадів вважається їх кількість, яка повинна бути адекватною кількості вологи, що заповнює кореневий шар до повної волого місткості з урахуванням випаровуваності, стоку та фільтрації.

А.М. Алпатьєв ввів поняття *критичного мінімуму опадів*, що являє собою суму опадів, яка забезпечує зволоження кореневого шару на рівні вологості в'янення [1].

Вологість ґрунту має надзвичайно велике значення у процесах росту, розвитку та формування продуктивності рослин.

Рослина впродовж всього періоду розвитку витрачає надземною частиною воду через транспірацію та випаровування. Поповнення тканин водою відбувається шляхом надходження її через коріння із ґрунту. Водний обмін рослин підтримується завдяки постійному припливу води, який знаходиться в рухливій рівновазі.

Рослина через коріння споживає воду до тих пір, поки сисна сила коріння може конкурувати із сисною силою ґрунту. Кількість надходження води в рослину залежить від розмірів сисної поверхні коріння, яка носить назву активної, від типу ґрунтів, концентрації клітинного соку, температури ґрунту і т. ін.

Активна поверхня коріння у трав'янистих сільськогосподарських культур становить приблизно  $1 \text{ см}^2/\text{см}^3$ . Більшість рослин розвивають сисну силу  $1 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5$  Па. Деякі трав'янисті рослини помірної зони здатні збільшувати сисну силу свого коріння до  $40 \cdot 10^5$  Па. Зменшення води в ґрунті призводить до різкого зростання сисної сили.

Для споживання води із теплого ґрунту необхідні менші сисні сили ніж з холодного. При температурі ґрунту близькій до  $0^\circ\text{C}$  більша частина води в ґрунті замерзає і стає недоступною до поглинання.

Інформації про властивості ґрунтової вологи накопичилось достатньо багато. Це дослідження А.А. Роде, О.І.Будаговського, С.О. Веріго, Л.О. Розумової, І.І. Судніцина, Л.С. Кельчеської, В.І. Конторщикова, А.М. Алпатьєва і ін. [20, 30, 31, 32, 33].

В тканинах рослини вода рухається від клітин з більш високим водним потенціалом до клітин, які мають нижче значення водного потенціалу.

Вода випаровується із всієї зовнішньої і внутрішньої поверхні рослини, які стикаються з повітрям. З поверхні рослини водяний пар надходить в повітря, з яким вона стикається та у вільний простір. Переміщення водяної пари від випаровуючих поверхонь рослини в напрямку вільного повітряного простору відбувається шляхом дифузії у відповідності із законом Фука. Тому і транспірацію можна розглядати як дифузійний процес: інтенсивність транспірації прямо пропорційна різниці між концентрацією водяної пари біля випаровуючих поверхонь і вмістом водяної пари в атмосфері.

Транспірація відбувається через продиhi в тканині рослини (продихова *транспірація*) і залежить вона від кількості продиhив в тканині рослини, розмірів продиhив, їх розташування.

Ще є *кутикулярна* транспірація, коли молекули води дифундують крізь кутикулярні шари зовнішніх стінок епідермісу і крізь кутикулу.

*Перидермальна* транспірація відбувається крізь обкоровані стебла (стовбури, гілля).

Крізь продиховий апарат проходить і дифузія водяної пари і  $\text{CO}_2$ , ці процеси взаємозв'язані. Щоб отримати  $\text{CO}_2$  рослини повинні віддати воду, а зменшення припливу води зменшує і приплив  $\text{CO}_2$ .

Відношення між витратами води і отриманою продукцією називається *транспіраційним коефіцієнтом*, або, інакше, *продуктивністю транспірації*. Кількість води, яка витрачається через транспірацію, компенсується такою ж кількістю води за рахунок поглинання її корінням.

Потреба у воді на утворення одиниці сухої маси неоднакова у різних видів рослин і дуже сильно залежить від умов мешкання і густоти травостою (табл.2.16).

Інтенсивність транспірації за достатньої зволоженості визначається метеорологічними умовами: інтенсивністю сонячної радіації, температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю вітру, типом ґрунту та його водним потенціалом [34].

Інтенсивність транспірації має добре виражений денний хід з максимальними значеннями від 12-ї до 16-ї години. Причому, денний хід транспірації найбільш відчутний в перші дні після зволоження ґрунту, в подальшому збільшення тривалості періоду після зволоження ґрунту в міру його висихання денний хід поступово згладжується і на десятий день добовий хід транспірації повністю згладжується.

Таблиця 2.16 – Середні витрати води на утворення 1 г сухої речовини, г (за О.Ф. Смаглієм).

Трав'янисті рослини	Витрати води	Листяні дерева	Витрати води
Рис	680	Дуб	340
Жито	630	Береза	320
Овес	580	Бук	170
Пшениця	540	Хвойні дерева	
Ячмінь	520	Сосна	300
Люцерна	840	Листвяниця	260
Конюшина червона	640	Ялина	230
Картопля	640	Теплолюбні рослини	
Соняшник	600	Кукурудза	370
Кавун	580	Просо	300
Бавовна	570	Амарант	300

Кожен вид рослин має свої особливості транспірації і свої потреби у воді. Потреба рослин у воді – це витрати води в польових умовах на транспірацію та випаровування з поверхні ґрунту за умови безперебійного постачання вологи до коріння рослин при визначених площах живлення, освітлення й агротехніки.

Окрім біологічних особливостей, потреба рослин у воді залежить від умов навколишнього середовища, тривалості вегетаційного періоду. За даними А.М. Алпатьєва витрати води за добу відрізняються у різних рослин на 10 %, а витрати води за вегетаційний період – на 36 ... 43 % ,табл. 2.17 [1].

Таблиця 2.17– Вплив тривалості вегетаційного періоду рослин на витрати води (за А.М. Алпатьєвим)

Культура	Тривалість вегетаційного періоду, дні	Витрати вологи, мм		Витрати вологи за добу, мм
		за весь період	в тому числі опади	
Овес – вика	67	182	92	2,7
Гречка	93	264	184	2,8
Ячмінь	97	264	187	2,7
Яра пшениця	101	271	187	2,7
Кукурудза	131	317	265	2,4
Цукрові буряки	154	407	305	2,6

Коефіцієнт водоспоживання (табл. 2.18) менш специфічний для культур і характеризує ефективність використання вологи агроценозом. Він більше залежить від природних і агротехнічних факторів, ніж коефіцієнт транспірації, помітно підвищується в зоні з недостатньою кількістю опадів. Зниження коефіцієнта водоспоживання досягається скороченням непродуктивних витрат вологи шляхом вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур. Коефіцієнт водоспоживання має важливе значення при розрахунку рівня можливої урожайності. В табл. 2.18 наведені найбільш типові коефіцієнти водоспоживання основних польових культур.

В умовах оптимального зволоження вологопотреба рослин дорівнює максимально можливому випаровуванню (випаровуваності). Сумарне випаровування залежить від стану розвитку рослин, зволоження ґрунту та метеорологічних факторів. Максимально можливе випаровування (випаровуваність) визначається за допомогою випарювача ГПІ 3000, який встановлюється на метеорологічних майданчиках, або за допомогою

грунтових випарників. Крім того, існує низка методів розрахунку випаровуваності, які в тій чи іншій мірі враховують значення метеорологічних величин. Відомі методи М.І Будико, Х.Л. Пенмана, формули яких ґрунтуються на матеріалах спостережень за радіаційним та тепловим балансом; метод А.І Будаговського, в формулу якого вводиться додатковий коефіцієнт, що враховує вплив не лінійності між часткою насичення водяної пари і температури випарної поверхні.

Таблиця 2.18 – Коефіцієнт водоспоживання сільськогосподарських культур, м<sup>3</sup>/т сухої біомаси (за О.Ф. Смаглієм, 2006)

Культура	Умови зволоження		
	вологі	середні	посушливі
Озима пшениця	375 - 450	450 - 500	500 - 525
Озиме жито	400 - 425	425 - 450	450 - 550
Яра пшениця	350 - 400	400 - 465	435 - 500
Ячмінь	375 - 425	435 - 500	470 - 530
Овес	435 - 480	500 - 550	530 - 590
Картопля	167 - 300	450 - 500	550 - 650
Цукрові буряки	240 - 300	310 - 350	350 - 400
Льон	240 - 250	300 - 310	370 - 380
Багаторічні трави (сіно)	500 - 550	600 - 650	700 - 750

В агрометеорології для розрахунків випаровуваності найчастіше використовуються методи А.М. Алпатьєва і Н.М Іванова [4,31,32].

Формула Н.М.Іванова

$$E_o = 0,0006 (25 + t)^2 (100 - a) , \quad (2.36)$$

де  $E_o$  – випаровуваність, мм;

$t$  – середня температура повітря за декаду, °С;

$a$  – середня відносна вологість повітря за декаду, %.

Формула А.М. Апатьєва

$$E_o = 0,65 \sum d , \quad (2.37)$$

де  $\sum d$  – сума дефіцитів насичення повітря за декаду.

Для сільськогосподарських рослин оптимальною вологістю вважається та, що забезпечує нормальні умови життєдіяльності (в першу чергу, нормальне обводнення клітин). Верхня межа оптимального

зволоження в зоні з глибоким заляганням ґрунтових вод становить близьке до значення (НВ) найменшої вологомісткості.

В умовах глибокого залягання ґрунтових вод насичення ґрунту вологою більше від 80 % загальної пористості ґрунту шкідливо впливає на рослини через зменшення запасів повітря в ньому.

Різке зниження урожаїв часто спостерігається за вологості ґрунту вищій за 90 – 100% повної вологомісткості, що відповідає запасам повітря в ґрунті 10 – 20 % об'єму ґрунту.

Верхня межа оптимальної вологості ґрунту визначається вимогами рослин до аерації або максимально можливим в польових умовах ступенем насичення водою зони розміщення коріння.

Нижня межа оптимальної вологості знаходиться в межах вище вологості стійкого в'янення. А.М. Алпатьєвим визначені межі оптимальної вологості для різних рослин, табл. 2.19.

Нижня межа для різних польових культур коливається в межах 70 – 75 %, для овочевих – від 75 до 80% найменшої вологомісткості. За вказаного ступеня насичення ґрунту вологою спостерігається високе обводнення клітин, що є необхідною умовою протікання процесів метаболізму культурних рослин.

Таблиця 2.19 – Оптимальна вологість для різних рослин (за А.М. Алпатьєвим)

Ґрунт	Культура	Нижня межа оптимальної вологості, % НВ	Періоди підтримки оптимальної вологості ґрунту
Сірозем важко суглинковий	цукрові буряки	75 – 80	з червня по вересень
Чорнозем важко суглинковий	цукрові буряки	75	з утворення 4 пари листків до середини серпня
Чорнозем суглинковий	яра пшениця	70 – 80	від кушіння до молочної стиглості
Чорнозем легкосуглинковий	яра пшениця	70 – 75	вихід у трубку – налив зерна, від початку цвітіння до плодоносіння. весь період те ж
	томати	75	
	огірки	80	
	капуста	80	
	люцерна на сіно	70-75	
	яра пшениця	70-75	Вихід у трубку – налив зерна

Пересування води в ґрунті і в рослині має складний характер, який визначається фізичними, хімічними властивостями ґрунту та морфологічними і фізіологічними особливостями рослин.

Встановлено, що потреба рослин у воді задовольняється повністю, якщо вологість важко суглинкових і глинистих ґрунтів становить не нижче 70 – 80% найменшої вологомісткості, легко – і середньо суглинкових – не менше 65 – 75 %, супіщаних – не нижче 50 – 60 %.

Режим споживання води рослинами різний за різних значень вологості ґрунту. Аналіз режиму валових витрат води рослинами по фазах розвитку показав, що впродовж вегетаційного періоду рослин є періоди, коли витрати води рослинами вищі ніж випаровуваність.

Це вказує на біологічну особливість споживання води і пояснюється біологічними кривими споживання води.

*Біологічні криві* споживання води являють собою ряд коефіцієнтів  $K$ , що змінюються в онтогенезі від декади до декади і розраховуються шляхом поділу валових витрат води ( $q$ ) за декаду або міжфазний період на суму дефіцитів насичення повітря ( $\sum d$ )

$$K = q / \sum d. \quad (2.38)$$

Середні значення біологічних коефіцієнтів для різних культур, отриманих різними авторами, наведені в табл.2.20.

Для розрахунків витрат води на випаровування за достатньої вологозабезпеченості й достатньої біологічної продуктивності фітоценозів суму середніх добових значень дефіцитів насичення повітря за декаду (в мм) необхідно перемножити на коефіцієнт біологічної кривої випаровування, який відповідає тій же декаді

Таблиця 2.20 – Середні коефіцієнти біологічних кривих споживання води

Культура	Декада вегетації								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ячмінь	0,4- 0,6	0,54	0,60	0,66	0,71	0,77	0,73	0,66	0,64
Картопля	0,3	0,4- 0,6	0,56	0,64	0,70	0,76	0,73	0,65	0,54
Цукрові буряки	0,22	0,26	0,31	0,39	0,49	0,65	0,72	0,80	0,78
Овочеві (томат, перець, баклажан)	0,41	0,47	0,60	0,73	0,81	0,82	0,79	0,65	0,56



Рослини впродовж вегетаційного періоду вимагають не однакового зволоження. В деякі періоди розвитку недостатня забезпеченість вологою призводить до різкого зменшення врожаю. Ці періоди П.І. Броунов назвав *критичними*. У різних рослин критичними бувають різні періоди розвитку, табл. 2.21.

Ф.Д. Сказкін встановив, що у одних і тих сортів однієї і тієї ж рослини критичними можуть бути різні періоди, але нестача вологи в ґрунті найбільш несприятлива в період формування репродуктивних органів, тобто «... Виявляється в період, коли в квітках, які утворюються, формується пилок, тобто в період від самого початку закладки тетрад до запліднення включно».

Таблиця 2.21 – Критичні періоди розвитку рослин по відношенню до вологи (за Ф.Д. Сказкіним)

Культура	Критичний період
Озиме жито, озима пшениця, яра пшениця, овес, ярий ячмінь	Вихід у трубку – колосіння
Кукурудза	Викидання волоті – молочна стиглість
Просо, сорго	Викидання волоті – молочна стиглість
Зернобобові, гречка	Цвітіння
Соняшник	Утворення кошика – цвітіння
Картопля	Цвітіння і формування бульби
Томати	Цвітіння і утворення зав'язі
Перець, баклажани	Утворення пуп'янків – 20 днів після цвітіння

Ефективність використання води рослинами залежить від процесів газо- та водообміну на різних рівнях організації рослини, фізичних і хімічних властивостей ґрунтів, ступеня розповсюдження коріння в ґрунті, наявності легко доступної води в шарах ґрунту, обміну  $H_2O$  між атмосферою і ґрунтом, мікробіологічної активності і динаміки мінералізації, кількості, якості й термінів внесення мінеральних добрив та ін.

Ефективність використання води рослинами можна підвищити шляхом введення інтенсивної технології вирощування сільськогосподарських культур в засушливих зонах і підвищенням густоти рослин в зонах помірного клімату.

Продуктивність сільськогосподарських культур залежить від вологозабезпеченості посівів. Як відомо, для життя рослин і формування їх урожаю необхідні чотири головні фактори: світло, тепло, волога та питома речовина. 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 і районах нестійкого зволоження ґрунту фактором, що визначає умови зростання та формування врожаїв сільськогосподарських культур, є забезпеченість посівів вологою, оскільки тепла у цих районах достатньо (рис.2.10).

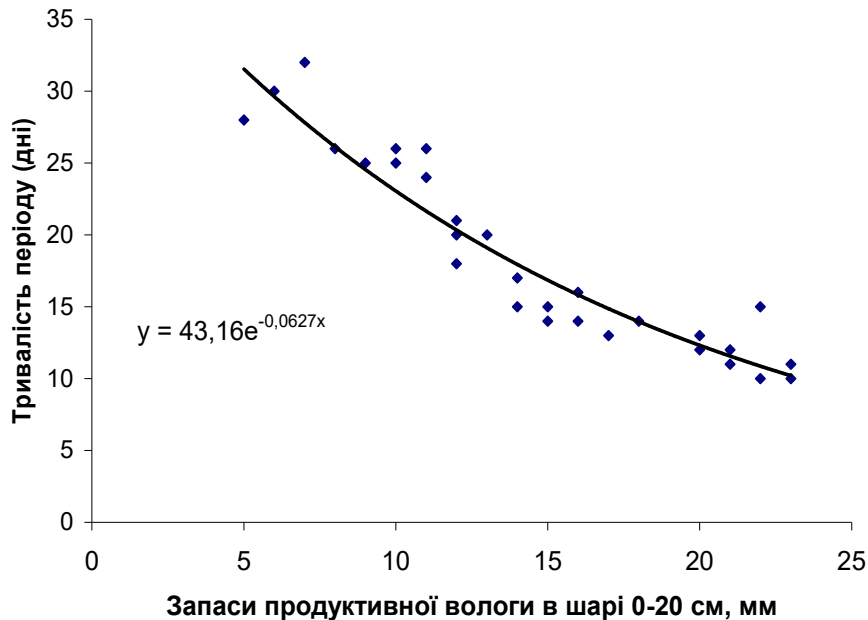


Рис. 2.10 – Залежність тривалості періоду сходи – вихід у трубку озимої пшениці від запасів продуктивної вологи в шарі 0-20 см

Л.О. Разумовою і Н.Б. Мещаніною [35] встановлено, що в посушливих умовах степу існує чітка залежність між величиною урожаю й кількістю спожитої рослинами води за вегетаційний період.

Оцінкою вологозабезпеченості посівів займалися багато дослідників: О.В. Процеров, О.С. Конторщикова, О.М. Конторщикова [1, 31, 35] та ін. Це дозволило розробити цілу низку методів, що дозволяють виконувати оцінку вологозабезпеченості сільськогосподарських культур в районах недостатнього та нестійкого зволоження.

*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 відношення випаровування до випаровуваності, а також у відсотках через ті ж величини [20, 36, 37].

Розрахунок вологозабезпеченості ( $I$ ) за сумарним випаровуванням і дефіцитом насичення повітря виконується практично для всіх

сільськогосподарських культур як відношення фактичного сумарного випаровування ( $E_{\phi}$ ) з поля, зайнятого культурою, до сумарного випаровування при оптимальних умовах зволоження ( $E_o$ ):

$$V = \frac{E_{\phi}}{E_o} \cdot 100 . \quad (2.39)$$

За сумарне випаровування при оптимальних умовах зволоження (потреба рослин у воді) береться випаровуваність, розрахована будь яким методом.

При виконанні розрахунків фактичне сумарне випаровування ( $E_{\phi}$ ) визначається за спрощеною формулою водного балансу:

$$E_{\phi} = (W_1 + x) - W_2 , \quad (2.40)$$

де  $W_1$  і  $W_2$  – запаси продуктивної вологи відповідно на кінець попередньої та початок поточної декади;

$x$  – сума опадів за декаду, мм.

Випаровування в оптимальних умовах зволоження (випаровуваність) можна розраховувати за будь-яким методом. В агрометеорології найчастіше використовується метод А.М. Алпатьяєва [31]. Він запропонував випаровуваність ( $E_o$ ) розраховувати через сумарний дефіцит насичення повітря ( $d$ ) з врахуванням коефіцієнтів біологічної кривої водоспоживання ( $K$ ) (формула 2.38).

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 зернових 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, і на 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.

Запаси продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами вимірюються інструментально безпосередньо на полях із сільськогосподарськими культурами. Але О.П. Веріго розробила статистичні залежності значень запасів продуктивної вологи на кінець будь-якого розрахункового періоду від початкових запасів продуктивної вологи будь-якого шару ґрунту, суми опадів за розрахунковий період і середньої температури повітря за цей же період та фази розвитку культури.

## Контрольні запитання

1. Яка волога називається продуктивною?
2. Як формуються запаси продуктивної вологи в ґрунті в різні пори року?
3. Від яких факторів залежить вміст води у ґрунті?
4. На які групи поділяються рослини за потребою у воді?
5. Що називається потребою рослин у воді?
6. Від яких факторів залежить потреба рослин у воді?
7. Що називається транспіраційним коефіцієнтом?
8. Як визначається верхня межа оптимальної вологості ґрунту?
9. Що характеризують біологічні криві споживання води?
10. В які періоди розвитку рослин споживається найбільше вологи?
11. Як впливає кількість спожитої води на величину урожаю?
12. Як визначається потреба рослин у воді?
13. Що називається вологозабезпеченістю рослин?

### 2.2.4 Ґрунти і мінеральне живлення

*Агротехніка* – це технологія землеробства, система засобів обробітку сільськогосподарських культур. Вона включає в себе такі головні заходи: обробіток ґрунту, внесення добрив, підготовку насіння до сівби, визначення оптимальних норм сівби, сівбу та посадку, догляд за посівами, збирання врожаю. До агротехніки відносять також снігозатримання, боротьбу з бур'янами, хворобами і шкідниками сільськогосподарських рослин та інші роботи. Однією з умов досягнення високої інтенсивності сільсько-господарського виробництва є забезпечення ґрунту необхідною кількістю поживних речовин. Ґрунт є активним середовищем живлення рослин і складається з органічних, мінеральних і органомінеральних компонентів, з яких під дією абіотичних і біологічних процесів продукуються доступні для рослин поживні речовини. Останні – основна складова частина, яка характеризує родючість ґрунту. Вона зумовлюється здатністю ґрунту забезпечувати рослини водою, повітрям (киснем), теплом (для коренів) та сприятливими фізичними і фізико-механічними умовами для росту і розвитку рослин. Родючість ґрунту – основна якісна ознака його, яка відрізняє ґрунт від гірської породи та пасивного субстрату [37].

При кореновому живленні рослини в основному поглинають з ґрунту хімічні елементи (макро-, мікро- та ультрамікроелементи), запас яких залежить від ємності вбирного комплексу твердої фази ґрунту і концентрації ґрунтового розчину. Продукування елементів

мінерального живлення рослин у ґрунті в основному відбувається за рахунок мінералізації органічних компонентів і рослинних решток (амоніфікація, нітрифікація), азотфіксації і розкладання мінеральних речовин мікроорганізмами. Запаси елементів мінерального живлення рослин у ґрунті поповнюються також за рахунок атмосферних опадів, поверхневих і ґрунтових вод та за рахунок господарської діяльності людини (внесення мінеральних добрив). Внесені органічні добрива теж мінералізуються з утворенням солей [22, 23, 38].

Великий вплив (позитивний і негативний) на запас речовин кореневого живлення має кругообіг речовин в природі – біологічний (асиміляція поглинутих іонів рослиною і повернення в ґрунт з біомасою) та геологічний. Останній зумовлюється виносом розчинних речовин поверхневою і низхідною течією води. Втратам ґрунтом речовин мінерального живлення рослин сприяють процеси переходу їх в газоподібну форму (денітрифікація) і виділення в атмосферу – водна і вітрова ерозії. Значна частина поживних речовин, яка відходить з урожаєм, випадає з малого біологічного кругообігу [38]. Так, виносення поживних елементів із ґрунту польовими культурами на 1 т продукції (кг з 1 га) складає досить значні величини (табл. 2.22).

Таблиця 2.22 – Винесення поживних елементів із ґрунту з урожаєм

Культура		N	H <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Озима пшениця	Зерно	35	12	25
Озиме жито	Зерно	26	12	26
Яра пшениця	Зерно	29	12	22
Горох	Зерно	–	13,5	25
Льон	Солома	14	7	12
Картопля	Бульби	5	1,8	8
Цукровий буряк	Коренеплоди	4,5	1,5	7,5
Кукурудза	Зелена маса	2,5	1	4
Конюшина	Зелена маса	–	1,2	5

У зв'язку з цим, забезпечення бездефіцитного балансу поживних речовин у ґрунті – важливе завдання регулювання поживного режиму.

*Макро- і мікроелементи в житті рослинного організму.* Для повноцінного живлення рослини використовують більшість із відомих хімічних елементів. Найважливіші із них 20 – 25 елементів, такі як азот, фосфор, калій, магній, цинк та ін. Азот, як основа життя, є складовою багатьох органічних сполук: амінокислот, амідів, білків, нуклеїнових кислот та їхніх похідних, алкалоїдів, хлорофілу, регуляторів росту,

ферментів тощо. У складі сухої речовини рослин його міститься від 1,5 до 5 %. Як нестача, так і надлишок азоту в ґрунті призводять до зниження продуктивності культури та погіршення якості врожаю. Він може реутилізуватися, відтікати із раніше утворених частин рослини у молоді, активніші органи. Тому нестача його насамперед проявляється на стані листків, які закінчили ріст. При цьому сповільнюється ріст стебла, листків і коренів. Пожовтіння листків (особливо нижніх) через розклад хлорофілу переходить у побуріння тканин та їх засихання, а ознаки передаються на подальший ярус. У злаків укорочується суцвіття (колос зверху, волоть знизу) і зменшується малоозерненість колосу. Формується щупле, неповне зерно. Характерне пожовтіння нижніх листків кукурудзи починається з верхнього кінчика листка, продовжується вздовж центральної жилки, причому краї листка деякий час залишаються зеленими. Оптимальне азотне живлення культури дає можливість максимально реалізувати потенціал сорту й одержати високоякісну продукцію [39].

*Фосфор* входить до складу нуклеїнових кислот, нуклеопротейдів, фосфатидів, сахарофосфатів, фітину та лецитину, тобто сполук, що відповідають за спадковість і перенесення генетичної інформації, беруть участь у процесах дихання, біосинтезі складних вуглеводів і перебігу фотосинтезу. Цей елемент – складова багатьох макроергічних сполук, таких як АТФ, АДФ та аденозинмонофосфат-АМФ, що є джерелами енергії в рослинному організмі.

У молодих рослинах фосфор легко переміщується із старих тканин у молодші, а при дозріванні більша частина засвоєного фосфору нагромаджується в насінні та плодах. Свідченням цього може бути наявність фосфору в складі золи насіння зернових і зернобобових культур у межах 40 – 45 %, соломи – в 3 – 5 разів менше. Кількість органічних сполук у рослинах різко переважає над мінеральними (в середньому 89% від загального фосфору). Цей елемент мало впливає на нагромадження білка у рослинах. У той же час достатнє фосфорне живлення збільшує частку генеративних органів у загальній біомасі врожаю, підвищує вміст крохмалю у продукції та цукру в коренеплодах, фруктах і овочах. Поліпшується також якість волокна у луб'яних культур. Дефіцит фосфору починає проявлятися з нижніх листків. Вони мають зелений колір із блакитним відтінком (за достатньої кількості азоту), але між жилками появляються бурі плями, які зливаються, і листок повністю засихає. Часто на стеблі й листі утворюється фіолетово-червоний відтінок, а краї листових пластинок загинаються догори. В цілому рослини відстають у рості та сповільнюється онтогенез [39].

*Калій* не входить до складу органічних сполук рослин. Він знаходиться в іонній формі. Цей елемент концентрується у цитоплазмі та вакуолях і відсутній в ядрі. До 20% калію утримується у клітинах в

обмінно-поглинутому стані колоїдами цитоплазми, до 1% необмінно поглинають мітохондрії, а основна частина (до 80%) знаходиться в клітинному соку і легко вимивається водою. В золі насіння зернових і зернобобових культур його міститься 30 – 40%, бульб картоплі та коренеплодів буряків до 40 – 60 %, а у листках більшості культур — 30 – 50 %. Слід зазначити, що в молодих частинах калію значно більше, ніж у старих. Він впливає на гідратацію колоїдів цитоплазми, що допомагає краще утримувати воду і переносити посуху, підвищує зимо- та морозостійкість рослин і стійкість проти грибних та вірусних захворювань.

Калій посилює синтез високомолекулярних вуглеводів (целюлоза, геміцелюлоза, пектинові речовини, ксилани), що зумовлює потовщення клітинних стінок соломини злаків і підвищення стійкості до вилягання, а в коноплі та льону поліпшується якість волокна. Під впливом калію посилюється нагромадження крохмалю у бульбах картоплі, сахарози в коренеплодах буряків і цукрів у плодах та овочах. Дефіцит калію порушує метаболізм у рослинах: ослаблюється діяльність деяких ферментів, погіршується вуглеводнево-білковий обмін, збільшуються втрати цукрів на дихання, що призводить до утворення щуплого зерна, зниження схожості та життєздатності насіння. Недостатнє калійне живлення призводить до збільшення грибкових захворювань і погіршення лежкості, а також може з'являтися “крайовий опік” нижніх листків. При хронічному калійному голодуванні призупиняється ріст стебел і міжвузлів, затримується дозрівання зерна і плодів [39].

*Бор* посилює ріст пилкових трубочок і проростання пилку, збільшуючи кількість квіток і плодів, поліпшує вуглеводний обмін і бере участь у білковому і нуклеїновому синтезі. Вважається, що основна фізіологічна роль цього елемента — регулювання кількості ауксинів та фенольних сполук. При його дефіциті порушується весь цикл обміну вуглеводів, формування репродуктивних органів, запилення та плодоношення. Особливо чутливі до бору дводольні. У них при його дефіциті нагромаджуються феноли, ауксини й порушуються нуклеїновий обмін і синтез білка.

Середній вміст бору в рослинах досягає 0,0001%. Як надлишок, так і дефіцит його у ґрунті призводить до значних втрат врожаю, погіршення його якості та лежкості продукції, можуть викликати захворювання тварин і людей. За нестачі бору в рослин пшениці формується дрібний колос із сухим “прапорцевим” листком; кукурудза набуває зовнішніх ознак, подібних до тих, що проявляються при калійному голодуванні; в овочевих культур на нижніх листках з'являється "крайовий опік", потім листки деформуються і висихають. Дефіцит цього елемента проявляється на підзолистих ґрунтах і тих, на яких проведено вапнування повними нормами. Основними негативними наслідками борного голодування є відмирання точок росту, зниження крохмалистості бульб картоплі та

цукристості коренеплодів цукрових буряків, погіршення якості волокна луб'яних культур. Нестача бору стимулює інтенсивний розвиток хвороб: парші картоплі, гнилі сердечка і сухої гнилі у коренеплодів, кореневої гнилі капусти, засихання верхівок тютюну, дуплистості турнепсу, відмирання точки росту соняшнику.

Фізіологічна роль *міді* значною мірою визначається її кількістю в складу білків та ферментів (до 50% загального вмісту міді у листках знаходиться в складі білка пластоціаніну). Вона посилює зв'язування молекулярного азоту з атмосфери, засвоєння азоту із ґрунту і добрив, нагромадження білків, знижує інтенсивність розпаду хлорофілу, дію на ріст високих доз рістактивуючих речовин; підвищує здатність рослин протистояти виляганню, їхню посухо- морозо- та жаростійкість. Наявність міді може погіршувати товарний вигляд картоплі і овочів через окислення мідьвмісного ферменту тирозінази. Дефіцит міді затримує ріст і цвітіння рослин, спричиняє хлороз, втрату тургору. У злаків при гострій її нестачі біліють кінчики листків і не розвивається колос (хвороба “біла чума”), а в плодкових проявляється суховершинність. Використання мідьвмісних добрив ефективніше на осушених торф'яниках, дерново-глейових, заболочених і легких ґрунтах. Найчутливіші до внесення міді злакові культури, трави, льон, коноплі, коренеплоди, соняшник і буряки. Потреба в міді зростає при застосуванні високих доз азотних добрив.

*Марганець* як високоактивний метал бере участь у реакціях біологічного окислення, фотосинтезі, відновленні гідроксиламіну до аміаку, перетворенні ди- і трикарбонових кислот при диханні, синтезі вітаміну С, поглинанні іонів із навколишнього середовища. Тому марганець відповідає за нагромадження та відтік цукрів у рослинному організмі, підвищуючи цукристість плодів і овочів, сприяє синтезу глютаміну, прискорює розвиток рослин та їхнє плодоношення. При дефіциті марганцю спостерігаються хлорози і плямистість листків, а при гострій його нестачі – повна відсутність плодоношення у редису, капусти, помідорів, гороху. Насамперед марганець слід вносити на сірих опідзолених ґрунтах, слабовилугуваних чорноземах, солонцюватих і каштанових ґрунтах. Особливо чутливі до його нестачі злаки, коренеплоди, картопля, трави. Так, приріст урожаю цукрових буряків при застосуванні марганцевих добрив у середньому становить 100 – 150 ц/га, а цукристість підвищується на 0,2 – 0,6%.

*Цинк* бере участь у фізіологічних процесах. За рахунок стабілізації дихання при зміні температурних умов підвищує жаро- та морозостійкість рослин, впливає на утилізацію фосфору в тканинах, активізує реакції утворення попередників хлорофілу. За його нестачі у рослині знижується вміст ауксинів, сахарози і крохмалю, підвищується вміст органічних кислот, порушується синтез білків — у тканинах нагромаджується небілкові розчинні сполуки азоту (аміди та амінокислоти), які можуть



порушувати технологічні процеси при переробці сировини ("шкідливий" азот в цукроварінні). Дуже чутливі до нестачі цинку плодови, особливо цитрусові, гречка, буряки, картопля, хміль, конюшина. Для них характерне гальмування росту. Нестача цинку може проявлятися як на кислих дуже опідзолених легких ґрунтах, так і на карбонатних чорноземах, бурих і сіроземах. Ці процеси посилює застосування високих доз фосфорних добрив [39].

*Молібдену* рослинам потрібно менше, ніж бору, марганцю, цинку та міді. В основному він локалізується у молодих частинах рослин. Цей елемент входить до складу нітратредуктази і бере участь у відновленні нітратів до нітритів та нітрогенази — ферменту, що відповідає за зв'язування азоту атмосфери при біологічній фіксації. Крім того, цей елемент задіяний у фотосинтезі, процесах дихання, біосинтезі нуклеїнових кислот, вітамінів і пігментів. Тому поряд із підвищенням урожайності він сприяє зростанню вмісту білка в продукції. Зовнішні прояви нестачі молібдену подібні до азотного голодування. Вона найчастіше проявляється на дерново-підзолистих, сірих опідзолених, чорноземних та осушених кислих торф'яниках. Ефективне застосування цього елемент під усі бобові культури, особливо на кислих ґрунтах.

Ефективність добрив визначається складним комплексом умов: родючістю ґрунту, біологічними особливостями сільськогосподарських культур, їх сортів і гібридів, агротехнікою, засобами, термінами, кількістю та якістю внесених добрив, кліматичними і погодними умовами.

З агрометеорологічного боку умови погоди впливають як на кількість доступних речовин у ґрунті, так і на дію добрив на рослини. До агрометеорологічних факторів, які визначають ефективність добрив, відносять рівень світлового живлення рослин, температуру та вологість повітря і ґрунту.

Згідно з Ф.М. Куперман продуктивність рослин є функцією відповідності рівнів світлового й мінерального живлення [46]. Чим більше рівень світлового живлення, тим більше при нормальному забезпеченні вологою синтезується вуглеводів у рослинах та тим більше азоту вони спроможні вживати. Світло впливає на азотне живлення не тільки через фотосинтетичні процеси, але й через транспірацію. В свою чергу транспірація, яка істотно впливає на транспортування рухомих мінеральних речовин, крім сонячної радіації, визначається вологістю та температурою повітря. При підвищенні вологості повітря рослини менш чутливі до зростання концентрації поживного розчину.

Температурний режим визначає накопичення рухомих речовин у ґрунті. Температура впливає на швидкість руху води та сольових розчинів, тобто на темпи надходження поживних речовин в рослини з ґрунту. За невисоких температур (8-10<sup>0</sup>С) зменшується надходження азоту в коріння та пересування його в надземні органи, послабшується редукція

поглинених нітратів і використання азоту на утворення органічних сполук. За більш низьких температур (5-6<sup>0</sup>С та нижче) поглинення корінням азоту та фосфору різко знижується [40]. Оптимальна температура для надходження азоту та фосфору в рослини знаходиться в межах 23-25<sup>0</sup>С.

Зростання дефіциту насичення повітря на 1 мбар у травні спричиняє зниження ефективності добрив у середньому на 0,4 ц/га.

Рівень забезпечення вологою ґрунту впливає на доступ поживних речовин у ґрунті, на використання їх рослинами. За значного дефіциту води у ґрунті добрива не дають позитивного ефекту і можуть негативно впливати на формування врожаю.

В кліматичному аспекті зменшення кількості опадів за рік від північних районів Європейської території СНД до південних на 100 мм зумовлює зменшення ефективності помірних доз добрив в середньому на 1,1 ц/га зерна, а для озимих культур в цілому на 1,0 ц/га. Зниження запасів продуктивної ґрунтової вологи за період вегетації зернових культур на 10 мм впливає на зменшення ефективності добрив в середньому на 0,1 – 0,3 ц/га [41, 42].

Принципова схема зв'язку ефективності добрив з вологістю ґрунту та його середньою об'ємною вагою представлена на рис.2.11.

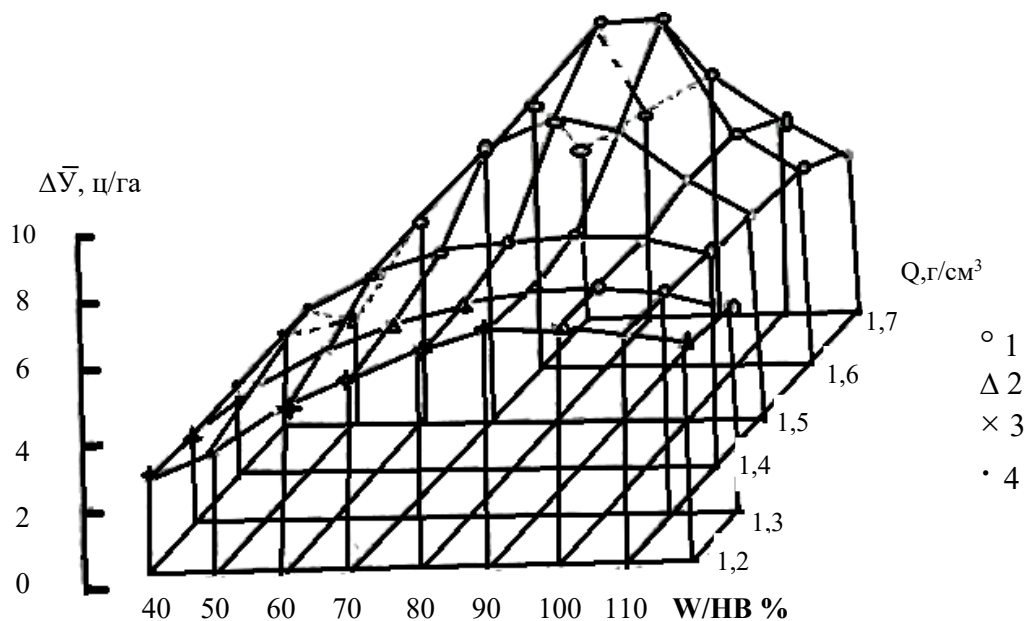


Рис. 2.11 – Схематична модель зв'язку ефективності добрив ( $NPK=120-180\text{кг/га}$ ) з волого запасами ґрунту в період вегетації зернових культур (у % НВ) та середньою вологою шару 0-100 см.

Надмірне зволоження порушує волого-повітряний режим ґрунту й тому знижує процес нітрифікації, зменшує надходження в рослини азоту та внесених добрив, сприяє накопиченню токсичних речовин.

Параметри структури і щільності ґрунту досить добре відображають умови життя рослин: комплекс фізико-хімічних властивостей ґрунту, доступність вологи, газообмін і біологічні процеси. Ефективність добрив відчутно збільшується із зростанням вологості до 90% найменшої вологоємності (НВ) в ґрунті менш щільного складу ( $Q = 1,2 - 1,3 \text{ г/см}^3$ ) й до 80% найменшої вологоємності на більш щільному ґрунті. Подальше зростання вологості ґрунту до 100-130% НВ приводить до незначного зниження ефективності у нещільному мінеральному ґрунті та до різкого – у підзолистому ґрунті.

Зв'язок ефективності добрив для зернових культур з вологозапасами має параболічний характер (рис.2.12.).

Найбільша ефективність добрив відзначається при вологозапасах ґрунту в середньому 80-90% НВ. Нижчий чи вищий рівень зволоження зменшує ефективність добрив.

Внесення різних доз азотних добрив впливає не тільки на збільшення абсолютної маси, але й на вміст білка у зерні

Вміст білка в зерні із зростанням дози азотних добрив зростає в усі роки. Найбільший вміст білка зерні спостерігається в сухі роки.

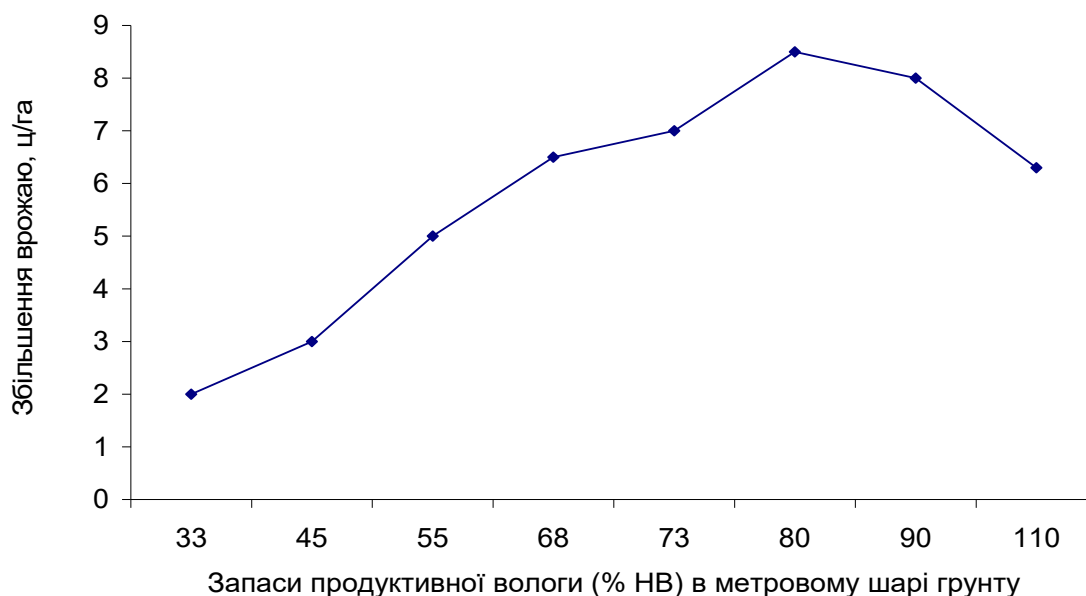


Рис. 2.12 – Залежність ефективності *NPK* ( $\Delta U$  ц/га) від запасів метрового шару ґрунту (у % НВ) за період вегетації зернових культур.

Добрива підвищують стійкість озимих культур до несприятливих умов зимівлі. Рослини розвивають більш міцну кореневу систему, більше

накопичують сухих речовин, цукру та інших органічних сполук, які ослаблюють дію несприятливих метеорологічних умов зимового періоду.

У табл.2.23 наводиться ефективність добрив у зв'язку з умовами зволоження травня-липня [36].

Правильне застосування добрив послаблює вплив несприятливих погодних умов на врожай. Застосування добрив зменшує також негативний вплив на врожай низьких температур, заморозків та інших несприятливих метеорологічних явищ.

В цілому зв'язок ефективності добрив з метеорологічними факторами характеризується такими коефіцієнтами кореляції (табл.2.24).

Таблиця 2.23 – Середня ефективність *НРК* для нечорноземної зони у зв'язку з умовами травня – липня

Зволоження	Середня кількість опадів, мм		Середній дефіцит насичення повітря, мб		Середній приріст врожаю від <i>НРК</i> , ц/га					
	За найбільш				озима пшениця		озиме жито		ранні ярі колосові	
	вологий місяць	сухий місяць	вологий місяць	сухий місяць	суглинки	супіски	суглинки	супіски	суглинки	Супіски
нормальне	80	40	5,6	6,8	8,7	8,1	7,9	7,6	8,3	7,2
недостатнє	75	20	6,2	8,7	4,4	-	4,1	5,0	4,1	4,1
надмірне	125	50	5,2	6,2	5,2	9,7	5,2	5,9	6,0	7,0

За дослідями О.І.Коровіна [36] оцінка ефективності добрив як функції метеорологічних факторів та окремих агрохімічних властивостей ґрунту може бути виконана на базі таких рівнянь регресії:

1) середня ефективність помірних доз добрив для озимих зернових культур

$$\Delta y = 0,0142P + 1,835Q - 0,46d - 1,407; R = 0,83; S_y = \pm 1,13 \text{ ц/га} \quad (2.41)$$

2) середня ефективність помірних доз добрив для ярих зернових культур

$$\Delta y = 0,0047P + 0,0065Q + 1,0W/НВ - 0,24t - 0,00083\sum t + 7,71, \quad (2.42)$$

де  $\Delta u$  – середня багаторічна ефективність добрив, ц/га;  
 $P$  – кількість опадів, мм;  
 $W$  – середні за вегетаційний період запаси вологи у ґрунті, мм;  
 $d$  – середній дефіцит насичення повітря за вегетаційний період, мб;  
 $t$  – середня температура повітря, °С;  
 $\sum t$  – сума негативних температур повітря за зиму, °С;  
 $Q$  – об’ємна вага метрового шару ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Таблиця 2.24 – Коефіцієнти кореляції ефективності середніх норм мінеральних добрив і метеорологічних факторів

З о н а	метеорологічні фактори				
	Опади, мм	Вологість ґрунту, мм	Темпера- тура по- вітря, °С	Дефіцит насичення повітря, мб	Комплекс погодно- кліматичних умов
Нечорноземна	0,20-0,50	0,30-0,53	0,20-0,25	0,40-0,46	0,50-0,81
Чорноземна	0,30-0,78	0,60-0,70	0,30-0,40	0,30-0,50	0,60-0,86

**Ефективність добрив і континентальність клімату.** Було встановлено, що при просуванні на південний схід і схід в межах Європейської частини СНД у зв’язку з посиленням континентальності клімату ефективність добрив зменшується. На азійській території СНД зниження дії добрив спостерігається із сходу на захід [43].

В кліматології континентальність клімату розглядається як сукупність характерних особливостей клімату, які формуються під впливом материка. До цих особливостей відносяться: зростання у порівнянні з океанічними районами річних і добових амплітуд температур і відносної вологості повітря, зменшення опадів при збільшенні їх нерівномірності, зменшення відносної вологості повітря і хмарності влітку і вдень, зменшення швидкості вітру та ін.

Кількісно континентальність клімату характеризується величинами річної амплітуди температури повітря, повторністю вторгнення континентальних і морських повітряних мас та іншими показниками.

Найчастіше для розрахунку показника континентальності клімату використовується вираз:

$$\kappa = \frac{A_u - 5,4 \sin \varphi}{A_u} \quad (\text{за С.П.Хромовим}) \quad (2.43)$$

або

$$\kappa = \frac{A_u + A_q + 0,25d_o}{0,36\varphi + 14}, \quad (\text{за А.М.Івановим}), \quad (2.44)$$

де  $A_u$  – річна амплітуда температури,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_q$  – добова амплітуда температури,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$d_o$  – нестача насичення вологості повітря у найсухіший місяць, мб;

$\varphi$  – широта місцевості.

Зв'язок ефективності добрив з континентальністю клімату для Європейської частини СНД має вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta y &= 0,0036 P_{\text{IV-X}} + 0,02 P_{\text{XI-III}} + 0,055(W/\text{HB}) + 6,29 e_{\text{V-VII}} + \\ &+ 0,217 e_{\text{V-VII}}^2 + 46,48 KL + 0,099 V - 0,059 S - 0,061 P_o N + 76,04; \quad (2.45) \\ R &= 0,87; \quad S_y = \pm 1,24 \text{ ц/га}, \end{aligned}$$

де  $\Delta y$  – середня багаторічна ефективність добрив під зерновими культурами, ц/га;

$P$  – кількість опадів у різні періоди року, мм;

$W/\text{HB}$  – відношення середніх за вегетаційний період запасів продуктивної вологи до найменшої вологості ґрунту, %;

$e$  – абсолютна вологість повітря, мб;

$V$  – міра насиченості ґрунту основами, %;

$S$  – сума поглинених основ, (мг на 100 г);

$KL$  – вміст калію в ґрунті, (мг на 100 г);

$P_o N$  – вміст рухомого фосфору в ґрунті (мг на 100 г).

Для Нечорноземної зони коефіцієнт континентальності клімату становить 0,800 - 0,830, для чорноземної зони – 0,840 - 0,880.

### **Приклад розрахунку:**

Розрахувати середню ефективність добрив для озимої пшениці на ст.Одеса:

а) *Озима пшениця* : сівба - 14.IX; сходи - 28.IX; 3-й лист - 8.X; кущіння - 17.X; припинення вегетації - 20.XI; відновлення вегетації - 26.III; вихід в трубку - 23.IV; колосіння - 25.V; цвітіння - 1.IV; молочна стиглість - 16.VI; воскова стиглість - 28.VI; повна - 2.VII.

Сума опадів за рік ( $P_{\text{рік}}$ ) становить 350мм. Сума опадів за вегетаційний період ( $P_{\text{IV-X}}$ ) – 267мм;  $P_{\text{XI-III}}$  – 150мм. Об'ємна вага метрового шару ґрунту ( $Q$ ) – 15,1 г/см<sup>3</sup>. Найменша вологості ґрунту (HB) – 160,3 мм.

Середня багаторічна дата сівби озимої пшениці припадає на 14 вересня; дата повної стиглості – на 2 липня. Дати припинення вегетації – 29 листопада, відновлення вегетації – 26 березня.

Середній дефіцит насичення повітря за вегетаційний період ( $d$ ) складає 6,9мб. Запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту ( $W_{0-100}$ ) становлять за вегетаційний період 93,3 мм.

Середня температура повітря з травня до липня ( $t$ ) складає 18,7<sup>0</sup>С, сума негативних температур за зиму ( $\Sigma t$ ) – 197,3<sup>0</sup>С.

Таким чином, ефективність добрив за рівнянням (2.41) О.І. Коровіна ] для озимої пшениці становить:

$$\Delta y = (0,0142 \cdot 350) + (1,835 \cdot 15,1) - (0,46 \cdot 6,9) - 1,407 = 28,09;$$

$$\Delta y = 28,09 \text{ ц/га}$$

б) *Ячмінь*: сівба - 28.III; сходи - 15.IV; 3-й лист – 24.IV; кущіння - 1.V; вихід в трубку - 15.V; колосіння - 5.VI; цвітіння - 12.VI; молочна стиглість - 22.VI; воскова стиглість - 2.VII.

$$S = 2150; P_0N=194; KL = 0,279; V=2,23.$$

Розрахунки виконуються за формулою (2.38).

$$\begin{aligned} \Delta y &= (0,0036 \cdot 267) + (0,02 \cdot 150) + (0,055 \cdot (93,3/160,3)) + (6,29 \cdot 6,9) + \\ &+ (0,217 \cdot 6,9^2) + (46,48 \cdot 0,279) + (0,099 \cdot 2,23) - (0,058 \cdot 2150) - \\ &- (0,061 \cdot 194) + 76,4 = 9,06; \end{aligned}$$

$$\Delta y = 9,06 \text{ ц/га}$$

**Агрометеорологічні умови та оптимізація строків і доз живлення.** Фосфорно-калійні добрива завжди вносять під озимі зернові восени перед оранкою. Азотні добрива восени вносять тільки у районах з сухим осінньо-зимовим періодом. У районах з великою **кількістю опадів** внесення азотних добрив переноситься на весну. Ефективність весняних підживлень азотними добривами залежить від типу погоди. Помірна і надмірна дощова погода обумовлює більшу ефективність підживлення навесні та влітку, а ніж суха погода.

Схема визначення ефективності азотних добрив та збільшення врожаю при їх внесенні розроблена О.П.Федосєєвим, табл. 2.25 [1].

На ефективність підживлень азотом значною мірою впливають умови перезимівлі рослин. За сприятливих умов перезимівлі ефективність підживлень у 2-3 рази вища ніж після холодних (вимерзання) або теплих (випрівання) зим, табл. 2.26.

*Зовнішнє підживлення* озимих культур азотом завжди виконується в ранні строки, одразу ж після сходу снігу на початку вегетації культур. Дуже раннє підживлення призводить до великих втрат азоту через вимивання з кореневого шару внутрішнім ґрунтовим стоком, а також до газообмінних витрат. Найбільш значне підвищення врожаїв озимої пшениці спостерігається, якщо азотне підживлення проводиться у період відновлення вегетації. Розрахована ймовірність відновлення вегетації в Нечорноземній зоні, табл. 2.27.

Таблиця 2.25 – Середнє збільшення врожаю ( $\Delta y$ ) озимої пшениці та ймовірність успішності внесення азотних добрив (30-80 кг/га діючої речовини – д.р.) (за О.П. Федосєєвим)

Зона, Район	$\Delta y$ , ц/га		Ймовірність, %		
	голове внесення	весняне підживлення	переважність головного внесення	переважність весняного підживлення	рівно- значність заходів
<b>Європейська частина СНД</b>					
Нечорноземна	5,3	6,8	18	48	34
Чорноземна	4,2	3,2	42	23	35
Республіки Балтії	4,0	4,8	27	44	29
Білорусь	5,9	10,1	8	75	17
Нечорнозем'я Центр	6,9	7,7	17	49	34
Нечорнозем'я Північний схід	4,4	4,6	19	26	55

Таблиця 2.26 – Ефективність азотних добрив ( $N_{30-80}$  кг/га д.р). (по фоні РК) під озимі культури навесні (нечорноземна зона)

Умови перезимівлі	Сприятливі	Вимерзання	Випрівання
Приріст врожаю, $\Delta y$ , ц/га	6,5	2,8	2,3

Від сходу стійкого снігового покриву до відновлення вегетації озимих у Нечорноземній зоні проходить 10-20 днів і накопичується сума позитивних температур 35-55<sup>0</sup>С.

Вищеописані дослідження [22, 23] і прогноз погоди дають можливість визначити найсприятливіші строки початку азотного підживлення озимих культур в умовах кожного року.

Друге підживлення озимих зернових культур найкраще проводити у фазу виходу рослин у трубку.

При визначенні оптимальних доз азотних добрив для *весняного підживлення* озимих враховуються опади за осінній (з серпня до переходу температури повітря через 5<sup>0</sup>С) та зимовий періоди (з наступної декади



після переходу температури повітря через 5<sup>0</sup>С восени до січня або ранньої весни) (рис.2.13).

Таблиця 2.27 – Ймовірність (%) настання дат відновлення вегетації озимих зернових культур (по п'ятиденках)

Середня дата відновлення вегетації	Ймовірність, %											
	Березень			Квітень						Травень		
	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3
30.IV					4	4	7	9	29	19	19	9
25.IV					7	3	29	11	34	8	8	–
20.IV				4	9	18	27	18	14	9	2	–
15.IV			4	8	19	16	28	14	9	2	–	–
10.IV		4	10	11	23	26	20	3	3	–	–	–
5.IV		5	8	23	22	12	15	15	–	–	–	–

Оскільки строки настання весняної вегетації, тобто весняного підживлення рослин, значно відрізняються по різних зонах СНД, то період врахування опадів за холодну пору року неоднаковий.

У нечорноземних районах Європейської частини СНД з переважно дерново-опідзоленими та сірими лісними ґрунтами опади враховуються за період від 1-го серпня до 1-ої весняної декади з середньою температурою повітря 5<sup>0</sup>С. У лісостепових і степових районах з вилуженими, типовими, звичайними і південними чорноземами опади підраховуються включно до січня. О.П.Федосєєвим побудовані графіки (2.13, а, б, в, г) розрахунку доз раннього весняного підживлення азотом. Різні поєднання осінніх і зимових опадів утворюють чотири зони (I–IV). Кількість опадів восени відкладається на вертикальній осі графіків, а зимові та весняні опади – на горизонтальній. Точка перетину цих значень опадів буває в тій чи іншій зоні графіка і визначає оптимальну дозу азотних добрив на 1 га.

Зона III відображає умови зволоження, за яких треба вносити середні дози азотних добрив. Це проводиться у господарствах з врахуванням попередників, агрохімічних властивостей ґрунту, стану посівів і т.д. для запланованого врожаю. Якщо значення осінніх та зимових опадів попадають у зону III, то поправка до встановлених доз на зволоження не вноситься. Якщо ж точка перетину попадає в II-гу зону, то пропонується зменшити дозу азоту, встановлену з урахуванням агрохімічних та агрономічних умов. Якщо точка перетину попадає у IV зону, то дозу азоту збільшують, але не вище від верхньої межі дози, визначеної для врожаю

певного рівня. Якщо ж опадів зовсім мало, то весняне підживлення азотом не ефективне.

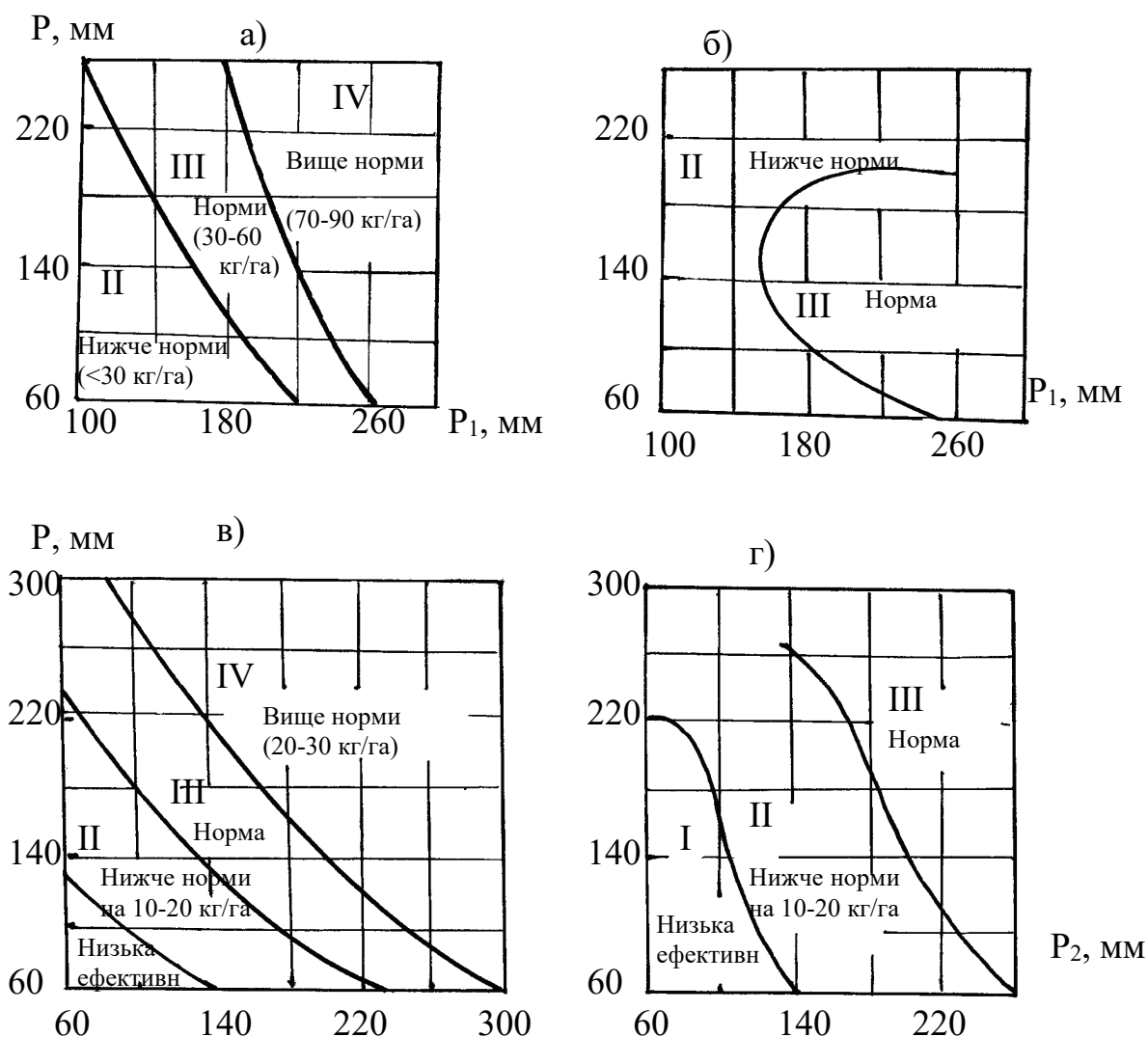


Рис. 2.13 – Поправки до встановлених доз весняного підживлення азотом озимих зернових культур:

- а, б – нечорноземна зона:
  - а) по зайнятих парах і непарових попередниках;
  - б) по чистих парах;
- в, г – чорноземна зона:
  - в) по зайнятих парах і непарових попередниках;
  - г) по чистих парах.

В залежності від умов зволоження весняне підживлення на зайнятих парах і непарових попередниках доцільне у всі роки тільки північніше лінії Житомир – Гомель – Брянськ – Казань; на території України та ЦЧО – у 80-90% років, зменшуючись на південний схід до 30-40% років.

Змінюються також дози весняного живлення азотом на чистих парах і полях з органічними добривами. Вони зменшуються в середньому на 20% в залежності від зволоження ґрунту.

Таким чином, пропозиції щодо проведення весняного азотного підживлення озимих культур повинні чітко диференціюватись в залежності від ґрунтово-кліматичних умов, а дози їх щорічного внесення корегуватись з врахуванням зволоження.

*Літнє живлення.* О.П.Федосєєвим і З.А.Шостак [42] встановлено, що літнє підживлення рослин азотом збільшує врожай на 2,6-4,6 ц/га, а вміст протеїну в зерні – на 1,5-3,5%.

Пізнє підживлення проводять сухими легко розчинними азотними туками або їх розчинами. Підживлення сухими туками називають кореневим, а розчинами туків – зовнікореневим підживленням.

Азотний обмін представляє собою єдиний кругообіг речовин, який проходить через надземні органи та коріння. Синтетичні процеси у корінні рослин інтенсивно проходять тільки при оптимальному їх водопостачанні. В умовах підвищеної (90% повної вологості) та зниженої (40%) вологозабезпеченості рослин синтез органічних азотних сполук уповільнюється [37].

Дослідами та багаторічною практикою встановлено, що підживлення сухими туками для підвищення вмісту білка у зерні пшениці треба проводити у період колосіння-цвітіння, зовнікореневе в період колосіння-молочна стиглість. Літнє підживлення проводять карбамідом (сечовиною) або аміачною селітрою.

Оскільки азот сухих туків попадає в зону діяльності коріння з водою, то ефективність пізнього підживлення пов'язують з опадами, які випадають до підживлення і після нього впродовж 10-15 діб. Добру оцінку залежності ефективності літнього підживлення від умов погоди дає рівняння:

$$\Delta П = -0,63\sqrt[3]{x_1} + 0,20 \ln x_2 + 1,5; \quad (2.46)$$

$$R = 0,722; S_{\Delta П} = \pm 0,47,$$

де  $\Delta П$  – підвищення вмісту протеїну, %;

$x_1$  – кількість днів від дати підживлення до дощу інтенсивністю більшою за 5 мм (бездощовий період);

$x_2$  – сума опадів, які випали протягом 30 днів до підживлення, мм.

Аналіз матеріалів показав, що величина приросту протеїну залежить від вологості ґрунту в шарі 0-20 см, яка визначається у відсотках найменшої вологості (НВ). Якщо запаси вологи ( $W_{0-20}$ ) менше 10 мм або більше 90% НВ, підживлення не доцільне, а інколи навіть шкідливе.

Якщо ж  $W_{0-20}$  у день підживлення становить 20-50% НВ, то ефективність його залежить від опадів та строків їх випадання. Вологість ґрунту 50-80% забезпечує приріст протеїну на 1% і більше. Залежність приросту протеїну від вологості ґрунту у період літнього підживлення описується рівнянням

$$\Delta P = 0,058x - 0,000005x^3 - 0,55, \quad (2.47)$$

де  $x$  – вологість ґрунту  $W_{0-20}$  см у час підживлення, % НВ.

### 2.2.5 Родючість ґрунтів

Родючість ґрунту визначається його здатністю забезпечити рослини засвоюваними речовинами, вологою та іншими складовими формування врожаю.

Родючість ґрунту являє собою комплексну характеристику ґрунтової екосистеми за її біотичними та абіотичними складовими і їх взаємодією. Усі складові ґрунтової екосистеми постійно й безпосередньо взаємодіють між собою під впливом факторів зовнішнього середовища за процесами енерго і масообміну.

Родючість ґрунту поділяється на природну і ефективну. Природна родючість визначається загальним природним запасом поживних речовин, кількістю води та ін.

Ефективна родючість характеризується поєднанням природної і штучної родючості. Обидві складові родючості ґрунту формуються під впливом клімату і його провідних ресурсів – сонячної радіації, температури, кількості опадів та інших метеорологічних величин.

Ґрунт є середовищем, фізичні, хімічні та біологічні властивості якого разом з метеорологічним режимом і кліматом формують урожай сільськогосподарських культур. Хімічні і біологічні властивості ґрунтів визначаються кількістю провідних елементів живлення рослин, кількістю гумусу та мікроорганізмів. В роботах І.В. Тюрини і М.М. Кононової висвітлюються закономірності змін біологічних властивостей у різних типах ґрунтів..

Основні типи ґрунтів відрізняються вмістом в них гумусу, азоту, фосфору і їх щільністю.,табл.2.28.

Поширення кореневої системи рослин залежить від щільності ґрунту. В ущільненому та розпушеному ґрунтах створюються несприятливі умови для розвитку і проникнення коріння рослин.

Дослідженнями В.П. Дмитренка і А.Я. Короткової встановлено, що формування врожаю сільськогосподарських культур знаходиться в значній залежності від щільності ґрунтів,табл.2.29.

Таблиця 2.28 – Біологічні властивості різних типів ґрунтів

Типи ґрунтів	Показники біологічних властивостей ґрунтів (за І.В.Портновим і М.М. Кононою)			Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup> (за М.Г. Йовенком)
	кількість мікро-організмів тис.на 1 г		кількість гумусу в шарі 0-100 см, т/га	
	ґрунту	гумусу		
Бурі сіроземи	4490	224500	80	(1,35- 1,50)*
Каштанові	3482	104460	229	1,35 – 1,45
Чорноземи звичайні	3630	54450	426	1,20 – 1,50
Підзолисті	1086	32580	101	1,48 – 1,70
Тундрово-глеєві	2140	42900	70	(1,20-1,80)**

Примітка: щільність наведена тільки для сіроземів(\*) та мулистоглеєвих ґрунтів (\*\*).

В цілому природна родючість ґрунту описується виразом

$$P_{кр} = (1 - W_n)d, \quad (2.48)$$

де  $W_n$  – повна вологомісткість, до якої прирівнюється пористість ґрунту;

$d$  – питома вага ґрунту.

Таблиця 2. 29 – Тіснота зв'язку між середньою врожайністю зернових культур і щільністю метрового шару ґрунту (за В.П. Дмитренком та А.Я. Коротковою)

Культура	Кількість випадків	Коефіцієнт кореляції
Овес	24	- 0,730
Озима пшениця	24	- 0,695
Гречка	17	- 0,671
Кукурудза	24	0,113
Ячмінь	24	0,032
Зернобобові	24	0,003
Просо	23	0,008

Антропогенна складова визначається за кількістю внесених добрив. Потенційна прибавка врожайності озимої пшениці при внесенні добрив в

областях України за звичайної технології становить 5 – 9 ц/га, за інтенсивної - 8 – 12,5 ц/га.

## 2.2.6 Повітря

Газова оболонка земної кулі, яка обертається разом з нею, називається *атмосферою*. Атмосфера нашої планети – це механічна суміш газів з домішками твердих і рідких часток природного походження та тих, що надходять внаслідок господарської діяльності людини. Між атмосферою та біосферою встановилась природно зумовлена 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 ( $CO_2$ ) і водяна пара ( $H_2O$ ). Інші гази знаходяться в атмосфері в незначній кількості. Склад сухого чистого повітря нижніх шарів атмосфери постійний для всієї планети. Це зумовлюється безперервним перемішуванням повітря в горизонтальному і 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. 2.30.

Таблиця 2.30 – Характеристика складових сухого повітря поблизу земної кулі

Газ	Об'ємний вміст, %	Відносна молекулярна маса	Густина	
			абсолютна, г/м <sup>3</sup>	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)	$1,818 \cdot 10^{-3}$	20,683	900	0,695
Гелій (He)	$5,239 \cdot 10^{-4}$	4,0026	178	0,138
Криптон (Kr)	$1,14 \cdot 10^{-4}$	83,700	3736	2,868
Водень ( $H_2$ )	$0,5 \cdot 10^{-4}$	2,016	90	0,070
Ксенон (Xe)	$8,7 \cdot 10^{-6}$	131,300	5891	4,524
Озон ( $O_3$ )	$(0...0,07) \cdot 10^{-4}$	48,000	2140	1,624
Сухе повітря	100	28,966	1293	1,000

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

У природі до складу повітря також входить вода у газоподібному, рідкому і твердому станах. 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 і коріння, процеси гниття і розпаду зменшують запаси кисню у ґрунтовому повітрі та збільшують кількість вуглекислоти. Кількість азоту в ґрунтовому повітрі зменшується внаслідок розпаду білків та денітрифікації речовин, що вміщують азот, під дією мікроорганізмів.

Вміст азоту, кисню та вуглекислого газу в 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 і ґрунтом існує безперервний обмін повітрям – аерація ґрунту, яка зумовлюється дифузією газів та дією вітру і коливанням атмосферного тиску. Інтенсивність газообміну залежить і від структури ґрунту.

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 близько 5 кг азоту на 1 га. Для покращання ґрунтового живлення рослин мінеральні та органічні сполуки азоту вносяться у вигляді добрив.

*Кисень* необхідний для дихання і розкладання органічних речовин, гниття і горіння. При взаємодії органічних речовин з киснем в клітинах живих організмів виділяється енергія, яка забезпечує життєдіяльність рослин і тварин. Збагачення ґрунту киснем відбувається при поліпшенні аерації ґрунту. Корінням дерев споживається за добу близько 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% і на 20 % на 50 – 60<sup>0</sup> півд. ш. Це спричинило 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 зумовлює утворення хмар і випадання опадів, впливає на інтенсивність випаровування, бере участь у створенні оранжерейного ефекту. Водяна пара впливає на прозорість атмосфери, її радіаційний режим і поглинає різні речовини, що її забруднюють [44].

### 2.2.7 Кліматична складова урожаю

Роль клімату в формуванні кількості і якості урожаю – одне з провідних питань у сільськогосподарському виробництві. Сільськогосподарській науці і виробникам сільськогосподарської продукції необхідне виявлення ролі клімату в пристосуванні, адаптації, оптимізації сільськогосподарського виробництва, структури галузей, їх продуктивності та ін.

Економіці країни необхідні уявлення щодо обсягів і географічних закономірностей розподілу кліматичних ресурсів, питомої ваги клімату в продуктивності галузей, співвідношення між корисними і небезпечними його властивостями.

В цілому під *кліматом* розуміють умовний багаторічний стан атмосфери і підстильної поверхні за сукупності географічних процесів, явищ, гідрометеорологічних величин, узагальнених певним математичним методом оцінки на визначеній частині земної кулі.

Вплив клімату на сільськогосподарське виробництво визначається поняттям *сільськогосподарська продуктивність клімату*. Сільськогосподарська продуктивність клімату певного регіону – це можливості атмосфери і підстильної поверхні за сукупністю кліматичних ресурсів забезпечувати певний рівень родючості ґрунту і врожаю сільськогосподарських культур. Сільськогосподарська продуктивність клімату має декілька складових: мезомасштабну ( $C_m$ ), яка вмщує провідні кліматичні фактори; мікрокліматичну ( $C_{мкм}$ ), яка змінює мезомасштабну



під впливом особливостей рельєфу; й ту, що характеризує вплив екстремальних явищ на сільськогосподарське виробництво ( $C_{екс}$ )

$$C = C_m + C_{мкм} + C_{екс} \quad . \quad (2.49)$$

На кожну із складових сільськогосподарської плодотворності клімату впливає ще досить велика кількість другорядних факторів. Тому загальне поняття сільськогосподарської плодотворності клімату враховує рівень сонячної радіації, температури повітря, кількості опадів, мікрокліматичні поправки, шкодочинність несприятливих гідрометеорологічних явищ тощо.

Урожай культурних рослин є продуктом сукупної дії біологічного максимуму ( $Y_6$ ), родючості ґрунту ( $F$ ), плодотворності клімату ( $C$ ) і антропогенного впливу ( $A$ )

$$Y = Y_6 \cdot FCA. \quad (2.50)$$

Загальні відомості про фактори формування врожаю дають можливість визначити бонітет ґрунту ( $B$ ) [19].

$$B = FCA = Y : Y_6 \quad . \quad (2.51)$$

Описана формула поєднує властивості ґрунту, клімату і антропогенного фактора, а також свідчить про співвідношення між отриманою та потенційною урожайністю.

### 3. АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ І НАЙВАЖЛИВІШІ ПРОЦЕСИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИН

#### 3.1 Загальна характеристика онтогенезу вищих рослин

Під *онтогенезом* (індивідуальним розвитком або *життєвим циклом*) розуміють життя рослини з моменту появи заплідненої яйцеклітини (зиготи) або виникнення зародкової бруньки, яка дає початок органам вегетативного розмноження, до природного відмирання рослинного організму.

Нормальний онтогенез у більшості видів вищих рослин складається з двох основних періодів вегетативного і генеративного. Перший період – це формування коренів, стебел, листя – вегетативних органів або так званої *вегетативної сфери рослини*, яка виконує найважливіші функції живлення, дихання, водопостачання, синтезу і пересування речовин в організмі. Другий період - це формування генеративних органів (розмноження) – суцвіть, квіток, плодів і насіння – *генеративної сфери*. Однак таке розділення життєвого циклу відносно, тому що формування кожного органа, у тому числі й усіх вегетативних, тісно пов'язано не тільки з ростом, але і з розвитком генеративних органів і рослини в цілому.

Життєвий цикл багатьох видів рослин включає також період «спокою», коли ріст і органоутворювальні процеси різко сповільнюються або майже припиняються через несприятливі умови вегетації (низькі температури, посухи та ін.). Тривалість періоду спокою буває різною – від декількох тижнів до багатьох місяців.

За загальною тривалістю життєвого циклу усі вищі рослини поділяються на: однолітні, дворічні та багаторічні.

При цьому однолітні рослини заведено відносити до таких груп: а) ефемери – рослини, весь онтогенез яких завершується протягом декількох весняних місяців; звичайно це рослини пустель і напівпустель, які використовують для свого розвитку і росту зимові та ранньовесняні опади; б) однорічні ярі рослини, вегетація яких починається навесні або влітку і завершується в це ж літо або восени; в) однолітні озимі культури, тривалість життя яких не перевищує одного року, але вегетація рослин починається восени і завершується плодоносінням влітку або восени наступного року.

У дворічних рослин на першому році життя звичайно утворюються вегетативні органи, на другому році йдуть процеси цвітіння і плодоносіння, після чого рослини відмирають.

Багаторічні рослини характеризуються найбільшою різнотривалістю життєвого циклу: від декількох місяців – ефемероїди (трав'янисті рослини)

до багатьох століть (дуб, липа) і навіть тисячоліть (секвоя, мамонтове дерево та ін.).

Крім того, рослини поділяються на дві великі групи: одноразово плодоносні – монокарпіки і багаторазово плодоносні – полікарпіки. У монокарпічних рослин після плодоношення настає відмирання материнського організму. У полікарпічних рослин плодоношення не веде до повного відмирання материнського організму, тому цвітіння і плодоношення в них повторюється протягом ряду років.

До групи монокарпічних рослин відносяться однолітні (ефемери, ярі й озимі сільськогосподарські зернові культури), більшість дволітніх, а також деякі види багаторічних рослин: різні види бамбука, деякі види пальм, мексиканська агава, види роду ферула. До числа полікарпічних рослин відноситься велика частина чагарників (наприклад, смородина, малина, шипшина, таволга, бузина, жимолость, бузок й ін.), плодові дерева (яблуня, слива, вишня, груша та ін.), деревні породи (дуб, липа, клен, ясен, верба й ін.), кімнатні декоративні рослини (бегонія, герань, примула та ін.), багаторічні трав'янисті рослини (люцерна, еспарцет, конюшина, тимофіївка лугова, костер, костриця й ін.).

Полікарпічні багаторазово плодоносні рослини розрізняються також за терміном настання першого плодоношення: рослини, які цвітуть на першому році життя, наприклад, тимофіївка лугова; зацвітають на другому році – багаторічний люпин, конюшина та ін.; рослини, які зацвітають на третьому році – багато видів ягідних чагарників; рослини, що плодоносять на 8–11-му році життя – ряд сортів яблунь, груш; рослини, які переходять до масового цвітіння на 25–30-му роках життя – липа, клен й ін., або на 40–60-м році життя – дуб і ряд інших лісових порід.

Довговічність багатьох полікарпічних видів рослин обчислюється століттями і навіть тисячоліттями. Так, мамонтове дерево (секвоя) живе до 5000 років; кипарис, кедр ліванський, тис – до 3000 років; каштан – до 2000 років; дуб, ялина, липа, сибірський кедр – понад 1000 років; тополя, бук, сосна, горіх волоський – від 300 до 600 років; яблуня, груша, черешня — від 100 до 400 років і більше.

Навіть серед багаторічних трав'янистих злаків, поряд з такими, як райграс, тимофіївка, їжа, життєвий цикл яких обчислюється від 3 до 7, іноді до 10 років, є ряд видів, наприклад, щучка і біловус, у яких тривалість життя обчислюється десятиліттями. Причому не довголітні злаки швидко розвиваються і починають плодоносити вже на першому і другому роках життя, а багатолітні розвиваються повільно і починають цвісти і плодоносити лише на 5–8-му році життя.

Межі між монокарпічними і полікарпічними формами в життєвому циклі рослин певною мірою умовні. В залежності від умов і району вирощування ті ж самі види рослин швидко переходять від вегетативного

росту до генеративного розвитку, або навпаки, дуже довго затримуються на фазі формування вегетативних органів [1].

### 3.2 Етапи органогенезу в онтогенезі вищих рослин

Фенологічні спостереження – це спостереження над основними фазами росту і розвитку рослин, однак, вони не відображають усіх складних органоутворювальних процесів, які протікають у міжфазні періоди. Весь процес органогенезу рослин проходить етапами на базі визначених стадій розвитку і тому, якщо встановити, на якій стадії проходить той або інший етап органогенезу, можна потім за станом етапів органогенезу з порівняно високим ступенем вірогідності судити про зворотне, тобто на якій стадії розвитку знаходиться рослина.

При всій специфічності формоутворювальних процесів, властивих кожному виду, роду і сімейству рослин, існують закономірності і послідовність органогенезу пагонів і суцвіть, спільні для усіх вищих рослин. Ф.М. Куперман установила дванадцять основних етапів органогенезу, спільних для усіх видів покритонасінних рослин, які наведені на (рис. 3.1). На I-II етапах органогенезу формується вегетативна сфера пагона [1, 44, 49].

I *етап органогенезу* у більшості сільськогосподарських культур проходить у міжфазний період проростання насіння – поява сходів. У багаторічних полікарпічних рослин пазушні бруньки, з яких розвиваються пагони другого, третього і наступного порядків, також починають свій розвиток з I етапу. При цьому в конусі наростання відбувається анатомічна диференціація первинної меристеми на основні тканини майбутнього стебла і листя.

В основі конуса наростання добре розрізняються зародкові листки. Так, наприклад, у ярої й озимої пшениці є 3–5 зародкових листків, у кукурудзи – 5-7, у соняшнику – від 3 до 7 в залежності від скоростиглості сорту. На цьому етапі конуси наростання не тільки різних сортів, але і різних видів рослин зовні дуже подібні й розрізняються частіше розмірами і ступенем опуклості первинного горбика зародкового стебла.

II *етап органогенезу*. Слідом за появою сходів рослини переходять у II етап органогенезу. Цей етап у більшості рослин проходить у міжфазний період сходи – вихід у трубку або початок стеблуння, а в багаторічних рослин збігається з процесом внутрішньобрунькової диференціації верхівкової і пазушних бруньок.

II етап органогенезу характеризується диференціацією конуса наростання на вузли й укорочені міжвузля зародкового стебла, а також формуванням листових зачатків. У багатьох видів рослин визначається не тільки кількість вузлів і міжвузля дорослого пагона, але ступінь і характер

кущіння злаків і розгалуження стебла у дводольних рослин. У рослин з незавершеним ростом пагона (наприклад, у багатьох видів бобових і гарбузових рослин) на II етапі тривало йдуть процеси диференціації вузлів і міжвузля стебла.

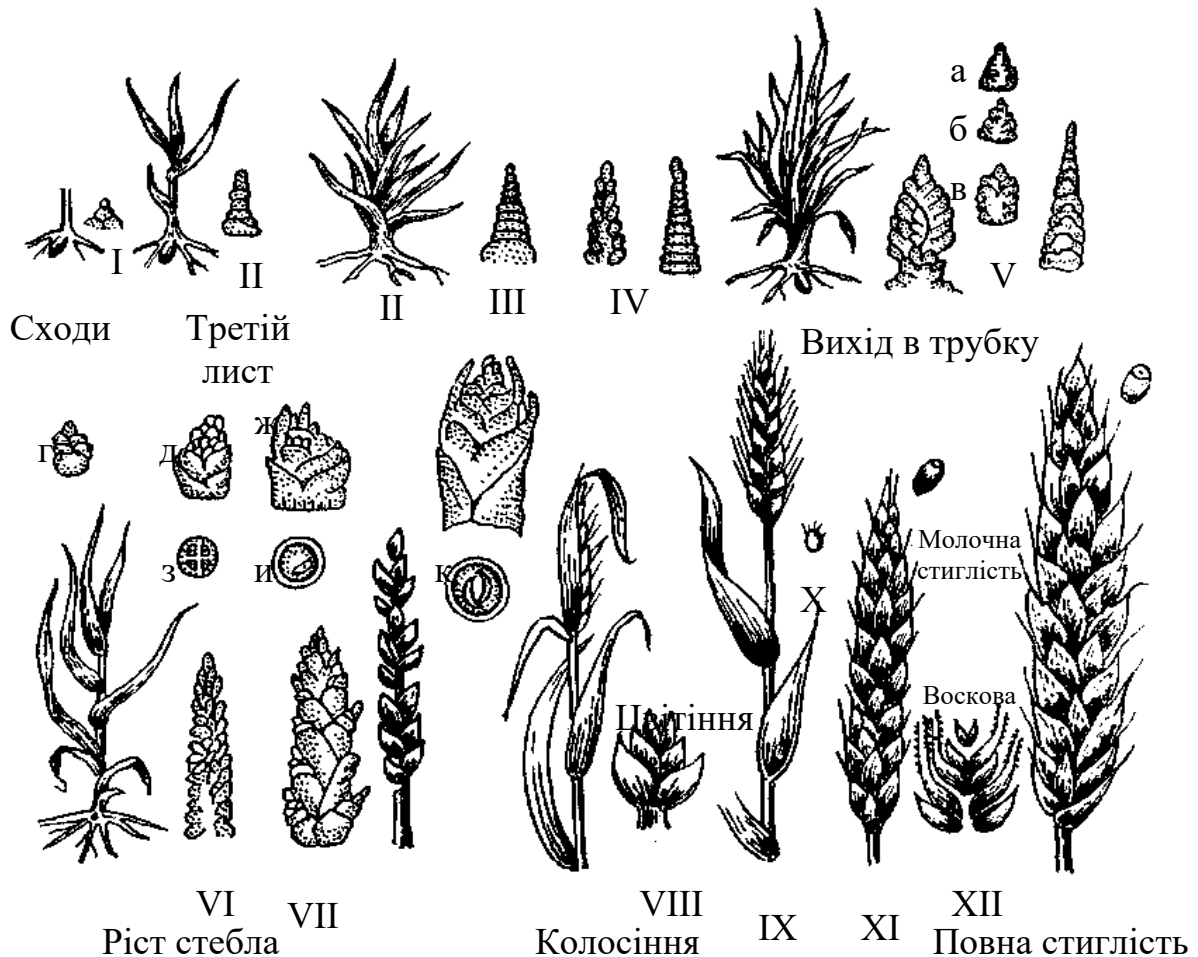


Рис. 3.1 – Фази розвитку й етапи органогенезу пшениці.  
(Ф.М. Куперман, О.І. Ржанова, 1963).

Кількість вузлів і листків стебла метамерів, що закладаються на II етапі органогенезу, визначається видовими (сортовими) спадковими особливостями рослин і умовами їхнього розвитку в цей період. За сприятливих умов погоди кількість метамерів стебла є типовим для кожного сорту або різновидності.

У більшості зернових культур фаза виходу в трубку супроводжується переходом пагона до III етапу органогенезу і майже відразу переходить до IV етапу. На III і IV етапах органогенезу відбувається диференціація осі суцвіття.

*III етап органогенезу.* Витягування і «сегментація» конуса наростання – зародкової осі суцвіття. Чим сприятливіші умови для ростових процесів

на III етапі, тим більше формується зародкових члеників колосу, волоті, кошика і тим довше буде колос, більше початок, ширший діаметр кошика соняшнику. Оскільки III етап проходить швидко, то спостереження за сегментацією конуса наростання здійснюються без детального підрахунку зміни кількості сегментів.

*IV етап органогенезу.* Формування так званих лопастей суцвіття, зародкових віточок суцвіття або колоскових горбиків у злаків.

Таким чином, на III і IV етапах органогенезу, які у більшості рослин проходять ще на початку виходу в трубку або на початку стеблуння, уже визначаються можливі величини суцвіття, колоса, мітелки, качана, кошика і зонтика. Завершується IV етап органогенезу утворенням квіткових недиференційованих горбиків (квіткової меристеми). Кількість квіткових горбиків у суцвітті може продовжувати наростати на V етапі.

На V і VI етапах органогенезу формуються квітки і генеративні органи, археспорії, мікроспори (материнські клітини пилку) і макроспори (зародкові мішечки).

*V етап органогенезу* характеризується диференціацією основних органів квітки. Спочатку в більшості видів рослин утворюються зачатки покривних органів – чашечки та віночка і власне генеративних органів — тичиночних і маточкових горбиків. Наприкінці V етапу в них можна розрізнити утворення первинного археспорія, потім спостерігається подальша диференціація клітин вторинного археспорія.

*VI етап органогенезу* характеризується процесами утворення материнських клітин пилку (мікроспор і мікроспороцитів) і зародкового мішечка (макроспор і макроспороцитів). Цей етап характеризується також початком посиленого росту покривних органів квітки.

На VII і VIII етапах органогенезу звичайно завершується формування гамет (статевих клітин рослини – пилку і яйцевого апарата зародкового мішечка). Квітка здатна до здійснення основної функції — запліднення.

*VII етап органогенезу.* На цьому етапі відбувається формування чоловічого і жіночого гаметофіта. Тобто відбувається розподіл ядра й утворення двоклітинного пилкового зерна – генеративної клітини і вегетативного ядра пилку. Пилкові зерна значно збільшуються в розмірах. Одночасно продовжується посилений ріст зародкового мішечка. Спостерігаються високі темпи росту покривних органів квітки, які захищають на цьому етапі генеративні органи, причому віночок росте швидше, ніж чашечка. Посилено розростаються вегетативні органи суцвіття – членики колосу, гілочки мітелки, головка конюшини, квітколоже кошика; витягаються тичинкові нитки, росте стовпчик маточки, збільшується розмір зав'язі.

*VIII етап органогенезу.* Завершуються процеси гаметогенеза і формування статевого апарата рослин – пилку і яйцеклітини. На цьому етапі відбувається формування видимої частини фази бутонізації, вихід

віночка за межі чашечки, посилений ріст міжвузля, яке несе суцвіття і квітконос. Відзначаються фази колосіння у пшениці, жита, ячменю і багаторічних злаків, а також появи нитковидних стовпчиків з обгортки качана у кукурудзи (цвітіння).

*ІХ етап органогенезу.* Цвітіння запліднення й утворення зиготи. Процеси цвітіння у квіткових рослин розрізняють за своєю тривалістю, способами запилення, типами запліднення і нарешті ведуть до утворення зиготи.

*Х етап органогенезу.* Посилений ріст плоду, зародка й ендосперму насіння. На цьому етапі дуже рано починається ділення зиготи, утворення зародка і заповнення клітинами ендосперму зародкового мішечка.

На Х етапі органогенезу зародок починає диференціюватися на осьові органи і сім'ядолі. Установлено, що до кінця Х етапу органогенезу насіння багатьох видів рослин (пшениці, жита, бавовнику та ін.) є життєздатним; його можна пророщувати в живильних середовищах і при дотриманні необхідних умов схожість насіння досягає 90–100 %. В цей час у зародка добре помітний зародковий корінь з кореневим чохлаком і брунька з декількома зародковими листочками. Кількість і форма їх визначаються видовими (сортовими) особливостями насіння.

На XI–XII етапах органогенезу завершується формування плоду і насіння, йдуть процеси нагромадження поживних речовин і перетворення їх у запасні, специфічні для кожного сімейства, роду, виду (сорту).

*XI етап органогенезу.* Цей етап характеризується ростом плодів у діаметрі, різкою зміною будови стінок зав'язі і нагромадженням поживних речовин. На цьому етапі, коли в плодах і насінні накопичується велика кількість води, вони досягають свого максимального розміру: при цьому в насінні відповідно до їх видової і сортової специфіки йде ряд складних біохімічних процесів. У той же час із завершенням морфологічної диференціації їхній ріст (плоду, насіння і зародка) як у довжину, так і в ширину різко сповільнюється.

*XII етап органогенезу* – дозрівання насіння. Цей етап характеризується перетворенням поживних речовин на запасні, різким зневоднюванням насіння, переходом зародка насіння в деяких видів у стан тимчасового змушеного (у багатьох видів глибокого органічного) спокою. При цьому від специфіки запасних поживних речовин, накопичених у насінні, залежать не тільки видові, але і сортові особливості росту паростків на ранніх етапах органогенезу. Ці особливості у величезній більшості видів рослин впливають на ріст рослин на більш пізніх етапах. У деяких крупнонасінневих видів рослин диференціація органів квітки (аж до VI етапу) може здійснюватися при вирощуванні рослин у темряві за рахунок запасних речовин насіння (за умови нормального формування материнської рослини на XI–XII етапах). У більшості видів рослин XII етап завершується повною стиглістю насіння.

Тривалість етапів органогенезу, інтенсивність органоутворювання й амплітуда варіювання тривалості кожного етапу визначається ходом спадкоємної інформації виду (сорту) і ступенем оптимізації основних факторів, до яких адаптована рослина.

Така загальна характеристика основних етапів органогенезу більшості однолітніх сільськогосподарських рослин [1,45].

У багаторічних, полікарпічних трав'янистих і деревних рослин пагони різних років життя, так само, як і пагони різних порядків на тій же самій рослині, можуть бути одночасно на різних етапах органогенезу. В той час як одні пагони тільки ще закладаються у бруньці й перебувають на I-II етапах органогенезу і з них потім виростають ростові пагони, репродуктивні пагони, які багато років перебувають на II етапі у стані вегетації, швидко розвиваються і досягають XII етапу органогенезу. Тому в багаторічних рослин заведено розрізняти систему пагонів, а про стан розвитку рослини в цілому судять по пагонах, які досягли найбільш високого рівня розвитку (етапів органогенезу).

### **3.3 Найважливіші екологічні закони**

Багаторічні спостереження за розвитком, ростом і процесами органогенезу різних життєвих форм, які представляють значну кількість видів, родів і сімейств культурної і дикоростучої флори, дослідження росту і диференціації органів у зв'язку зі зміною режиму живлення, освітлення, зволоження, температури та інших факторів дозволили сформулювати найважливіші екологічні закони. Основний із них – це закон єдності етапів органогенезу квіткових рослин має за основу наступне:

1. Усім квітковим рослинам притаманна єдність процесів формування пагонів, яка виражається в послідовності проходження дванадцяти етапів органогенезу.

2. Розходження в тривалості етапів органогенезу пагонів характеризують основну розмаїтість життєвих форм квіткових рослин і їхнє довголіття.

Найбільші розходження в тривалості існують на I – II етапах органогенезу. Тривалість цих етапів у різних видів сімейств і їхніх життєвих форм варіює від декількох годин до багатьох десятків і сотень років. Так, у ефемерів I – II етапи тривають не більше 1–2 днів, у інших – до 5–6 днів. У однолітніх рослин тривалість I – II етапів варіює від 6–7 днів до 200–240 днів у озимих культур. У дворічних рослин I–II етапи тривають залежно від виду (сорту) і умов збереження від 150 до 300 днів і більше. У багаторічних трав'янистих і деревних форм період формування вегетативної сфери (кореневищ, цибулин, крони та ін.) може тривати від одного до багатьох десятків років. Тривалість III – IX етапів, і особливо



Ш–V етапів, також варіює від десятків днів у однолітніх пагонів до декількох сотень днів і 2–3 років у багаторічних життєвих форм.

Таким чином, життєві форми квіткових рослин і їхнє довголіття визначаються переважно тривалістю I – II етапів органогенезу. При цьому довголіття різних життєвих форм квіткових рослин визначається не тільки тривалістю проходження I – II етапів функціонуючих пагонів, але і потенційною тривалістю спокою сплячих бруньок.

3. Для всіх життєвих форм квіткових рослин характерне формування пагонів з різними циклами етапів органогенезу.

Закон єдності етапів органогенезу квіткових рослин в усіх життєвих формах полягає у формуванні трьох морфофізіологічних типів пагонів:

– перший тип характеризується завершеним циклом етапів органогенезу, коли пагони проходять послідовно від I до XII етапу (так названі генеративні або репродуктивні пагони);

– другий тип відрізняється незавершеним циклом етапів органогенезу, коли пагони не переходять до III етапу, можуть довгостроково рости на II етапі, а потім відмирають у стані I або II етапів (так названі вегетативні або ростові пагони і сплячі бруньки);

– третій тип з перерваним у період від III до X етапу циклом органогенезу (потенційно репродуктивні пагони, окремий випадок першого типу).

Співвідношення кількості пагонів із завершеним і незавершеним циклами етапів органогенезу визначає життєві форми рослин, їхнє довголіття і поновлення. В однолітніх монокарпічних рослин чисельно переважають пагони із завершеним циклом органогенезу. У багаторічних, полікарпічних форм рослин переважають пагони з незавершеним циклом органогенезу, які забезпечують вегетативне розмноження, що сприяє довголіттю рослин.

4. Закон єдності органогенезу квіткових рослин полягає у морфологічній ярусній мінливості будови пагонів (гетерофілії, гетерорамії, гетерокарпії) і відображає кількісні та якісні відмінності біохімічних і фізіологічних процесів, які властиві кожному етапу.

В оптимальних умовах для росту і розвитку пагонів із завершеним циклом етапів органогенезу існує асинхронне, послідовне проходження чергових етапів у пазушних бруньках. При цьому, чим далі в стадійному розвитку просунулися тканини і пазушні бруньки, тим швидше в них протікають V – VIII етапи органогенезу в межах однієї і тієї ж особини, тим сильніше виявляється асинхронність у розвитку пазушних бруньок різних ярусів, а також різних ярусів квіток у суцвітті.

При розвитку найбільш розвинутих пазушних бруньок більше на два-три етапи має місце припинення в розвитку, а потім редукція органів, які відстають у розвитку, або їхній перехід у стан покою. Останнє частіше має місце, коли бруньки знаходяться на I або II етапах органогенезу.

Після опадання нормально дозрілих органів або при ушкодженнях (механічних, шкідниками або поїдання тваринами) органів, які пішли на два-три етапи вперед і спричинили через зміни біохімізму редуцію відсталих органів, пазушні сплячі бруньки можуть почати функціонувати і пройти в залежності від умов і їхнього розташування на пагоні завершений цикл органогенезу або затриматися на II етапі в стані ростових пагонів.

У багатьох видів квіткових рослин припинення в розвитку на II етапі характерне для головної осі пагона: завершений цикл етапів органогенезу в них здійснюється пагонами другого і наступного порядків. У рослин, які відносяться до життєвих форм із пагонами індетермінантного росту (ліани), завершений цикл органогенезу мають лише бокові пагони різних порядків.

Припинення на II етапі в розвитку пагона призводить до переходу рослин від моноподіального до симподіального типу розгалуження.

Онтогенетична мінливість пагона, властива усім життєвим формам квіткових рослин, виявляється як у морфологічній мінливості органів, так і в численних кореляціях між морфологічними ознаками і рівнем показників біохімічних і фізіологічних процесів. До їхнього числа відноситься ярусна мінливість у вмісті пігментів, продуктивності фотосинтезу, білкового і нуклеїнового обміну, дихання, інтенсивності росту і диференціації тканин.

5. Закон єдності етапів органогенезу квіткових рослин виявляється в онтогенетичній мінливості будови їхніх органів.

Типовий морфогенез життєвої форми квіткових рослин і їхніх пагонів, реалізація спадкоємного коду інформації визначаються ступенем оптимізації умов, необхідних для проходження етапів органогенезу, росту органів і для переходу рослини від одного етапу до іншого.

В залежності від ступеня оптимізації умов у межах, визначених генетичним кодом спадковості, спостерігається кількісна варіабельність ознак, яка відзначається на загальній величині біомаси рослин і їхній насіннєвій продуктивності. Так, наприклад, у злаків оптимальні умови: на II етапі органогенезу визначають типову для даного виду кількість продуктивних пагонів кущіння; на III–IV етапах – потенційну величину суцвіть (кількість колосків у колосі, гілочок у мітелці); на V етапі – потенційно можливу кількість квіток. У бобових, пасльонових і гарбузових на X етапі визначають оптимальні розміри плодів, у хрестоцвітих визначають також і довжину суцвіття; на XI–XII етапах – розміри і якість плодів і насіння [1, 45].

Уповільнення в темпах проходження етапів органогенезу, відхилення від оптимуму може спричинити збільшення кількості метамерних органів відповідно тому, на якому етапі мала місце затримка в розвитку. Так, на II етапі може збільшитись кількість вузлів, міжвузля, листків, на III–IV етапах – кількість члеників осей суцвіття, на V етапі – кількість квіток, на

VI–VIII етапах може бути збільшення розмірів покривних органів квітки, збільшення кількості насінин у плодах.

Уповільнення темпів розвитку на ранніх етапах органогенезу в поєднанні з інтенсивним ростом підсилює онтогенетичну мінливість і підвищує ступінь дивергенції ознак на більш пізніх етапах. Навпаки, відхилення від оптимуму при прискоренні в темпах проходження окремих етапів органогенезу і при зниженні інтенсивності ростових процесів, можуть спричинити зменшення кількості метамерів відповідно до того, на якому етапі мали місце ці явища. Так, на всіх етапах органогенезу зниження інтенсивності росту при прискоренні в розвитку призводить до формування карликовості (нанізму): зменшується кількість листків, розмір суцвіть, кількість квіток і плодів.

Особливе значення для продуктивності рослин мають умови проходження III, IV і V етапів органогенезу. Якщо умови для росту на IV–V етапах органогенезу сприятливі, то формуються багатокоскові колоски пшениці, жита, ячменю, розвинуті, багаторазово розгалужені мітелки у вівса, проса, великі кошики з великою кількістю квіткових горбиків у соняшнику. Чим сприятливіші умови для росту в цей період, тим більше буде колосків у колосі або мітелці, кількість колосків, а потім квіток і зерен у кожному рядку в качані, тим більше буде рядків у кошику соняшника. Навпаки, якщо IV етап проходить занадто швидко або в несприятливих умовах для росту рослин (недостатня вологозабезпеченість і занадто високі температури), то кількість органів у суцвітті різко скорочується, і вже на цьому етапі йде відмирання (усихання) частини колоскових горбиків і зародкових гілочок суцвіття.

Такі факти неодноразово спостерігаються в умовах Півдня України коли високі температури і низька відносна вологість повітря при дефіциті ґрунтової вологи призводять до усихання від 20 до 80 % закладених на IV етапі колосків. Тому важливо саме тоді, коли рослини вступають у III і IV етапи органогенезу, створити шляхом міжрядної обробки ґрунту і за допомогою дуже ранніх весняних підживлень найкращі умови для використання зимових і весняних опадів, пристосувавши саме до цих етапів підживлення і поливи. Якщо упущені III – IV етапи формування суцвіть, то наступні навіть найбільш рясні поливи звичайно вже не можуть вплинути на розміри колоса, мітелки або качана.

Різниця в термінах внесення підживлення може іноді визначатися всього лише декількома днями, а ефект його дії може бути дуже різним. Особливо важливо це для такої культури, як рис, де ефективність поливу майже цілком залежить від IV етапу органогенезу.

Забезпеченням рослин вологою, теплом, світлом і живленням на III–IV етапах органогенезу в період формування зародкового колоса мусить значною мірою визначатися і вибір найбільш оптимальних термінів посіву

в кожному районі, з урахуванням термінів збирання, які гарантують повну господарську реалізацію урожаю.

У роки з надзвичайним дефіцитом вологи в період проходження рослинами VI і VII етапів органогенезу різко зменшується кількість нормального (фертильного) пилку і порушується формування зав'язей, що призводить до недорозвинення квіток і різкого зниженню урожаю. Тому у всіх районах, де застосовується зрошення пшениці, овочевих і технічних культур, варто проводити другий вегетаційний полив на VI етапі органогенезу.

На VI етапі при нормальній вологозабезпеченості посилено ростуть середні міжвузля пагонів, при дефіциті вологи у ґрунті стебла рослин бувають укороченими. По довжині міжвузля можна встановити, чи мали місце відхилення у розвитку рослин [1, 45, 46, 50].

### 3.4 Агрометеорологічні умови існування рослин

#### 3.4.1 Біологічні властивості рослин

Весь процес формування врожаю сільськогосподарських культур від сівби до дозрівання господарсько корисної продукції завжди знаходиться під контролем і управлінням рослини. Тому всі етапи формування врожаю, поява нових органів, весь продукційний процес, всі фізіологічні процеси органічного змісту під впливом факторів зовнішнього середовища та ті, що залежні від антропогенного чинника, неодмінно спричиняють зумовлене ними реагування рослини. Тому можна сказати, що головну складову теорії врожаю становлять *біологічні особливості рослин*.

Ріст і розвиток рослин відбувається за певною генетичною програмою під впливом факторів зовнішнього середовища. Ці фактори теж становлять складову теорії урожаю.

В практиці землеробства відчутно впливає на врожай антропогенний чинник. Він може збільшити або зменшити кількість та якість сільськогосподарської продукції. Антропогенний чинник є засобом управління урожаем. Загалом теорію формування врожаю можна представити схемою [2]

Біологічні властивості рослин		
Механізм формування врожаю	Фактори формування врожаю	Засоби управління формуванням врожаю

Механізми формування урожаю мають висвітлити його структурні складові та загальні закономірності їх взаємодії, відображені у часі, зокрема на основних етапах онтогенезу та у цілому, а також внесок урожаю відокремлено і сукупно. Залікова складова змісту механізму формування урожаю має формуватись обсягом або рівнем кінцевої господарської корисної продукції. За цим положенням у кінцевому вигляді урожай має визначатись рівнянням

$$y = pt . \quad (3.1)$$

Фактори формування урожаю за екосистемним підходом створюють надзвичайно складну сукупність різноприродних, різномістовних, різнорівневих, різнопланових, різночасових і різнопросторових діяльних процесів, явищ, чинників тощо. Слід зазначити, що вплив кожного чинника відзначається за ознаками обсягу, рівня або його інтенсивності з визначенням меж сфери його дії. Разом із тим усі фактори формування урожаю мають бути розподілені за значенням, змістом, обсягом чи рівнем постійного повсякчасного впливу тощо. Але в окремі періоди на рівень урожайності можуть вплинути тимчасові епізодичні та локальні явища, які мають враховуватись.

За оглядом зазначених положень механізми та фактори формування урожаю є головними невід'ємними складовими його теорії. Але у системі засобів формування урожаю зазначається антропогенний чинник, який може істотно порушити як безпосередній механізм, так і вплив і значення факторів впливу на рівень чи обсяги урожаю. Зміст таких порушень визначається викривленням засад механізму формування урожаю (наприклад, різкою зміною густоти посіву в певний період вегетаційного циклу, облаштуванням або видаленням дієдатних органів, зменшенням або збільшенням чисельності плодотворних осіб тощо).

Засоби управління формуванням урожаю у вигляді агротехнічних правил і процедур визначення його рівнів, обсягів чи інших показників зазвичай не досягають сформульованої мети за відсутності науково обґрунтованих положень за теорією механізму формування урожаю та досконало визначеного впливу факторів середовища на об'єкт [2].

Таким чином, головну складову теорії урожаю взагалі та за системним підходом становлять біологічні властивості рослин. Їх нехтуванням ніяка система вивчення впливу будь-яких чинників і властивостей не здолає розуміння механізмів формування урожаю.

Засоби управління формуванням урожаю виражені агротехнічними правилами і процедурами.

Біологічні властивості рослин утворюють складну систему фізіологічних, різнорівневих за змістом, різномасштабних у часі процесів зародження, формування, функціонування, передачі властивостей і

створення собі подібних нащадків. Вони узагальнюються процесами індивідуального розвитку рослин у онтогенезі, історичного їх розвитку у філогенезі та у законах міжвікового розвитку органічного світу як еволюції.

Під *онтогенезом* (індивідуальним розвитком або *життєвим циклом*) розуміють життя рослини з моменту появи заплідненої яйцеклітини (зиготи) або виникнення зародкової бруньки, яка дає початок органам вегетативного розмноження, до природного відмирання рослинного організму. Рослинний організм в цілому в онтогенезі взаємодіє з усіма складовими атмосфери, ґрунту, водою тощо.

Нормальний онтогенез у більшості видів вищих рослин складається з двох основних періодів – вегетативного і генеративного. Перший період – це формування коренів, стебел, листя – вегетативних органів або, так званої, *вегетативної сфери рослини*, яка виконує найважливіші функції живлення, дихання, водопостачання, синтезу і пересування речовин в організмі. Другий період – це формування генеративних органів (розмноження) – суцвіть, квіток, плодів і насіння – *генеративної сфери*. Однак такий розподіл життєвого циклу відносний, тому що формування кожного органа, у тому числі й усіх вегетативних, тісно пов'язано не тільки з ростом, але і з розвитком генеративних органів і рослини в цілому.

Онтогенез рослин являє собою індивідуальний розвиток організму. Він здійснюється поєднанням процесів росту, диференціації тканин та інтеграції частини організму із послідовною зміною морфологічних ознак.

Основними характеристиками онтогенезу рослин, які становлять фундаментальну основу агрометеорологічних досліджень за розглянутими типами розвитку, є початок і закінчення вегетаційного циклу певної культури, його тривалість. Наступна деталізація вміщує поділ на вегетативний і репродуктивний періоди, визначення термінів настання і закінчення, тривалості періодів активної вегетації, анабіозу. Поглиблення цих уявлень досягається поділом вегетаційного циклу на міжфазні періоди, а також проходженням етапів органогенезу рослин.

Ріст рослин є однією із складових частин продукційного процесу. Елементарним показником росту фітомаси є її приріст,  $\Delta M = M_2 - M_1$ , тобто різниця між сухою фітомасою за певний проміжок часу (за визначенням А.М. Польового, 1992).

$$\Delta M / \Delta t = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1) \quad . \quad (3.2)$$

Сумісний вплив зовнішніх (екологічних) і внутрішніх (генетичних) факторів на ріст рослин проявляється в їх розмірах, формі, морфологічній структурі. Складність і різноманітність росту визначається фізіолого – біохімічними і біофізичними процесами, які відбуваються в рослині під впливом зовнішніх факторів: світла, тепла, вологи повітря і ґрунту,

мінерального живлення тощо. Ріст є функцією часу. Загальним виразом залежності ростових процесів від часу є закон великого періоду росту, який відображає  $S$  – подібний хід кривої інтегрального наростання маси (розмірів) рослин і параболічний хід диференційованої кривої приростів за визначені відрізки часу [1].

Тривала відсутність росту рослини називається *спокоєм*. Відрізняється *примусовий спокій*, який виникає під дією зовнішніх умов, *фізіологічний спокій*, пов'язаний з особливостями зародку і тканин, які його оточують; *спокій бруньок і пагонів*, пристосований до сезонних змін кліматичних умов; *фотоперіодичний спокій*, який визначається тривалістю дня.

Розрізняють генетичну, гормональну та екологічну зумовленість росту, його інтенсивність, масштабність і просторову локалізацію. В процесі росту рослини адаптують до змін умов вегетації.

У процесі росту рослин відбувається його саморегуляція. Екзогенні коливання росту регулюються зовнішніми факторами, ендогенні – «біологічним годинником».

Регуляторна функція росту в онто- і морфогенезі рослин виявляється у його впливі на швидкість і напрям метаболічних процесів синтезу, розпаду, руху і накопиченні органічних сполук та інших речовин.

*Регулятори росту рослин*. Ріст і розвиток рослин зумовлюються вмістом у них фізіологічно активних речовин (регуляторів росту) [46].

*Регулятори росту рослин* – це природні або синтетичні сполуки, які використовуються для обробки рослин з метою прискорення змін у процесах їх життєдіяльності для покращення якості рослин, підвищення врожайності, полегшення збирання та зберігання врожаю.

Процеси росту і розвитку залежать від спадкових (біологічних) та екологічних особливостей рослин. Зміна цих процесів відбувається під дією агротехнічних заходів і застосування регуляторів росту.

За особливостями дії регулятори росту поділяють на *активатори (стимулятори, фітогормони)* які підсилюють ріст; *інгібітори*, які пригнічують процеси росту, ті летальні речовини, що спричиняють в рослинах незворотні зміни та їх загибель.

До активаторів росту відносяться хімічні речовини, що виробляються в рослинах і регулюють їх ріст та розвиток: речовини фуксिनного ряду, похідні фенолу, гіберілини, цитокеніни та ін.

До інгібіторів росту належать: гідрозид малеїнової кислоти, похідні диметиламіноянтарної кислоти, холін хлорид та ін.

До летальних речовин відносяться похідні фен оксикислот, симетричного триазину та ін.

Регулятори росту використовуються для впливу на процеси цвітіння і плодоношення, керування станом спокою, прискорення опадання листя, запобігання полягання посівів, знищення бур'янів тощо.

При використанні регуляторів росту слід пам'ятати про те, що кожен фактор потрібен рослинам у певній кількості, яка обмежується трьома характеристиками – мінімумом, оптимумом і максимумом. Крім того, більшість регуляторів росту можуть мати певний негативний екологічний вплив. Тому використання регуляторів росту повинно бути під постійним контролем.

На сьогодні при вирощуванні польових культур найчастіше використовуються такі регулятори росту: потейтін, емістим, агростимулін, бетастимулін, зеастимулін, трептолем, люцис.

Застосування регуляторів росту дозволяє повніше реалізувати потенційні можливості рослин і збільшувати продуктивність сільськогосподарських культур.

Для сезонних ритмів росту більшості рослин притаманні два періоди спокою: зимовий і літній. Зимовий спокій зумовлюється нестачею тепла, літній – настанням посушливих періодів вкупі з високими температурами. Ріст рослин тісно пов'язаний з розвитком рослин [49].

Регулятори росту позитивно впливають на ріст та розвиток кореневої системи й поверхні листя. Це сприяє ефективному використанню рослинами елементів живлення, прискоренню окремих етапів розвитку, підвищенню стійкості до хвороб та шкідників. В останні роки повсюдно швидко поширюється впровадження регуляторів росту в практику сільськогосподарського виробництва. Особливого значення регулятори росту набувають у випадках, коли технологія вирощування не відповідає генетичним можливостям сорту стосовно забезпечення надійності та захищеності генотипу від несприятливого впливу факторів середовища.

*Розвиток рослин* – це послідовні якісні зміни, які відбуваються в точках росту, в яких проходить поділ клітин меристеми з подальшим їх збільшенням і диференціюванням.

В розвитку вищих рослин відзначається чотири вікових етапи: ембріональний, ювенільний, репродуктивний і старіння. Тривалість кожного етапу у різних рослин різна – від декількох тижнів до декількох років.

Чисельними дослідженнями встановлено, що вплив екологічних факторів навколишнього середовища неоднаковий в різні періоди життєвого циклу. В ранні періоди розвитку рослини більш пластично реагують на зміну умов існування, ніж в період репродуктивного розвитку і старіння.

### **3.4.2 Фенологічні фази розвитку рослин**

Рослини в процесі розвитку зазнають ряд зовнішніх змін: проростання насіння, поява сходів, ріст стебла, утворення органів цвітіння, формування



плодів. Спостереження за проходженням життєвого циклу дозволили О.І. Воейкову і П.І. Броуну вже наприкінці ХІХ ст. поряд з основними періодами вегетативного і генеративного розвитку виділити ряд фаз розвитку і росту рослин, які одержали назву *фенологічних фаз розвитку*. Кожна фенологічна фаза характеризується появою ряду нових зовнішніх морфологічних ознак або нових органів.

Вченими фенологами (О.І. Руденко, О.О. Шиголєв та ін.) розроблена методика визначення фенологічних фаз для багатьох культурних рослин.

У хлібних злаків (пшениця, жито, ячмінь, овес) відзначаються такі фенологічні фази: 1) проростання насіння, 2) сходи, 3) 3-й листок, 4) кушіння (розгалуження) з підземних вузлів стебла, 5) вихід у трубку (стеблуння, початок росту стебла головного пагона), 6) колосіння (викидання мітелки), 7) цвітіння, 8) молочна стиглість, 9) воскова стиглість, 10) повна стиглість.

У кукурудзи відзначаються: сходи, поява 3-го листка і наступних листків, викидання волоті, цвітіння султана, молочна, воскова і повна стиглість.

В однолітніх трав'янистих рослин (соняшник, гречка, коноплі та ін.) розрізняють наступні фази: 1) проростання насіння 2) сходи, 3) появарозрізняють такі фази: 1) проростання насіння, 2) сходи ,3) поява першої пари такі листків, 4) розгалуження стебла, 5) стеблуння, 6) утворення суцвіть, 7) цвітіння, 8) утворення плодів (зелена стиглість насіння), 9) дозрівання насіння (повна стиглість).

У зернобобових – сої, гороху, кормових бобів, вики, квасолі, люпину й ін. бобових з моменту початку формування плодів відзначаються фази зелених, сизих і бурих бобиків.

У томатів також визначаються окремі фази дозрівання плодів: зелені плоди, бланжева стиглість, повна стиглість, переспілі плоди. У баштанних культур визначається так звана знімна стиглість.

У капусти на першому році життя визначають такі фази: сходи, поява 1-го справжнього листка, поява 3-го справжнього листка, початок завивання качана, технічна стиглість.

У плодкових культур (яблуня й ін.) відзначають такі фази: 1) набрякання бруньок, 2) розпускання квіткових і листкових бруньок, 3) розгортання перших листків, 4) утворення суцвіть, 5) цвітіння, 6) зав'язування плодів, 7) дозрівання плодів, 8) осіннє розцвічування листя, 9) листопад.

При спостереженнях за коренеплодами в перший рік життя (буряк цукровий і кормовий, бруква, морква та ін.) відзначаються фази сходів, появи 1-ї, 2-ї і 3-ї пари справжніх листків, початок росту коренеплоду. На другий рік життя коренеплодів відзначаються такі фази: поява розетки, стеблуння, поява бокових пагонів, цвітіння, початок дозрівання, збиральна стиглість.

Таким чином, фенологічні фази характеризують не тільки зміну морфологічних ознак рослин, але вони найчастіше пов'язані з детальною характеристикою господарсько-важливих ознак культурних рослин. Вивчення фаз розвитку і росту рослин, термінів настання окремих фаз у різних видів рослин у різних географічних умовах і визначення їхньої тривалості становить предмет окремої дисципліни сільськогосподарської метеорології – *фенології*.

В онтогенезі рослин відбувається ряд закономірних змін у їхній будові в зв'язку з віковими періодами їхнього життя. Тому поряд з фенологічними фазами й етапами органогенезу варто розрізняти також і вікові періоди.

Процеси старіння, які залежать від фактора часу в індивідуальному житті рослини, є найбільш загальними. Усі явища і процеси в житті рослини протікають у часі, мають визначену тривалість, свій початок і свій кінець, тобто зазнають вікових змін. Протопласт, ядро, органоїди клітини, тканини, органи, фізіологічні процеси та в цілому весь рослинний організм піддаються віковим змінам [44].

При нормальних умовах існування і розвитку особини вікові зміни проходять синхронно з її розвитком; їх практично важко відокремити від стадійних і органоутворювальних процесів. При несприятливих умовах для розвитку рослин синхронність цих процесів порушується. У цьому випадку стадійні й органоутворювальні процеси затримуються, а процеси старіння продовжуються і навіть можуть прискорюватися. Тому вікова періодизація життєвого циклу, зокрема багаторічних полікарпічних рослин проводиться за морфофізіологічними ознаками, в зв'язку з розвитком.

Таким чином, вікові зміни відображають не тільки певний морфофізіологічний стан самої особини, але і стан тих процесів, які пов'язані безпосередньо з відтворенням нових індивідуумів. Отже, вони відображають загальні біологічні закономірності життя не тільки особин, але і усього виду.

Життєвий шлях індивідуума у насінневих рослин починається з проростання насіння. Тому перший віковий період часто визначається як період або стан паростка рослини. При цьому, на відміну від наступного вікового періоду, паростки поряд з автотрофним живленням використовують і запаси поживних речовин насіння. Стан паростків характеризується тим, що всі органи (корені, листки, зародковий пагін) є зародковими органами, які утворилися за рахунок речовин материнського організму і насіння. Тривалість періоду паростка в однолітніх рослин визначається декількома днями, рідше декількома тижнями, у багаторічних займає не більш одного вегетаційного періоду, а частіше, як і в однолітніх рослин, триває кілька днів.

Тривалість періоду проростання визначається в залежності від ступеня диференціації бруньки й у цілому зародка в насінні, яка у різних видів різна.

Другим віковим періодом є ювенільний період. Він характеризується формуванням вегетативних органів – листків, стебел, коренів. У цей період найбільш чітко в онтогенезі проявляються ознаки, властиві віковим формам. Морфологічно в цей період усі органи звичайно різко відрізняються від дорослих рослин за своєю будовою та розміщенням.

Ювенільний період найчастіше називають також виргінільним (незайманим), відзначаючи тим самим невідповідність рослини до плодоносіння. Тривалість ювенільного періоду варіює від декількох тижнів в однолітніх трав'янистих рослин до декількох років у деяких багаторічних трав і особливо деревних порід.

Третій віковий період – статевозрілість або зрілість рослин – характеризується формуванням органів розмноження, починаючи від утворення квіткових горбків у зародковому суцвітті, диференціації археспоріальних клітин у тканинах пильовика і насінневого зародка бруньки (материнських клітин мікро- і макроспор) і закінчуючи утворенням зиготи [44].

Із загасанням процесів, пов'язаних із плодоносінням і відмиранням основних вегетативних органів рослини, починається наступний, останній віковий період онтогенезу рослин – старіння, яке завершується відмиранням рослини.

У полікарпічних багаторічних форм процес старіння має ряд особливостей у порівнянні з однолітніми, тому що окремі пагони можуть старіти і відмирати, а в організмі в цілому продовжуються процеси росту і розвитку нових пагонів (за рахунок своїх запасів і сплячих бруньок)[1,49].

### 3.4.3 Взаємодія факторів середовища. Лімітуючі фактори

Для кількісної характеристики впливу екологічних факторів на показники життєдіяльності рослин і тварин, такі, як швидкість росту, розвитку, плідність, тривалість життя, смертність, живлення, метаболізм, рухова активність і т.п. (нехай вони нумеруються індексом  $k = 1, \dots, m$ ), вводиться поняття про функції відгуку. Значення, прийняті показником з номером  $k$  на визначеній шкалі при варіюванні екологічних факторів, як правило, обмежені знизу і зверху. Позначимо через  $I_k = [\underline{C}_k, \overline{C}_k]$  відрізок на шкалі вимірів, обмежений мінімально  $\underline{C}_k$  і максимально  $\overline{C}_k$  можливим значенням  $k$ -го показника.

Функцією відгуку  $k$ -го показника на сукупність екологічних факторів  $(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots)$  називається функція  $\varphi^k$ , яка відображає екологічний простір  $E$  на шкалу  $I^k$

$$\varphi^k : E \rightarrow I^k, \quad (3.3)$$

яка кожній точці  $(x_1, \dots, x_n, \dots)$  простору  $E$  порівнює число  $\varphi^k(x_1, \dots, x_n, \dots)$  на шкалі  $I^k$ .

Наприклад, позначивши через  $\varphi_k$  швидкість нетто-фотосинтезу листків вереску (*Calluna vulgaris*) у основного продуцента в екосистемах верескових боліт – і звернувшись до рис. 3.2, де зображена поверхня відгуку величини  $\varphi_k$  на інтенсивність сонячної радіації (фактор  $x_1$ ) і температуру повітря (фактор  $x_2$ ), ми бачимо, що при невеликих значеннях сонячної радіації ( $< 50$  Вт/м<sup>2</sup>) і високих температурах повітря (25–30 °С) нетто-фотосинтез негативний ( $-2$  мг·СО<sub>2</sub>/(дм<sup>2</sup>·год)).

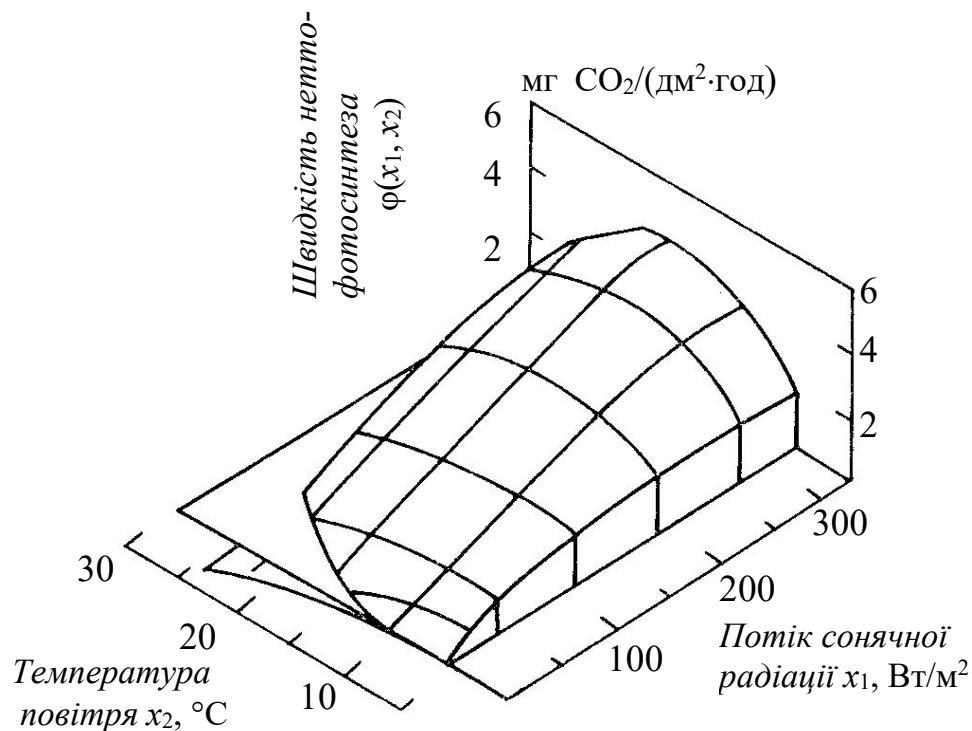


Рис. 3.2 – Функція відгуку  $\varphi^k(x_1, x_2)$  швидкості нетто-фотосинтезу вереску (*Calluna vulgaris*) на інтенсивність сонячної радіації  $x_1$  і температуру повітря  $x_2$  (Grace, Marks, 1971).

Максимальний нетто-фотосинтез (5 мг·СО<sub>2</sub>/(дм<sup>2</sup>·год)) спостерігається при значеннях сонячної радіації близьких до 300 Вт/м<sup>2</sup> і температурах повітря 15–20 °С. Таким чином, областю значень функції  $\varphi^k(x_1, x_2)$  є інтервал  $I^k = [-2, 5]$  мг·СО<sub>2</sub>/(дм<sup>2</sup>·год). Для кожної припустимої комбінації радіації і температури  $(x_1, x_2)$  функція  $\varphi^k(x_1, x_2)$  показує відповідне цьому сполученню факторів значення швидкості нетто-фотосинтезу.

Кількість екологічних факторів потенційно необмежена і нескінченна розмірність екологічного простору  $E$  та кількість аргументів функції відгуку  $\varphi^k(x_1, x_2)$ , в дійсності дозволяє виділити кінцеву кількість факторів

(позначимо їх через  $n$ ), за допомогою яких можна пояснити задану частину від повного варіювання функції відгуку. Наприклад, перші три фактори можуть пояснити 80 % загального варіювання показника  $\varphi^k$ , перших 5 факторів – 95 %, перші 10 факторів – 99 % і т.д. Інші, що не ввійшли в кількість зазначених факторів, не мають визначального впливу на досліджуваний показник. Їхній вплив можна розглядати як деякий екологічний шум, що накладається на дію імперативних факторів.

Це дозволяє від простору  $E$  з нескінченною кількістю вимірів перейти до його  $n$ -мірного підпростору  $E_n$  і розглядати звуження функції відгуку  $\varphi^k$  на цей підпростір

$$\widehat{\varphi}^k : E_n \rightarrow I^k. \quad (3.4)$$

При цьому значення функцій  $\varphi^k$  і  $\widehat{\varphi}^k$  пов'язані співвідношенням

$$\varphi^k(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots) = \widehat{\varphi}^k(x_1, \dots, x_n) + \varepsilon_{n+1}, \quad (3.5)$$

де  $\varepsilon_{n+1}$  – випадковий «екологічний шум», що вносить незначні збурювання в дію імперативних факторів.

Тому при аналізі реальних ситуацій варто розглядати тільки функції від  $n$  змінних, вважаючи, що внесок  $n$  факторів досить великий, щоб визначити умови існування особин розглянутої популяції.

У типових випадках графік частинної функції відгуку на зміну фактора  $x_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) має форму опуклої кривої, яка монотонно зростає від мінімального значення фактора  $x_i$  (нижня межа *толерантності*) до максимального (або плато максимальних значень) при оптимальних значеннях факторів  $x_i^0$  і монотонно спадає, з наближенням  $x_i$  до максимального значення  $\bar{x}_i$  (верхня межа *толерантності*) [1].

*Діапазон дії* (або *зона толерантності*) екологічного фактора обмежений відповідними крайніми граничними значеннями (точки мінімуму і максимуму) цього фактора, при яких можливе існування організму (рис. 3.3). Точка на осі абсцис, яка відповідає найкращим показникам життєдіяльності організму, означає оптимальне значення фактора – це точка оптимуму. Звичайно визначити оптимальне значення фактора з достатньою точністю важко, у зв'язку з чим заведено говорити про зону оптимуму або в більш широкому значенні – зону комфорту. Точки оптимуму, мінімуму і максимуму складають три основні точки, які визначають можливість реакції організму на даний фактор.

Крайні ділянки кривої, які виражають стан пригнічення при недостатці або надлишку фактора, називають зонами мінімуму і максимуму; їм відповідають мінімальні і максимальні значення фактора. Поблизу

критичних точок лежать сублетальні значення фактора, а за межами зони толерантності – летальні.

Умови середовища, в якому який-небудь фактор (або сукупність факторів) виходить за межі зони комфорту і чинить пригнічений вплив, в екології часто називають *екстремальними* (крайовими, граничними, важкими). Цей вираз характеризує не тільки екологічні ситуації, зумовлені критичними значеннями температури, солоності, світла, вологості і т.п., але і такі місцеперебування, де умови близькі до меж можливості існування організму (полярні зони, високогір'я, пустелі і т.п.).

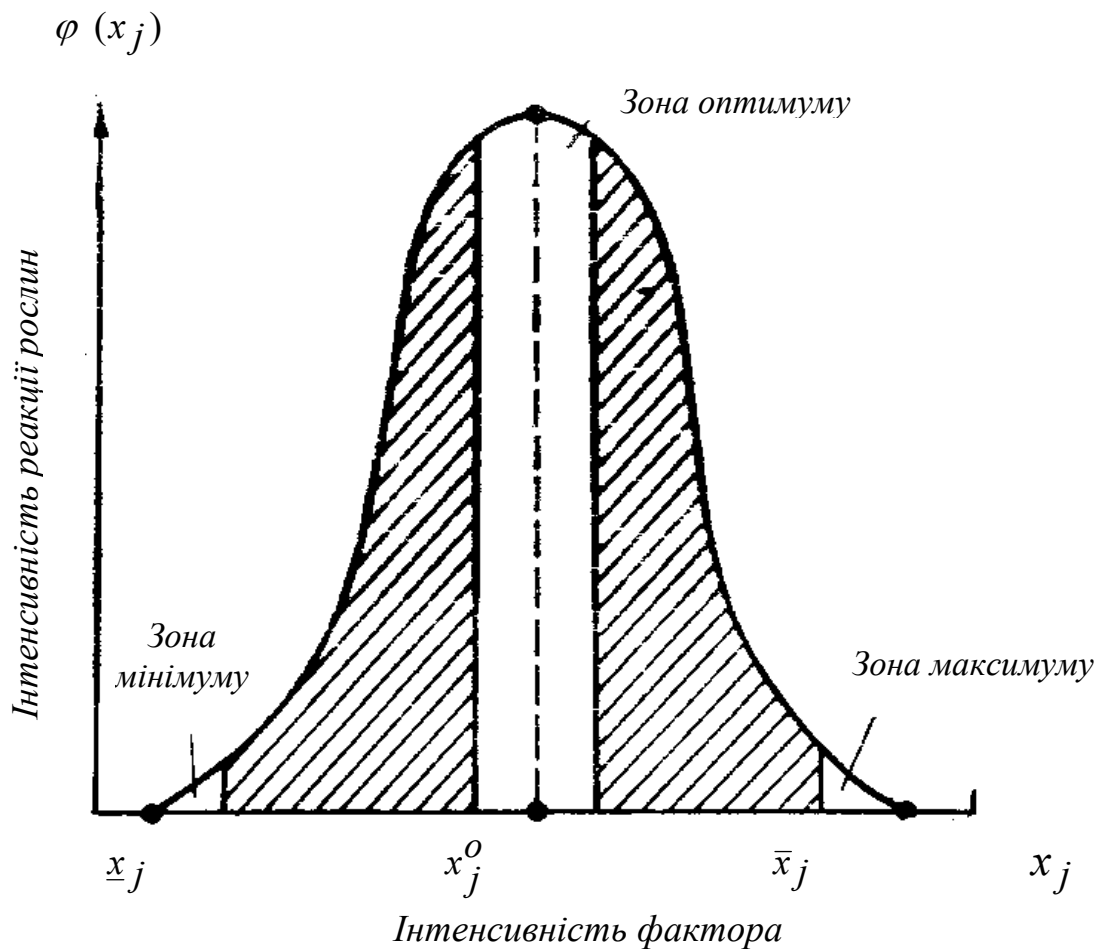


Рис. 3.3 – Схема дії екологічного фактора на рослину (К.М. Ситник, А.В. Байрон, А.В. Городецький, 1987)

$\underline{x}_j$  – точка мінімуму;  $x_j^0$  – точка оптимуму;  $\bar{x}_j$  – точка максимуму.

Фактор, який має тенденцію до сповільнення розвитку організмів, називають *обмежувальним*.

Розглянуті вище закономірності впливу екологічних факторів на живі організми і характер відповідних реакцій останніх відомі в літературі як *закон оптимуму*.

Необхідно підкреслити, що ширина інтервалу толерантності, положення на ньому точки оптимуму, а також форма і масштаб функції відгуку для даного фактора можуть значно змінюватися в залежності від значень, прийнятих іншими факторами (випадок взаємодії). При цьому можна виділити два взаємозалежних питання:

1) який з факторів має більший відносний вплив на зміну функції відгуку  $\varphi(x_1, \dots, x_n)$  при даній комбінації екологічних факторів  $(x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(1)})$ ;

2) чи зберігається відносна важливість факторів при переході до інших точок простору екологічних факторів, досить відмінним від даної точки  $(x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(1)})$  наприклад до точки  $(x_1^{(2)}, \dots, x_n^{(2)})$ .

Відповідь на перше питання вперше була надана Ю. Лібіхом у 1840 р., який сформулював стосовно до компонентів мінерального живлення рослин *закон мінімуму*, відповідно до якого величина урожаю визначається кількістю у ґрунті того з елементів живлення, потреба у якому задоволена найменше, іншими словами, даний елемент знаходиться в мінімумі.

Ф. Блекман у 1905 р. узагальнив цей закон для сукупності всіх екологічних факторів, які впливають на життя рослин, і назвав його *законом обмежуючих факторів*.

Обмежуюче значення мають не тільки ті фактори, що знаходяться в мінімумі. Існування організму може визначатися не мінімальним значенням, а, навпаки, надлишком кожного з факторів (наприклад, таких факторів, як тепло, світло, вода). Вперше уявлення про вплив максимального значення лімітуючого фактора нарівні з мінімальним було висловлено В. Шелфордом (1913), який сформулював *закон толерантності*. Відповідно до цього закону, існування виду визначається як нестачею, так і надлишком кожного з ряду екологічних факторів, які мають рівень, близький до межі толерантності даного організму. У зв'язку з цим усі фактори, рівень яких наближається до меж витривалості організму або перевищує її, називаються *лімітуючими факторами*.

*Лімітуючим* будемо вважати такий фактор, якщо для досягнення заданої (досить малої) відносної зміни функції відгуку потрібна мінімальна відносна зміна цього фактора. Виберемо досить мале позитивне число  $\delta$ . Для кожного  $j$ -го фактора ( $j = 1, \dots, n$ ) розглянемо величину

$$\Delta\varphi_j = \varphi(x_1^{(1)}, \dots, x_j^{(1)} + \frac{\delta}{2x_j^{(1)}}, \dots, x_n^{(1)}) - \varphi(x_1^{(1)}, \dots, x_j^{(1)} - \frac{\delta}{2x_j^{(1)}}, \dots, x_n^{(1)}). \quad (3.6)$$

Тоді в точці  $(x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(1)})$  лімітуючим буде фактор  $x_l$ , якому відповідає максимальний за абсолютною величиною приріст функції відгуку  $\Delta\varphi_j$

$$|\Delta\varphi_i| = \max_{j=1,\dots,n} \{|\Delta\varphi_j|\}. \quad (3.7)$$

Розробка другого питання пов'язана з ім'ям А. Мітчерліха і його послідовника Б. Баулі. Вивчаючи вплив фізичних (освітленість, температура і вологість ґрунту та ін.) і хімічних (вміст елементів мінерального живлення, кислотність і т.п.) факторів на урожайність сільськогосподарських культур, А. Мітчерліх у 1909 р. установив закон фізіологічних взаємозв'язків, який пізніше був перейменований Б. Баулі в 1918 р. у закон *спільної дії факторів*. Закон полягав в тому, що величина урожаю  $\varphi$  залежала не тільки від якого-небудь одного (нехай навіть лімітуючого) фактора, але від усієї сукупності факторів одночасно, тобто  $\varphi_k = \varphi(x_1, \dots, x_n)$  [1].

На (рис. 3.4) представлені графіки частинних функцій відгуку урожаю зернових в залежності від загального запасу азоту в ґрунті  $x_i$  – (азот ґрунту + азот добрив).

Виходячи з розробок Мітчерліха і нехтуючи негативною дією підвищених концентрацій добрив, Баулі запропонував вираз, який описує залежність функції відгуку  $\varphi$  від усієї сукупності екологічних факторів одночасно

$$\varphi(x_1, \dots, x_n) = A_{\max} (1 - 10^{-c_1 x_1}), \dots, (1 - 10^{-c_n x_n}), \quad (3.8)$$

де  $A_{\max}$  – максимальний урожай зерна пшениці, можливий при оптимальних умовах.

Для коефіцієнтів  $c_i$ , що були названі коефіцієнтами дії відповідних факторів, Мітчерліх наводить оцінки (табл. 3.1), отримані на основі багаторічних дослідів.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти дії деяких факторів (Мітчерліх, 1948).

№ п/п	Фактор, $x_i$	Коефіцієнт дії, $c_i$
1	Сонячна радіація	2,0 на одиницю повної сонячної радіації
2	Температура ґрунту	0,01 на 1 °С
3	Атмосферні опади	0,003 на 1 мм опадів
4	Азот	0,122 на 1 ц N/га
5	Фосфор	0,6 на 1 ц P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /га
6	Калій	0,4 на 1 ц K <sub>2</sub> O/га
7	Магній	2,0 на 1 ц MgO/га
8	Сірка	15,0 на 1 ц SO <sub>4</sub> /га



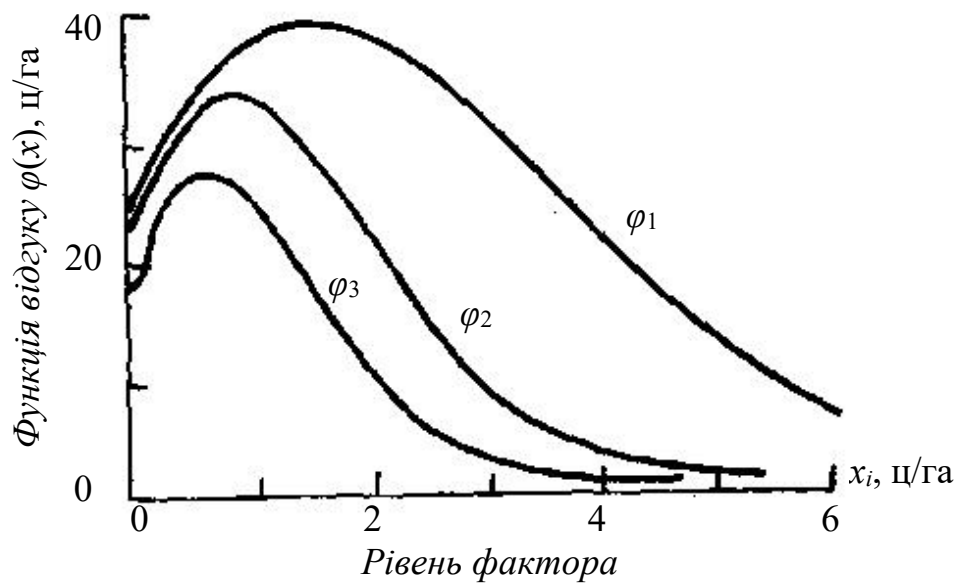


Рис. 3.4 – Залежність відносної урожайності пшениці  $\varphi_1$ , вівса  $\varphi_2$  і жита  $\varphi_3$  від забезпеченості ґрунту азотом  $x_i$  (Mitscherlich, 1948).

Надалі стало очевидним, що формула Мітчерліха–Баулі (3.8) описує лише один порівняно вузький клас функцій відгуку, монотонно і з насиченням зростаючих для кожного з факторів. Значення цієї формули полягає в тому, що вона стала першим математичним виразом явища взаємодії факторів [1].

Екологічні фактори зовнішнього середовища впливають на живий організм одночасно і спільно, причому дія одного з них у визначеній мірі залежить від кількісного виявлення інших факторів. Ця закономірність одержала назву *взаємодії екологічних факторів*. Іноді нестача одного фактора частково компенсується зусиллям іншого; явище часткової взаємозамінності дії екологічних факторів називається *ефектом компенсації*. Наприклад, у пустелях нестача опадів компенсується підвищеною відносною вологістю повітря у нічні години; в Арктиці тривалий світловий день влітку компенсує нестачу тепла.

Але жоден з необхідних організму екологічних факторів не може бути повністю замінений іншим. Фітотрофні рослини не можуть вирости без світла навіть при оптимальних режимах температури або живлення. Тому, якщо значення хоча б одного з необхідних екологічних факторів виходить за межі діапазону толерантності (нижче від мінімуму або вище від максимуму), то існування організму стає неможливим.

У комплексному впливі середовища, значення окремих екологічних факторів нерівноцінні. Серед них виділяють провідні і другорядні (супутні, фонові). Провідними є ті фактори, які необхідні для життєдіяльності

організму. Для різних видів потрібні звичайно різні провідні фактори, навіть якщо організми живуть в одному місці. Поряд з цим у різні періоди органогенезу спостерігається зміна провідних факторів, що особливо характерно для рослинних організмів.

## 4. ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

### 4.1 Загальна характеристика продуктивного процесу

*Продукційний процес рослин* (ППР) – це сукупність окремих взаємозалежних процесів, з яких фундаментальними є фотосинтез, дихання і ріст, у ході яких відбувається формування урожаю (рис. 4.1). ППР залежить від умов зовнішнього середовища і сам перетворює середовище, в основному через архітектуру, газообмін і транспірацію фітоценозу.

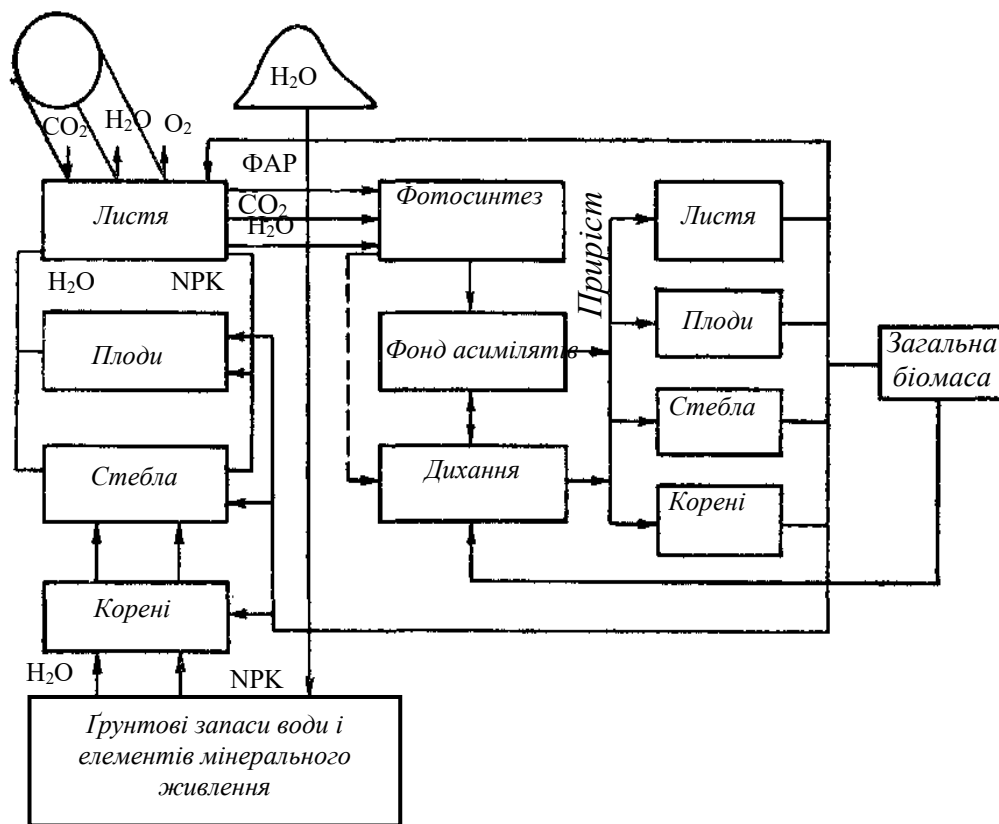


Рис. 4.1 – Блок-схема продукційного процесу (Х. Тоомінг, 1984)

Рослини, поглинаючи листками з атмосфери  $\text{CO}_2$  і кореневою системою воду з ґрунту, створюють в процесі *фотосинтезу* під впливом енергії сонячної радіації органічну речовину у вигляді асимілятів. Одночасно відбувається транспірація, яка забезпечує постачання рослин водою й елементам мінерального живлення і регуляцію теплового режиму рослин. В залежності від інтенсивності ФАР, водного і температурного режиму, швидкості вітру, концентрації  $\text{CO}_2$  у повітрі, родючості ґрунту і видових особливостей рослин процес фотосинтезу може йти з більшою або меншою швидкістю.

Другий фундаментальний процес – *дихання* – забезпечує постачання енергією різних біохімічних процесів синтезу, пов'язаних з ростом, побудовою нових структурних елементів рослин і з транспортом речовин, а також підтримку живих структур органів рослин. При цьому витрачається органічна речовина, накопичена в органах рослин.

Третій фундаментальний процес – *ріст*. Фотосинтез і ріст розглядаються як сполучені процеси. Енергетичне забезпечення ростової функції з боку фотосинтезу є неодмінною умовою росту. Система донорно-акцепторних відносин є основним проявом 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, імовірно, знаходяться в листках і стеблах. Асиміляти, запасені на більш тривалий період, здебільшого накопичуються в коренях. В умовах екологічного стресу, коли пригнічується фотосинтез, величина фондів стає істотним фактором формування урожаю [8].

Фонди забезпечують часткову автономність функції фотосинтезу і росту. Можливий обмежений ріст без фотосинтезу за умови, що енергетичне постачання відбувається за рахунок запасних субстратів попереднього фотосинтезу. Таким шляхом ростуть паростки, пагони і листки з бруньок дерев, так відбувається і ріст у нічні години. 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. Сучасні експериментальні і теоретичні дослідження і Дж.Х.М. Торнлі (1982) і Х. Молдау (1985) та ін. дозволили розширити наші знання про добову й онтогенетичну динаміку фондів.

Ріст – це складова частина продукційного 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 визначений проміжок часу  $\Delta M = M_2 - M_1$ . Приріст сухої фітомаси не є вичерпною характеристикою при оцінці росту органів рослин, тому що не враховує хімічний склад фітомаси.

Приріст сухої маси відбувається за якийсь часовий інтервал  $\Delta t$ , тому вживається поняття *абсолютної швидкості росту*:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1} \quad (4.1)$$

*і відносного приросту*:

$$R_r = \frac{M_2 - M_1}{\bar{M}(t_2 - t_1)}, \quad (4.2)$$

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

За даними Р.М. Олійника (1983р) максимальні прирости загальної біомаси кукурудзи на зрошуваному полі досягають 430–460 кг/га за добу, на богарі – 130–208 кг/га за добу. Максимальні величини відносного приросту досягають 0,38 – 0,50 відн. од.

Дані, що наводяться на (рис. 4.2), надають уявлення про вегетаційний хід відносних приростів біомаси озимої пшениці.

Динаміка площі листя характеризує роботу фотосинтетичного апарата протягом вегетаційного періоду. Посівами, що мають оптимальну структуру і добрий хід її розвитку і формування, вважаються такі, в яких площа листя швидко виростає до розмірів приблизно в 40 тис м<sup>2</sup>/га, потім довго, в залежності від тривалості вегетаційного періоду тієї чи іншої рослини, зберігається в активному стані на цьому рівні і, нарешті, значно зменшується або зовсім відмирає, віддаючи пластичні речовини на формування репродуктивних органів або тих, що запасують.

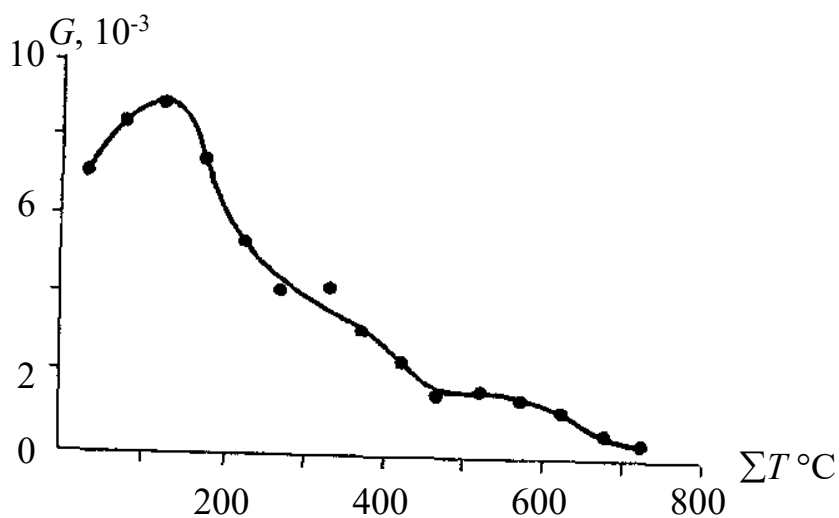


Рис. 4.2 – Динаміка відносної швидкості росту  $G$ (1/град.) рослин озимої пшениці Одеська 51. (В.С. Антоненко, 2002)

На (рис. 4.3) схематично зображені оптимальні ходи росту площі листя для рослин з різною тривалістю вегетаційного періоду (криві 1а–2в). Криві 1а–1в означають кількість сонячної радіації (в процентах від падаючої), яку можуть поглинати посіви 1а–2в відповідно до ходів росту в них площі листків. Як видно, у середньому за весь період вегетації такі посіви можуть поглинати до 50–60 % падаючої на них фотосинтетично

активної радіації. Для кожного графіка ходу росту площі листків (1а–2в) дається відповідний йому показник фотосинтетичного потенціалу посівів. Зміст цього показника полягає в наступному: робочою фотосинтетичною одиницею в посівах може вважатися 1 м<sup>2</sup> площі листків. За винятком витрат на дихання 1 м<sup>2</sup> в результаті фотосинтезу утворить за добу в середньому 4–7 г загальної сухої біомаси (однак ці показники можуть бути і значно вищими). Інакше кажучи, одиницею міри фотосинтетичної роботи в посіві може вважатися робота 1 м<sup>2</sup> листків за добу.

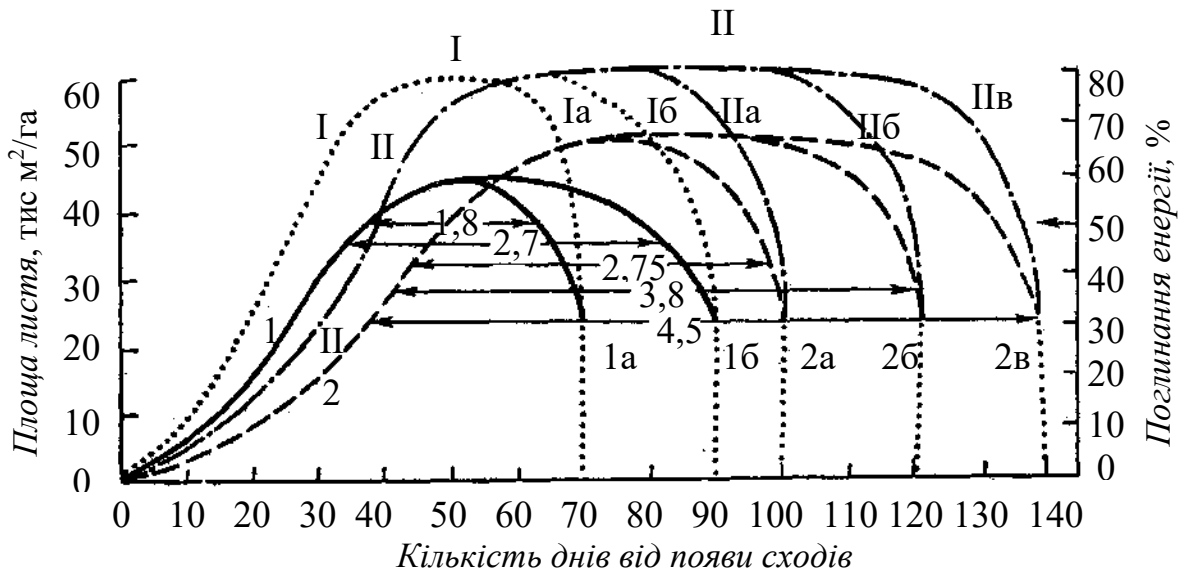


Рис. 4.3 – Оптимальні графіки росту площі листя у посівах рослин з різною тривалістю вегетаційного періоду (А.А. Ничипорович, 1963). 1а, 1б – з відносно коротким періодом вегетації; 2а, 2б, 2в – з довгим періодом. 1а, б; 2а, б, в – відповідні криві процентної кількості поглиненої посівами енергії сонячної радіації в міру росту в них площі листя.

Для характеристики тривалості фотосинтетичної роботи посіву протягом усього вегетаційного періоду або частини його запропоновано показник – *фотосинтетичний потенціал (ФП)*, який виражається в (м<sup>2</sup>·день)/га.

$$\Phi_n = \int_{t_1}^{t_2} L_0(t) dt, \quad (4.3)$$

Відповідно до визначення  $\Phi_n$ , він визначається як сума показників площі листя на гектар посіву за кожен день вегетаційного періоду або окремі його відрізки. Підсумовуючи показники площі листя на гектар посіву за кожний день вегетаційного періоду, визначається кількість одиниць можливої фотосинтетичної роботи посіву за весь вегетаційний період або за яку-небудь його частину.

Асиміляційна поверхня пшениці визначається не тільки листовими пластинками, але й іншими асимілюючими хлорофілоносними органами (соломина з листовими піхвами і колосся). В.А. Кумаков запропонував метод оцінки внеску всіх асимілюючих органів у фотосинтетичній діяльності рослин пшениці. Він ґрунтується на аналізі структури їхнього фотосинтетичного потенціалу (ФП), тобто сумарної асиміляційної поверхні за окремі періоди і за весь вегетаційний період. Підставою для застосування цього методу служить той факт, що з усіх фотосинтетичних показників урожай рослини найтісніше корелює з потужністю асиміляційного апарату, тобто з величиною фотосинтетичного потенціалу.

Якщо результати визначення ФП окремих органів зобразити графічно (рис. 4.4), то можна ясно представити склад працюючого асиміляційного апарату за будь-який відрізок часу.

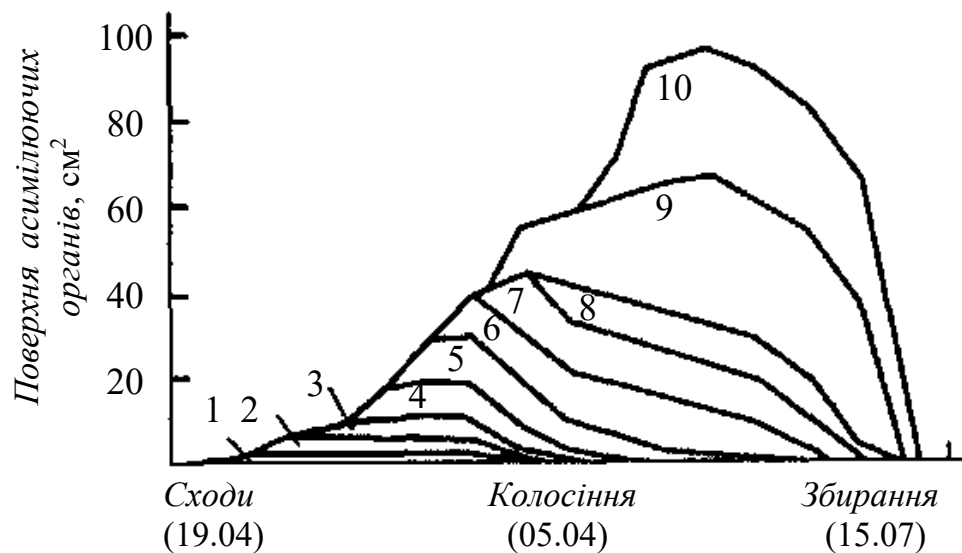


Рис. 4.4 – Структура ФП ярої пшениці сорту Альбідум 43 (Є.І. Кошкін, Г.Г. Гатауліна та ін., 2005).  
1 – 8 листя, 9 – соломина, 10 – колос.

У табл. 4.1 показана частка визначених листків у загальному ФП усіх листків за вегетацію сорту ярової пшениці Саратовська 29. Якщо відкинути дев'ятий листок, який утворюється дуже рідко, то майже 60 % усього ФП листків за вегетацію падає на три верхніх листка, а за період після колосіння 2/3 усієї роботи листків виконують два верхніх листки.

Таблиця 4.1– Внесок окремих органів ярої пшениці Саратовська 29 у фотосинтетичний потенціал головного пагона в різні періоди вегетації (Є.І. Кошкін, Г.Г. Гатауліна, 2005).

Асимілюючий орган	ФП окремих органів (см <sup>2</sup> ·д) в період					
	сходи – кущіння	кущіння – вихід у трубку	вихід у трубку – колосіння	колосіння – початок молочної стиглості	початок молочної стиглості збирання	всього за вегетаційний період
Листок:						96
1-й	48	37	11	–	–	
2-й	42	37	21	–	–	100
3-й	17	66	69	–	–	152
4-й	6	74	116	3	–	199
5-й	–	43	204	51	6	304
6-й	–	8	205	113	25	351
7-й	–	–	177	138	115	430
8-й	–	–	99	111	121	331
9-й	–	–	7	10	10	27
Усі листки	113	265	909	426	277	1990
Соломина	–	–	301	342	770	1413
Колос	–	–	–	361	669	1030
Рослина в цілому	113	265	1210	1129	1716	4433

При оцінці ролі різних органів, з урахуванням соломини і колосся, встановлено, що в цілому за вегетацію на частку листових пластинок падає менше половини усього ФП головного пагона, а за період від колосіння до збирання частка листків лише незначно перевищує 1/4 ФП пагонів.

При аналізі приросту біомаси використовується і величина  $E_{n,\phi}$ , яка дорівнює

$$E_{n,\phi} = \frac{1}{\bar{L}_0} \frac{\Delta M}{\Delta t}, \quad (4.4)$$

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

Величина  $E_{n,\phi}$  названа А.А. Ничипоровичем *чистою продуктивністю фотосинтезу посівів*. Вона широко використовується для характеристики фотосинтетичної активності листової поверхні.



Вивченню чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) як важливої складової урожаю пшениці приділяється велика увага. У цього показника три основні переваги:

– він визначається за тривалі проміжки часу, протягом яких коливання, пов'язані з ростовим станом листя, ярусною мінливістю, короткочасними змінами погодних умов та іншими причинами, згладжуються й елемент випадковості зводиться до мінімуму;

– у вивченні втягується велика кількість рослин, що дозволяє одержувати статистично достовірні дані;

– визначення ЧПФ не потребує газометричних приладів, як при вимірюванні інтенсивності фотосинтезу, і більш доступне в польових умовах. ЧПФ характеризує власне не фотосинтез у чистому вигляді, а добову різницю між фотосинтезом і диханням цілої рослини (не листка), віднесена до одиниці листової поверхні.

Розрахунок ЧПФ широко використовують у дослідженнях, тому що він дає узагальнене і добре порівнюване по варіантах, фазах розвитку, роках і т.д. уявлення про питому продуктивність асиміляційного апарату (рис. 4.5).

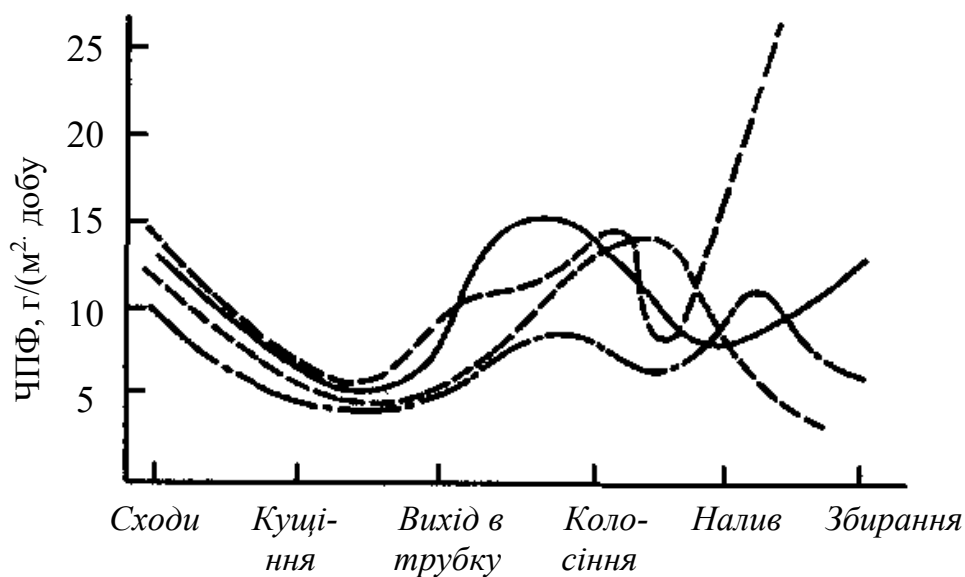


Рис. 4.5 – Динаміка ЧПФ фаз розвитку ярої пшениці Саратовська 29 за чотири різних роки дослідження (Є.І. Кошкін, Г.Г. Гатауліна та ін., 2005).

З поліпшенням умов живлення і водопостачання пшениці підвищуються інтенсивність фотосинтезу і продуктивність рослин, що супроводжується збільшенням показників ЧПФ.

В період вегетативного росту і при оптимальних умовах збільшення структурної маси відбувається пропорційно самій масі (стадія

експонентного росту). Ріст окремих органів рослини в оптимальних умовах протягом всього онтогенезу має характерні для даного виду закономірності, задані генетичним кодом рослини. При недостатці якої-небудь 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 мають температура і водний режим рослин. Ріст відбувається у визначеному температурному інтервалі, а всередині цього інтервалу при оптимальній температурі ріст досягає максимальної швидкості. При великих значеннях водного потенціалу  $\psi_k$   $k$ -го органа вода не лімітує його ріст, однак при погіршенні водного режиму рослин ( $\psi_k$  зменшується) ріст загальмується і припиниться, якщо  $\psi_k$  досягне деякого критичного значення  $\psi_{kкр}$ . З огляду на все вищевикладене, ріст структурної маси  $k$ -го органа рослини  $m_{sk}$  можна описати таким емпіричним рівнянням (З. Бихеле, Х. Молдау, Ю. Росс, 1980р.)

$$\frac{dm_{sk}}{d\tau} = \frac{g_k(\tau) * f_T(T_k) f_W(\psi_k) m_{sk}}{1 + \frac{1}{\alpha_C x_k^{(C)}} + \frac{1}{\alpha_N x_k^{(N)}} + \frac{1}{\alpha_P x_k^{(P)}} + \frac{1}{\alpha_K x_k^{(K)}}}, \quad (4.5)$$

де  $f_T(T_k)$  – температурна функція росту, причому  $f_T = 0$  на крайніх точках температурного інтервалу росту і  $f_T = 1$  при оптимальній температурі росту.

Функція  $f_W(\psi_k)$  є спадною і враховує вплив водного режиму рослини на його ріст, причому  $0 \leq f_W \leq 1$ .

Функція  $g_k(\tau)$  визначає максимальну швидкість росту за відсутності лімітуючих факторів, і її хід визначається генетичним кодом.

Функції  $f_T$  і  $f_W$  – безрозмірні

Функція  $g_k$  виражена в 1/с.

Члени  $\frac{1}{\alpha_j x_k^{(j)}}$  характеризують залежність росту структурної маси від

концентрації фондів вуглеводів і N, P, K;

$\alpha_k$  – емпіричні сталі, виражені в грамах структурної маси×(грам фондової маси)<sup>-1</sup> [1].

## 4.2 Ефективність використання сонячної радіації фітоценозами

**Коефіцієнт ефективності фотосинтезу.** Оскільки продуктивність поряд з фотосинтезом визначається також і дихальною компонентою, постає питання про взаємозв'язок сумарного газообміну з нагромадженням біомаси

у рослин. Ступінь використання засвоєної  $\text{CO}_2$  на побудову біомаси рослин характеризується *коефіцієнтом ефективності фотосинтезу* ( $K_{\text{еф}}$ ). Він показує, яку кількість сухої біомаси рослина утворить протягом доби при засвоєнні одиниці (1 г, 1 кг)  $\text{CO}_2$ . Теоретично можливий  $K_{\text{еф}}$  дорівнює 0,68. За сприятливих умов значення  $K_{\text{еф}}$  може наближатися до 0,5, а за несприятливих – знижуватися до нуля або навіть бути негативним. Найчастіше величини  $K_{\text{еф}}$  коливаються, значно змінюючись в онтогенезі. Так, у ярової пшениці  $K_{\text{еф}}$  був максимальним у фазі кушіння – 0,42, а у фазі молочної стиглості він знизився до 0,08. Отже, ефективність фотосинтезу від колосіння до початку молочної стиглості знизилася більш ніж у 5 разів. У озимій пшениці  $K_{\text{еф}}$  в середньому за вегетацію становив 0,4–0,42 [8,12].

Мінливість  $K_{\text{еф}}$  у ході вегетації може залежати також від неповного врахування біомаси в результаті втрат речовин, виділених рослинами через корені в процесі екзоосмосу, від утворення гелеподібних коренеобволікаючих чохлів і від летких газоподібних сполук. За розрахунками С.А. Самцевича, рослини озимій пшениці і кукурудзи за рахунок утворення гелеподібних речовин коренеобволікаючих чохлів можуть виділити у ґрунт 70–125 ц/га сухої речовини. Величина втрат визначається довжиною вегетаційного періоду й умовами вирощування.

Все це призводить до значних коливань ЧПФ і визначає невідповідність між інтенсивністю фотосинтезу, його добовою продуктивністю і біологічним урожаєм, а також між останніми і ЧПФ.

**Коефіцієнт корисної дії фітоценозів (ККД).** Ефективність використання сонячної радіації фітоценозами характеризується *коефіцієнтом корисної дії* (ККД), який визначається відношенням кількості енергії, запасеної в продуктах фотосинтезу або утвореної у фітомасі урожаю, до кількості поглиненої радіації

$$\eta = \frac{qY \cdot 100\%}{\sum Q_{\phi}}, \quad (4.6)$$

де  $q$  – калорійність рослини, кДж/г;

$Y$  – біологічний урожай загальної сухої фітомаси, г/см<sup>2</sup>;

$\sum Q_{\phi}$  – сума ФАР за вегетаційний період, МДж/м<sup>2</sup>.

Якщо вивчається динаміка ККД, то під величиною  $Y$  варто мати на увазі приріст сухої фітомаси за розглянутий період, а під  $\sum Q_{\phi}$  – суму ФАР за цей же період.

Середня калорійність сухої біомаси у різних видів рослин варіює в межах 16,7–20,5 кДж/г. Калорійність змінюється в онтогенезі і для різних органів рослини вона різна. Калорійність листків кукурудзи знижується від 17,6 кДж/г на початку вегетаційного періоду до 10,5 кДж/г наприкінці.

В екстремальних умовах росту рослин калорійність вища, ніж за сприятливих умов, це пояснюється адаптацією рослин до умов навколишнього середовища.

ККД фітоценозу можна виразити як щодо падаючої, так і щодо поглиненої фітоценозом радіації. Вони пов'язані співвідношенням

$$\eta_n = a_n \eta_a , \quad (4.7)$$

де  $\eta_n$  – ККД, визначений щодо падаючої радіації;

$\eta_a$  – ККД щодо поглиненої радіації;

$a_n$  – функція поглинання радіації фітоценозом.

ККД поглиненої фітоценозом радіації характеризує, насамперед, фотосинтетичну активність і економічність дихання самих рослин. ККД щодо падаючої на рослинний покрив ФАР характеризує ефективність використання рослинами поверхні землі. У посівах сільськогосподарських культур ККД щодо падаючої ФАР характеризує ефективність агротехніки і якість експлуатації землі. Наприклад, якщо експеримент показує, що ККД відносно поглиненої ФАР високий, а відносно падаючої ФАР низький, то це означає, що рослини інтенсивно й ефективно фотосинтезують. Але їх мало на одиницю площі землі, тому значна частина падаючої ФАР на поверхню ґрунту некорисна для рослин. Отже, або норма сівби була низькою, або фактори середовища перешкоджали збільшенню відносної площі листя рослинного покриву .

ККД посівів залежить від строків і густоти посіву, від кількості внесених мінеральних добрив, погодних умов і т.п. Спостерігається дуже велика зміна ККД окремих сільськогосподарських культур протягом вегетаційного періоду. Наприклад, ККД посіву кукурудзи відносно падаючої ФАР протягом вегетаційного періоду може змінюватися від 0,4 до 9,5 %. В особливо сприятливі для фотосинтезу періоди у поливних рослин кукурудзи ККД, розрахований для поглиненої ФАР, досягає 12,5 %.

ККД прихідної ФАР на формування урожаїв ярої й озимої пшениці в різних зонах країни в середньому за період вегетації варіює від 0,3 до 4 % табл. 4.2.

В дуже засушливі роки ККД ФАР падає до 0,3 %. При достатній вологозабезпеченості на фоні різного мінерального живлення він складає 1–3 %, а при сполученні зрошення з мінеральним живленням – 3–4 %. З ростом ККД ФАР, як правило, збільшуються біологічні і господарські урожаї. Однак при високих урожаях біомаси  $K_{зосн}$  трохи знижується. При цьому спостерігається зворотна залежність між величинами ККД ФАР і  $K_{зосн}$ .

У високопродуктивних сортів інтенсивного типу селекції академіка П.П. Лук'яненко, які мають високий вихід зерна (0,4–0,53) і зберігають його при зростаючих дозах добрив і водозабезпеченості, максимальні урожаї зерна в 70–80 ц/га і навіть більше 90 ц/га спостерігаються

звичайно при біологічних урожаєх 160–180 ц/га, тобто при ККД ФАР 3–4 %. Такі сорти мають великий потенціал урожайності і при подальшому збільшенні ККД ФАР і загальної біомаси можуть дати значну прибавку [8, 12, 40].

Таблиця 4.2 – Використання сонячної енергії (ФАР) посівами пшениці та її продуктивність (Є.І. Кошкін та ін., 2005).

ККД ФАР	$U_{\text{біолог}}$ , ц/га	$U_{\text{госп}}$ , ц/га	$K_{\text{госп}}$
Яра пшениця			
0,30	17,6	4,0	0,24
1,50	89,8	35,7	0,43
3,30	132,0	39,9	0,30
4,07	186,0	57,4	0,31
Озима пшениця			
0,90	58,8	18,5	0,31
1,50	98,5	32,4	0,39
2,83	141,0	49,3	0,35
3,43–3,67	215,0–230,0	67,3–69,4	0,25–0,28

Теоретично можна одержувати урожаї з ККД , якщо надходження ФАР становить 7–8 % і навіть 10 % (при оптимальному постачанні водою й елементами мінерального живлення). Це означає, що в районах, де надходження ФАР за період вегетації складає 2–3 млрд. ккал/га, урожай зерна пшениці може досягати 150 ц/га. Про реальність таких урожаїв свідчать приклади створення у вітчизняній і світовій селекції низкорослих (короткостеблових) сортів пшениці інтенсивного типу, які дають урожай 100 ц/га і вище. Що стосується теоретично можливих ККД ФАР, то вони складають 28–29 % за газообміном і 20–22 % за енергією, що запасується в біомасі. Все це свідчить про значні резерви збільшення урожайності культур.

Потенційний ККД  $C_3$ -рослин за вегетаційний період складає близько 3 %; ККД  $C_4$ -рослин досягає 5%. ККД природних пасовищ, у яких переважають види з  $C_4$ -циклом, як правило, не перевищують ККД пасовищ, які складаються з  $C_3$ -рослин. У період максимальних приростів потенційний ККД за ФАР у  $C_3$ -рослин складає 3–4 %, в окремих випадках досягає 9–11 %; ККД  $C_4$ -рослин досягає 5–6 % і більше.

**Коефіцієнт господарської ефективності урожаю.** Важливим показником продуктивності посівів сільськогосподарських культур є коефіцієнт господарської ефективності урожаю  $K_{\text{госп}}$ , який виражає відношення кількості сухої фітомаси господарської частини урожаю (зерно, початки, бульби і т.д.) до маси загальної сухої фітомаси. Коефіцієнт

господарської ефективності залежить від сорту сільськогосподарських культур і агрометеорологічних умов. Наприклад,  $K_{зосп}$  озимої пшениці в умовах Полтавської області варіює від 13 до 53 %. З причин, що знижують  $K_{зосп}$ , насамперед слід зазначити посуху і полягання рослин. При високій загальній продуктивності фотосинтезу і прирості загальної сухої фітомаси зниження  $K_{зосп}$  зумовлене погіршенням умов ФАР всередині посіву при інтенсивному вегетативному рості рослин, великою висотою рослин і недостатньою забезпеченістю рослин поживними речовинами при високій вологості ґрунту.

Мінеральні елементи при роздрібненому і диференціальному застосуванні підвищують  $K_{зосп}$  і якість урожаю. Спільне внесення азоту і фосфору, посилене фосфорне живлення, а також бор і марганець сприяють підвищенню  $K_{зосп}$ , тоді як посилене азотне живлення і мідь знижують  $K_{зосп}$  окремих культур. Аналіз отриманих унікальних даних дослідів з озимим житом і пшеницею на Полтавській дослідній станції протягом 72 років дозволяє зробити деякі важливі висновки:

1) у ході селекції урожай як загальної сухої фітомаси, так і зерна поступово підвищується при цьому відзначається тенденція росту  $K_{зосп}$ ;

2) показник  $K_{зосп}$  знижується при дуже низькому і при досить високому нагромадженні фітомаси, однак, при деякому середньому значенні фітомаси він досягає найбільшої величини (рис. 4.6).

Таким чином, високий рівень нагромадження загальної фітомаси є, з одного боку, базою для створення високого урожаю зерна, з іншого – часто веде до зниження коефіцієнта господарської ефективності посівів. Отже, рівень господарсько-цінної кошовної частини урожаю не завжди пропорційний значенню ККД, розрахованому за загальною сухою фітомасою. Тому поряд із ККД посіву  $\eta$ , розрахованою за загальною сухою фітомасою, іноді можна розглядати окремо ККД господарсько-цінної частини урожаю за вегетаційний період

$$\eta_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{n}\tilde{i}} = \frac{qm_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{n}\tilde{i}}}{\sum Q_{\phi}}, \quad (4.8)$$

де  $m_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{n}\tilde{i}}$  – суха фітомаса господарсько-цінної частини урожаю;

$q$  – калорійність урожаю;

$\sum Q_{\phi}$  – сума ФАР за вегетаційний період.

Таким чином  $\eta_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{n}\tilde{i}}$  – це частка ФАР, запасена протягом вегетаційного періоду у фітомасі господарсько-цінних органів рослин. ККД, розрахований по загальній сухій фітомасі, і  $\eta_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{n}\tilde{i}}$  пов'язані співвідношенням

$$\eta_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{n}\tilde{i}} = \eta K_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{n}\tilde{i}}. \quad (4.9)$$

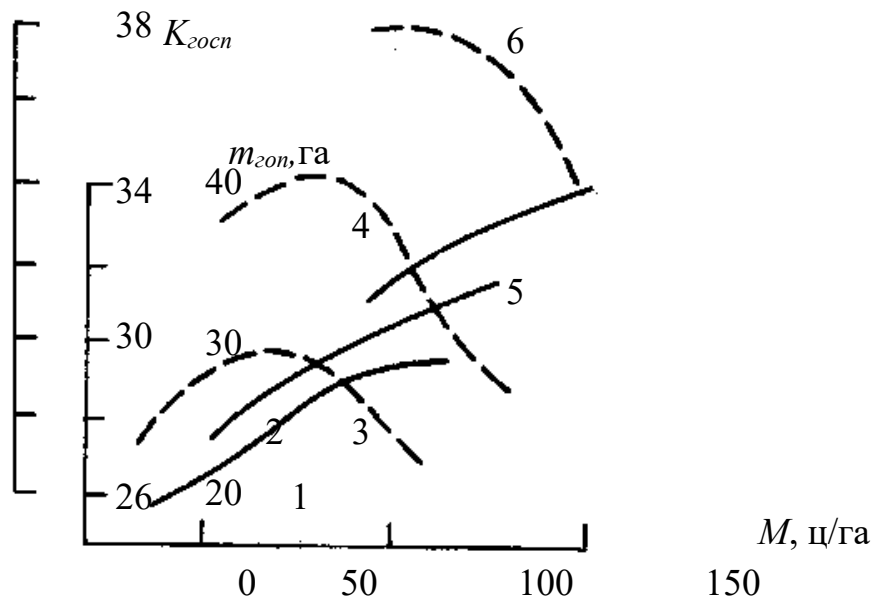


Рис. 4.6 – Зміна урожаю зерна  $m_{зосп}$  і показника  $K_{зосп}$  в залежності від урожаю сухої фітомаси озимої пшениці  $M$  в процесі сортозміни (Х. Тоомінг, 1977). 1, 3, 5 – маса зерна; 2, 4, 6 – показник  $K_{госп}$ ; 1, 2 – досліді 1886-1907 рр.; 3, 4 – 1923-1928 рр.; 5, 6 – 1952-1962 рр.

Отже, щоб забезпечити високі значення ККД господарсько-цінної частини урожаю, виведення нових сортів і всі агротехнічні прийоми повинні бути спрямовані на забезпечення високого показника  $K_{зосп}$  при високому значенні ККД загальної фітомаси посіву  $\eta$ .

ККД посіву в цілому значно нижчий від ККД листя. Природними причинами зниження ККД посівів є: 1) недостатня площа листової поверхні на початку вегетаційного періоду, що не дозволяє повністю використовувати падаючу на посів ФАР; 2) поступове збільшення в ході росту витрат на дихання фотосинтезуючих і нефотосинтезуючих органів рослин; 3) наявність листків, фотосинтетично неактивних через їхній вік; 4) наявність листків, не адаптованих до існуючих умов ФАР всередині посіву.

О.О. Ничипорович (1956 р.) посіви за їхніми середніми значеннями ККД підрозділив на такі групи:

звичайні	0,5–1,5%
добрі	1,5–3,0 %
рекордні	3,5–5,0 %
теоретично можливі	6,0–8,0 %

За оцінками Х. Тоомінга теоретично можливий ККД посіву ячменю трохи нижчий від передбачуваного О.О.Ничипоровичем і становить близько 5 % [12].

**Узагальнені показники фотосинтетичної діяльності посівів.** Розгляд основних факторів фотосинтетичної діяльності рослин у посівах показує, що будь-який агротехнічний прийом, спрямований на підвищення урожайності, ефективний у тому випадку, якщо він: 1) забезпечує швидкий розвиток і досягнення великих розмірів площі листя ; 2) підвищує продуктивність фотосинтезу листя; 3) зберігає його в активному стані якомога триваліший період; 4) сприяє найкращому використанню продуктів фотосинтезу, спочатку на посиленій ріст живильних і провідних органів (листки, корені, стебла), а потім на ріст господарсько-цінних органів і нагромадження в них можливо більшої кількості, можливо кращої якості органічних речовин, які складають основний урожай рослин.

Ріст площі листя і чиста продуктивність фотосинтезу як основні показники фотосинтетичної діяльності рослин у посівах визначають величину добових приростів сухої речовини й у кінцевому рахунку урожай рослин.

Внесення добрив при оптимальній вологості ґрунту (не нижчій за 75 % від НВ) збільшує рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вплив добрив, вологозарядкових поливів і зрошення на чисту продуктивність фотосинтезу кукурудзи, г/(м<sup>2</sup>·д) (Г.П. Устенко, 1963)

Варіант досліджу	Густота посіву	Червень			Липень			Серпень		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Зимова волого зарядка										
Без добрив	40,0	8,0	7,8	8,6	6,9	4,2	1,4	1,1	5,1	4,6
Зимова вологозарядка і чотири вегетаційних поливи										
Гній 80 т + N <sub>300</sub> P <sub>136</sub>	56,0	10,0	10,0	8,8	10,0	7,9	6,7	6,6	11,6	10,0
N <sub>300</sub> H <sub>136</sub>	64,0	8,6	6,5	7,3	6,0	5,8	5,0	4,8	7,6	7,1
Чотири вегетаційних поливи										
N <sub>300</sub> P <sub>136</sub>	68,0	10,0	9,3	8,3	8,9	6,2	5,0	3,6	9,7	7,4
N <sub>300</sub> P <sub>176</sub>	68,0	10,0	9,3	8,3	8,9	6,2	5,0	5,2	10,3	7,6

Внесення повної дози мінеральних добрив у сполученні з внесенням органічних добрив майже в 1,5–2 рази підвищує рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів, що в кінцевому результаті дозволяє отримати максимальні урожаї зерна.



### 4.3 Потенційний і дійсно можливий урожай посівів

А.А. Ничипорович в 50-і роки минулого століття сформулював основи теорії високої продуктивності посівів сільськогосподарських культур. Він запропонував рівняння зв'язку між фотосинтезом і нагромадженням органічної речовини в динаміці формування не тільки біологічного  $U_{біол}$ , але і господарського  $U_{госп}$  урожаю в агрофітоценозі. А.А. Ничипорович ввів важливі елементи рівняння – коефіцієнт ефективності фотосинтезу  $K_{ef}$  і коефіцієнт господарської ефективності  $K_{госп}$

$$O_{\text{аїїї}} = \frac{\sum (\Phi_{\text{CO}_2} \cdot L \cdot K_{\text{ef}} \cdot K_{\text{госп}}) \cdot 1, 2, 3, \dots, n}{100000}, \quad (4.10)$$

де  $\Phi_{\text{CO}_2}$  – денна продуктивність фотосинтезу;

$L$  – площа або індекс листової поверхні;

$K_{ef}$  – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;

$K_{госп}$  – коефіцієнт господарської ефективності;

$n$  – час активної роботи фотосинтетичного апарату.

Таким чином, найвищі урожаї можна бути отримати при інтенсивному рості розмірів площі листя рослин в агрофітоценозі, при найбільшому часі активної роботи фотосинтетичного апарату протягом кожної доби і вегетаційного періоду, тобто при найбільш високих значеннях фотосинтетичних потенціалів, при найбільш високих сумах денного засвоєння  $\text{CO}_2$ , а також високих коефіцієнтах ефективності фотосинтезу. Отже всі агротехнічні заходи, включаючи використання добрив, поливи і т.п., а також селекційно-генетичні заходи повинні спрямовуватись на підтримку оптимального розвитку вказаних процесів і узгодження процесів фотосинтетичного і дихального метаболізму [8].

На основі досліджень фотосинтетичної продуктивності сільськогосподарських культур і природних фітоценозів Х. Тоомінг (1977 р.) сформулював концепцію максимальної продуктивності посівів.

Відповідно до принципу максимальної продуктивності, адаптація рослин і фітоценозу спрямована на забезпечення максимально можливого газообміну  $\text{CO}_2$  в даних умовах середовища, тобто

$$F_c(L_0, t) \rightarrow \max. \quad (4.11)$$

Це відносний максимум газообміну  $\text{CO}_2$ , тобто рівень, який забезпечено на даному етапі еволюції структурами і функціями рослин і існуючими умовами середовища. Максимум газообміну може виявитися дуже високим, наприклад у  $\text{C}_4$ -рослин при достатній вологозабезпеченості і високому надходженні ФАР. Максимальний

рівень газообміну може виявитися і надзвичайно низьким, наприклад у пустелях або під лісом. У таких умовах газообмін  $\text{CO}_2$  тимчасово може мати навіть негативні значення, але все-таки максимальні для існуючих умов середовища [12].

Для оцінки потенційної продуктивності сільськогосподарських культур Х. Тоомінг (1984 р.) запропонував *метод еталонних урожаїв*, що є логічним виходом принципу максимальної продуктивності. Метод еталонних урожаїв розглядає і порівнює різні категорії урожаїв: потенційний урожай ПУ, дійсно можливий урожай ДМУ і урожай у виробництві УВ. Перший з них (ПУ) – це урожай сорту в ідеальних метеорологічних умовах, він визначається приходом ФАР, біологічними властивостями культур і сортів. Другий урожай (ДМУ) – це максимально можливий урожай культури або сорту в існуючих метеорологічних і ґрунтових умовах. ПУ – це абстрактне поняття, тому що не цілком визначено, які метеорологічні умови є ідеальними для формування урожаю культури або сорту. ПУ можна представити як урожай, що формувався в умовах оптимуму водно-теплового режиму. На даному етапі розглядаємо в основному ПУ і ДМУ за ідеальних ґрунтових умов. Дослідження еталонних урожаїв у такому випадку дозволяє з'ясувати їхні максимально можливі значення, вивчати вплив погодних і кліматичних умов на ДМУ. ДМУ в ідеальних ґрунтових умовах у роботах Н.Ф. Бондаренко названий також кліматично забезпеченим урожаем (КУ). При визначенні ґрунтової родючості в першому наближенні ПУ і ДМУ для ідеальних ґрунтових умов можна помножити на бал ґрунту, нормований на одиницю [8]. Незважаючи на деяку абстрактність, поняття ПУ і ДМУ виявляються дуже корисними при вирішенні ряду задач сільськогосподарської науки і виробництва. ПУ – це рівень урожаю, до якого варто прагнути, узгоджуючи потреби рослин з умовами середовища шляхом агротехнічних заходів, меліорації земель, районування культур і сортів відповідно до клімату і мікроклімату. Підвищувати ж рівень ПУ можна шляхом селекції. ДМУ – це рівень урожаю, до якого варто прагнути при програмуванні урожаїв.

**Потенційний урожай посівів.** При розробці принципів максимального використання ФАР і програмування урожайності посівів сільськогосподарських культур, насамперед, слід уточнити значення теоретично максимально можливого урожаю. При цьому доцільно використовувати поняття *потенційний урожай* (ПУ). ПУ – це значення урожаю, що забезпечується приходом енергії ФАР при оптимальному режимі метеорологічних факторів протягом всього вегетаційного періоду. ПУ загальної сухої фітомаси ( $\text{г/см}^2$ ) можна розрахувати за формулою

$$Y_{nom} = \int_0^{\tau_0} \frac{\eta_{nom}(t)}{q(t)} Q_{\phi}(t) dt, \quad (4.12)$$

де  $\eta_{nom}(t)$  – функція (хід) потенційного ККД посіву протягом вегетаційного періоду;

$q(t)$  – калорійність рослин, кДж/м;

$Q_{\phi}(t)$  – функція денних сум ФАР протягом вегетаційного періоду, МДж/м<sup>2</sup>;

$\tau_0$  – тривалість вегетаційного періоду, дні.

Потенційний урожай загальної сухої фітомаси можна приблизно розрахувати на основі середнього за вегетаційний період потенційного ККД

$$Y_{nom} = \frac{\eta_{nom} \sum Q_{\phi}}{q}, \quad (4.13)$$

де  $\eta_{nom}$  – середній за вегетаційний період потенційний ККД;

$\sum Q_{\phi}$  – надходження ФАР за вегетаційний період.

ПУ господарсько-цінних органів (зерна, бульб картоплі та ін.) розраховується з використанням множника  $K_{зосп}$ . ПУ залежить не тільки від сум ФАР, але і від ходу потенційного ККД посіву протягом вегетаційного періоду. Потенційний ККД посіву – це максимальний ККД посіву, забезпечений біологічними властивостями сорту, сучасною агротехнікою і рівнем родючості ґрунту в оптимальних для даного сорту метеорологічних умовах. Отже при незмінному надходженні ФАР ПУ посівів залежить від біологічних властивостей культур і сортів, а також від родючості ґрунту, що відбиваються на ККД.

Значення потенційного ККД і ПУ непостійні. У зв'язку з інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва, виведенням нових сортів, удосконаленням агротехніки і збільшенням доз добрив потенційний ККД і ПУ зростають [8].

**Дійсно можливий урожай** – це урожай, який визначається значенням ПУ і лімітується дією режиму метеорологічних факторів протягом вегетації. Дійсно можливий урожай (ДМУ) відрізняється від ПУ тим більше, чим більше метеорологічні фактори відрізняються від оптимальних.

У першому наближенні можна нехтувати взаємозв'язком впливу метеорологічних факторів на урожай і виразити ДМУ формулою

$$Y_{ДМУ} = Y_{nom} F(f_1) F_2(f_2) \dots F_k(f_k), \quad (4.14)$$

де  $Y_{ДМУ}$  – дійсно можливий максимальний урожай;

$F_i(f_i)$  – функція, що відображає залежність урожаю від фактора  $f_i$ .

Задачею агротехніки, меліорації, районування культур, селекції і розробки принципів підвищення ефективності використання посівами ФАР є зменшення різниці між  $Y_{ДМУ}$  і  $Y_{nom}$ , тобто зменшити різницю

$$\Delta Y = Y_{nom} - Y_{ДМУ} = Y_{nom} \left[ 1 - \prod_{i=1}^k F_i(f_i) \right], \quad (4.15)$$

Іншими словами, ця різниця визначає максимальний приріст урожаю, якщо вдається оптимізувати фактор  $f_i$ .

Головною передумовою для одержання високого урожаю, близького до ПУ, є оптимальність водного режиму в посівах. Як функцію зниження урожаю водним дефіцитом можна використовувати відношення

$$F_1 = E / E_0, \quad (4.16)$$

де  $F_1$  – функція зниження урожаю водним дефіцитом, що у даному випадку являє собою коефіцієнт ґрунтово-атмосферного зволоження;

$E$  – сумарне випаровування рослинністю;

$E_0$  – випаровуваність рослинності.

За умови  $E=E_0$  водний режим посіву можна вважати оптимальним. Якщо  $E < E_0$ , то урожай лімітується водним дефіцитом.

На основі формул (4.8) і (4.16) можна записати

$$Y_{ДМУ} = Y_{nom} E / E_0. \quad (4.17)$$

Включаючи сюди вираз (4.4), отримуємо

$$Y_{ДМУ} = Y_{nom} E \sum Q_{\phi} / q E_0. \quad (4.18)$$

Недобір урожаю через водний дефіцит  $\Delta E = E_0 - E$  можна визначити за формулою

$$Y_{ДМУ} = Y_{nom} (1 - E / E_0) \quad (4.19)$$

або

$$\Delta Y = \eta / q = \sum Q_{\phi} (1 - E / E_0). \quad (4.20)$$

На основі формул (4.18)–(4.20) можна оцінити дійсно можливі урожаї і урожай, недоодержаний через дефіцит опадів, якщо  $E \leq E_0$ .

Розгляд цих формул показує, що втрати урожаю через водний дефіцит зростають з підвищенням ПУ і ККД посіву.

## 5. НЕБЕЗПЕЧНІ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ ЯВИЩА ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

### 5.1 Види і типи небезпечних гідрометеорологічних явищ

Кожне суспільство впродовж свого існування пристосовується до природно – кліматичних умов території, на якій воно проживає. Але виникають надзвичайні ситуації, коли природні явища негативно впливають на діяльність населення і стан людей. Такі природні явища називають *стихійними* або *екстремальними* [48, 59, 61].

Екстремальні явища (ЕЯ) (небезпечні явища, *НЯ*) можна поділити на три види: *стихійні гідрометеорологічні, геліофізичні та геофізичні, явища екстремально високого забруднення природного середовища забруднюючими речовинами.*

*Стихійні гідрометеорологічні явища (СГЯ), або небезпечні гідрометеорологічні явища (НГЯ) являють собою атмосферні явища аномального характеру. Ці явища пов'язані з особливостями циркуляційних процесів в атмосфері, на які можуть впливати і орографічні особливості території, і вони можуть завдавати значного збитку багатьом галузям народного господарства, особливо сільськогосподарському виробництву.*

*До стихійних гідрометеорологічних явищ відносяться такі метеорологічні, агрометеорологічні, гідрологічні і морські гідрометеорологічні явища, які за своєю інтенсивністю, тривалістю, районом поширення можуть завдати значних збитків народному господарству країни, населенню та спричинити стихійні лиха. Ці явища називаються небезпечними природними явищами (НПЯ). Відомо більше 20 небезпечних гідрометеорологічних явищ. До них відносяться: весняне водопілля, заморозки, засухи, суховії, екстремально високі температури, пилові буревії, урагани, шквалісті вітри, смерчі, град, тривалі опади, інтенсивні зливові дощі і грози, які спричиняють перезволоження ґрунту на рівнинах та селеві потоки в гірських районах, сильні та тривалі снігопади, снігові лавини, тумани, тривалі відлиги, ожеледь, паморозь, безсніжні зими при екстремально низьких температурах і ін. Гідрометеорологічні явища вважаються *небезпечними*, якщо при їх виникненні необхідно застосовувати спеціальні заходи для помягчення, або запобігання негативному впливу на галузі економіки. Гідрометеорологічні явища і величини, які не досягають критеріїв небезпечних явищ, але ускладнюють діяльність різних галузей економіки та конкретних підприємств, відносяться до *несприятливих умов погоди**

(НУП). В агрометеорології до таких явищ відносяться такі, які не досягають критеріїв СГЯ, але негативно впливають на стан сільськогосподарських культур і тварин та ускладнюють діяльність сільськогосподарської галузі або підприємств.

В останні роки з'явилося ще одне поняття – *комплексні несприятливі явища (КНЯ)*. До них відносяться сполучення двох або більше несприятливих явищ.

Виробнича і техногенна сфери економіки країни формуються в конкретних природних умовах. Тому одним із важливих аспектів впливу НГЯ на різні галузі економіки є вивчення і аналіз *гідрометеорологічної вразливості (ГМВ)* окремих територій та виробничо-господарських об'єктів. Це комплексне поняття (ГМВ) включає небезпечні і несприятливі гідрометеорологічні характеристики (інтенсивність, частота появи, територія охоплення), а також економічні показники (погодозалежність галузі, масштаби господарського об'єкта, ступінь його захищеності і рівень нанесених збитків).

Всі небезпечні гідрометеорологічні явища поділяються на групи: метеорологічні, агрометеорологічні, гідрологічні і морські. Основну групу СНЯ становлять метеорологічні явища (75 %), близько 15 % - гідрологічні, близько 10 % - агрометеорологічні.

До стихійних *геліофізичних явищ* відносяться різкі погіршення радіаційної обстановки в навколосемному космічному просторі і різкі зміни стану іоносфери.

До *геофізичних явищ* відносяться землетруси, виверження вулканів, сходи снігових лавин і ін.

До *екстремально високого забруднення природного середовища* відносяться такі рівні вмісту забруднюючих речовин, під впливом яких завдається чи може завдатись збиток народному господарству, здоров'ю населення, рослинному і тваринному світу.

На жаль, науковою спільнотою сьогоdnішнього рівня не розроблені достовірні методи прогнозів екстремальних геофізичних, геліофізичних явищ і причин екстремально високого забруднення природного середовища. Що стосується екстремальних гідрометеорологічних явищ, то гідрометеорологічною службою складаються попередження про небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища на основі детального аналізу діагностичних і прогностичних карт та інформації, яку отримують від гідрометеорологічних станцій і постів, метеорологічних супутників Землі, експлуатаційних служб та ін. [48, 61].

Особливості фізико-географічного положення України та синоптичних процесів, що розвиваються на її території, створюють умови

для частого виникнення стихійних гідрометеорологічних явищ і зумовлюють надзвичайну складність розподілу їх у просторі й часі.

Повсюди стихійні метеорологічні явища спостерігаються майже щорічно в тому чи іншому регіоні світу. В Україні на частіше спостерігаються сильні дощі, які випадають в Карпатах, де зумовлюють повені, сільові потоки, лавини, зсуви. Значною є також повторюваність снігопадів, сильних хуртовин, туманів. Велика повторюваність посушливих явищ, особливо в степових районах. Всі явища завдають значного економічного збитку, особливо сільськогосподарському виробництву [59, 61].

До найбільш вразливих галузей економіки відносяться сільське господарство, транспорт, житлово – комунальне господарство.

Екстремальні гідрометеорологічні явища характеризуються дуже значною мінливістю в часі і просторі та відрізняються надзвичайною складністю і строкатістю, що призводить до великих ускладнень їх дослідження і необхідності удосконалення методики їх вивчення та попередження.

## 5.2 Небезпечні гідрометеорологічні явища та їх критерії

Гідрометеорологічні явища (або їх комплекси), які за своїм значенням, інтенсивністю, тривалістю, охопленням території або часу завдають або можуть завдати значного збитку різним галузям економіки, називаються небезпечними гідрометеорологічними явищами (НГЯ). Гідрометеорологічне явище вважається небезпечним, якщо при його виникненні необхідно вживати спеціальних заходів для помягчення або попередження негативного впливу на галузі економіки.

**Небезпечні** (стихійні, екстремальні) гідрометеорологічні явища характеризуються значною мінливістю в часі і просторі та відзначаються складністю і строкатістю.

Відомо близько 20 небезпечних гідрометеорологічних явищ : весняне водопілля, заморозки, засухи, суховії, екстремально високі температури, пилові буревії, урагани, шквалисті вітри, смерчі, град, тривалі дощі, інтенсивні зливи, сильні і тривалі снігопади, снігові лавини, тумани, тривалі відлиги, рпморозь, безсніжжя при екстремально низьких температурах.

Кількість негативних впливів, зв'язаних з водою, кліматом і погодою, в останні роки збільшується, тому і збільшуються економічні втрати від НЯ із року в рік. З 1992 по 2001 90 % усіх стихійних лих мали метеорологічне або гідрологічне походження.

*Критерії небезпечних гідрометеорологічних явищ* – це кількісні показники гідрометеорологічних величин або їх якісні характеристики,

досягнувши яких стихійне гідрометеорологічне явище слід вважати небезпечним. Критерії встановлюються стосовно визначених територій і стосовно до конкретних галузей економіки територіальними та державними управліннями з гідрометеорології і моніторингу навколишнього середовища.

Небезпечні явища мають такі критерії:

*сильний дощ, дуже сильні опади* – кількість опадів 50 мм і більше впродовж 12 годин і менше, в гірських, селевих і зливонебезпечних районах – 30 мм і більше за 12 годин і менше;

*сильні зливи* – кількість опадів 30 мм і більше за 1 годину і менше;

*тривалий дощ* – кількість опадів 100мм і більше за 1 – 3 доби;

*великий град* – діаметр градин 20 мм і більший;

*вітер, шквали, буревії, смерчі* – максимальна швидкість вітру – 25 м/с і більше;

*сильні пилові (піщані) буревії*- швидкість вітру більша 15 м/с;

*сильні хуртовини* – впродовж дня або ночі швидкість вітру 15 м/с і більша зі снігом;

*сильні снігопади* - видимість 100 м і менше;

*сильна ожеледиця* – діаметр відкладів на проводах стандартного ожеледевого станка 20 мм і більший;

*сильний мороз* – коли абсолютний мінімум температури повітря в південних областях України знижується до -25 і нижче, на іншій території – до – 30 °С і нижче. Особливо небезпечна температура повітря – 35 °С і нижче;

*сильна спека*– коли абсолютний максимум температури повітря в південних і південно – східних областях піднімається до 35 °С і вище, в північних і північно – західних областях України – до 30 °С і вище. Особливо небезпечна температура повітря вища за 40 °С;

*надзвичайна пожежонебезпечність* – показник пожежної небезпечності більший за 10 000 °С (за формулою В.Г. Несторова);

*суховій* – суховійним вважається день з температурою повітря вищою за 25 °С, відносною вологістю повітря меншою за 30 %, швидкістю вітру більшою за 5 м/с;

*засуха* – виникає за тривалої відсутності дощу у сполученні з високою випарованістю. За таких умов відбувається висушування шару ґрунту, де розповсюджується коріння, і порушується нормальне водопостачання рослин;

*заморозки* – зниження температури повітря (або на поверхні ґрунту) до 0 °С і нижче на загальному фоні позитивних температур впродовж вегетаційного періоду.

*Екстремально високе забруднення природного середовища.* При визначенні екстремально високого забруднення природного середовища



слід мати на увазі час, що пройшов з моменту його виникнення до виявлення, та місце розповсюдження.

Для *атмосферного повітря* критерієм є вміст однієї чи декількох речовин, що перевищують гранично допустиму концентрацію (ГДК):

- у 20 – 29 разів за умови збереження цього рівня концентрації більше 2 діб;
- у 30 – 49 разів за умови збереження цього рівня концентрації 8 годин і більше;
- у 50 разів незалежно від тривалості.

Для *поверхневих морських вод* критерієм є:

- максимальний разовий вміст одного чи декількох нормованих речовин у концентрації, що перевищує ГДК у сто разів і більше;
- поява запаху води інтенсивнішою більшою за 4 бали і не властивого воді раніше;
- покриття плівкою більше 1/3 поверхні водного об'єкта при доступній для огляду площі до 6 км<sup>2</sup>;
- зниження вмісту розчиненого кисню до 2 мг/дм і менше.

Для *грунтів* критеріями є:

- вміст пестицидів у концентраціях 50 ГДК і більше за санітарно – токсикологічними критеріями чи 10 ГДК за фітотоксичними критеріями;
- вміст забруднювальних речовин техногенного походження в концентраціях 50 ГДК і більше;
- для речовин, на які не встановлені ГДК, для ґрунту береться перевищення 100-кратної величини середнього регіонального фону.

Виникнення екстремально високого рівня забруднення природного середовища, зумовленого аварійними і залповими викидами забруднювальних речовин, відзначається:

- при збільшенні об'єму стічних вод від стаціонарних джерел чи забруднення при збільшенні концентрації забруднювальних речовин у стічних водах у 10 разів і більше;
- при скиданні нафти й інших продуктів з нафтопроводів в об'єм 10 т.

Екстремально високим забрудненням природного середовища вважається факт негативного впливу на рослинний і тваринний світ, що виявляється в масових захворюваннях або загибелі:

- водних організмів і рослин,
- тварин, коли рівень захворювань або смерті перевищує середньостатистичний у 3 рази і більше;
- рослинності.

*Високі рівні води* під час повеней, вітрових нагонів, дощових і тало-дощових паводків, за яких можливе підтоплення понижених частин населених пунктів, посівів сільськогосподарських культур, автомобільних та залізничних шляхів, пошкодження промислових і транспортних об'єктів.

*Низькі рівні води* – нижчі від проектних позначок водозабірних споруд, навігаційних рівнів, що спостерігаються десять діб і більше.

*Ранні строки осіннього льодоходу*, встановлення льодоставу на суднохідних річках, яке повторюється не частіше одного разу на десять років.

*Селі і снігові лавини*, схід яких загрожує народно – господарським об'єктам.

*Вітрове хвилювання* у великих водоймищах, висота хвилі 3 м і вища.

*Обмерзання суден* – швидке і дуже швидке (0,7 см/год і більше).

*Сильне (високе) хвилювання на морях* (висота хвиль для Азовського моря більша за 3 м, для Чорного та Середземного морів – більша за 6 м).

*Високі або низькі рівні моря* – згінно – нагінні коливання рівнів моря вище або нижчі від умовних відміток, за яких спостерігаються аварійні ситуації на флоті, затоплення територій портів та інших господарських об'єктів на узбережжі.

*Сильний тягун* у морських портах – створює аварійні ситуації для суден в акваторіях морських портів.

*Інтенсивний дрейф льоду*, поява непрохідного для суден льоду, напори льоду на берег – створює небезпечні умови для мореплавства і виникнення аварійних ситуацій на флоті, пошкодження портового господарства, споруд і об'єктів на узбережжі [48, 61].

*Лісові і степові пожежі* виникають під дією двох факторів: антропогенного (внаслідок виробничої діяльності людей і необережного поводження з вогнем) і природного (внаслідок ударів блискавок, виверження вулканів і т.ін.). Вважається, що в заселених районах до 98 % випадків загорання в степових і лісових районах відбувається з вини людей.

### **5.2.1 .Вітер і екстремальні явища, пов'язані з ним**

*Вітер* – це рух повітря відносно земної поверхні, який виникає через нерівномірний горизонтальний розподіл атмосферного тиску. Вітер характеризується вектором швидкості, тобто швидкістю в будь-якому напрямку. Для оцінки сили вітру користуються такими критеріями: *слабкий* – швидкість менша за 4 м/с; *помірний* – 5...8 м/с; *середній* – 9...13 м/с; *сильний* – 14 – 20 м/с; *дуже сильний* – 21-25 м/с; *буревій, ураган* – швидкість більша за 26...30 м/с.

Сильні вітри є проявом різного роду атмосферних вихорів, до яких відносяться циклони, шквали, смерчі. Циклони, при яких швидкість вітру більша за 35 м/с в Європі, США називають ураганами, в Японії та Китаї – тайфунами. В гідрометеорології до небезпечного вітру відноситься вітер зі

швидкістю більшою за 15 м/с, до особливо небезпечного – більшою за 20 м/с (табл. 5.1).

*Вітер* з максимальною швидкістю 25 м/с і більшою відноситься до надзвичайних гідрометеорологічних явищ і завдає значних матеріальних збитків народному господарству. Під час сильного вітру відбувається інтенсивне випаровування, яке різко знижує вологість ґрунту і зменшує рівень води в різних водоймищах. Крім того, сильні вітри ускладнюють проведення багатьох видів сільськогосподарських робіт: сівба, внесення добрив, збирання врожаю тощо.

Вітер з максимальною швидкістю 25 м/с і більшою пов'язаний, головним чином, із зимовими синоптичними процесами, виникає за наявності стаціонарного антициклону над центром СНД і малорухомої депресії над Чорним морем, при проходженні улоговин на фоні сильного західного переносу, в глибоких циклонах, які переміщуються з півдня та північного заходу.

Одним із факторів, які впливають на виникнення сильних вітрів в приземному шарі повітря в горах, є формування на навітряній стороні невеликих мезоантициклонів. На їхній периферії вздовж гірських ущелин можуть виникати значні градієнти тиску. Вітер із значними швидкостями пов'язаний, головним чином, із зимовими синоптичними процесами [61].

Небезпечність сильного вітру пов'язана з його руйнівною особливістю. До небезпечного вітру відноситься вітер зі швидкістю більшою за 15 м/с, а до особливо небезпечного – більшою за 20 м/с (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Класифікація небезпечності вітру (бали) за величиною максимальної швидкості (м/с)

Ступінь небезпечності сильного вітру, бали 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальна швидкість вітру, м/с	<20	20-26	26-30	30-35	35-42	42-49	49-58	58-70	>70

По території України вітер зі швидкістю 25 м/с і більшою відзначається щорічно (із 75 % імовірністю). В Молдові такі випадки значно рідші (всього 7 %). Найчастіше виникає вітер з такою швидкістю в січні – березні. Майже не спостерігається в серпні. Дослідження Укр НДГМІ дозволили виділити два основних райони з однотипним розподілом штормового вітру з врахуванням повторюваності максимальної швидкості:

- до першого району відносяться гірські масиви Карпат і Криму, західні і північно - західні області України та Донецький кряж. Повторюваність вітру зі швидкістю 25 м/с і більшою в першому районі становить 50 % (один раз на два роки). Максимальна швидкість іноді досягає 40 м/с.

- до другого району входить значна частина території України – це північні, північно – східні, центральні та південні області України, де повторюваність сильного вітру становить 27 – 40 % (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 - Повторюваність (%) вітру швидкістю 25 м/с і більше різної тривалості в Україні

Тривалість вітру, год	0-6	6-12	12-18	18-24	24-48	більше 48
Повторюваність, %	32,8	22,8	19,8	10,4	9,6	4,6

Найменша повторюваність (20 %) стихійного вітру спостерігається в Сумській області та Закарпатській низині [61].

*Шквали* – раптове та різке посилення вітру до 25 м/с і більше, вони є дуже небезпечними і руйнівними і їх відносять до стихійних метеорологічних явищ. Шквали виникають при проходженні холодних фронтів, другорядних фронтів і фронтів оклюзії. Необхідною умовою утворення шквалу є наявність достатньо великої кількості запасів вологи в теплій повітряній масі, її вологонестійкої стратифікації, значних контрастів температури повітря як біля поверхні землі, так і на висотах. Шквали бувають всередині маси і фронтальні. Найбільш небезпечні фронтальні шквали.

Шквалисті підсилення швидкості вітру виникають в теплу пору року, в період розвитку потужної конвекції та наявності великих контрастів температур. Чіткого розподілу повторюваності шквалів не виявлено. Шквали мають яскраво виражений добовий хід з максимумом повторюваності в другій половині доби. Шквали є переважно локальним явищем. Зона шквалу зазвичай займає незначну площу.

Виникнення шквалу – процес складний і дуже мінливий у часі. На території України шквали бувають щорічно, але з різною частотою .

Шквали мають велику руйнівну силу і завдають шкоди сільськогосподарському виробництву, руйнують будівлі, обривають лінії електропередач і т.ін. Шквалова ситуація у більшості випадків (82 %) триває один день.

*Смерчі* утворюються у зв'язку із входженням тропічного повітря в південних циклонах на територію Європи і розповсюдженням холодних повітряних мас Арктичного басейну. В зоні розподілу повітряних мас контрасти температури сягають 10-12 °С. Велика вертикальна нестійкість теплої повітряної маси біля холодного фронту створює умови для

утворення динамічної і термодинамічної конвекції. Така синоптична ситуація сприяє розвитку смерчів. Швидкість вітру в смерчі досягає 50 ... 100 м/с.

Із усіх стихійних явищ смерчі вивчені найменше. Смерч, який рухається зі швидкістю 70 – 90 м/с, під час руху всмоктує в себе всі предмети, живі істоти, скручує металеві опори ЛЕП, вивертає дерева з корінням, які зустрічаються на його шляху. Майже завжди смерч супроводжується сильним дощем і градом. Найчастіше смерчі виникають в теплий період року в червні – серпні, на півдні дуже рідко – у вересні та жовтні між 15 та 18 годинами.

Найбільша повторюваність смерчів (1 раз у 5 років) в південних областях – Одеській, Миколаївській, Херсонській, Запорізькій. В Київській, Волинській областях та АР Крим повторюваність смерчів складає один раз за 7 років [61].

*Пилові буревії (бурі)* - це перенесення великої кількості завислих у повітрі дрібних часток ґрунту помірним або сильним вітром на великі відстані. Пилові буревії вважаються небезпечним природним метеорологічним явищем, яке завдає значного збитку сільськогосподарському виробництву, особливо орним землям, вільним від сільськогосподарських культур і не захищених лісовими смугами.

За даними [48,59, 61] під *пиловим буревієм* розуміють вітер зі швидкістю більшою за 15 м/с протягом 12 годин і більше.

Виникнення пилових буревіїв зумовлюється тривалим періодом без опадів, сильним вітром, висушуванням верхнього шару ґрунту, відсутністю рослинного покриву, наявністю великих відкритих просторів. Суттєво впливає і орографія. Пиловим буревіям передують тривала суха погода.

Найчастіше пилові буревії спостерігаються в перехідних штормових зонах з великими баричними і термічними градієнтами, які утворюються при зміщенні потужних антициклонів із північного заходу і з півночі на південний схід і при одночасній активізації циклонічної діяльності над Чорним морем і Малою Азією. Крім того, пилові буревії спостерігаються при проходженні холодних фронтів із заходу на схід, коли за холодним фронтом відзначаються великі баричні градієнти, шквалисте підсилення вітру.

Пилові буревії погіршують умови господарської діяльності людей. Особливо значних збитків вони завдають сільськогосподарському виробництву через пошкодження сільськогосподарських рослин, знесення з полів родючого шару ґрунту, засипання садів та виноградників.

Пилові буревії у більшості випадків виникають на невеликих площах і тільки в південних і східних областях вони можуть охоплювати значну територію.

Пилові буревії мають чітко виражений добовий хід. Найчастіше вони виникають вранці, досягаючи максимальних розмірів до полудня.

У більшості випадків тривалість пилових буревіїв становить від 30 хвилин до доби і більше. Тривалі пилові буревії виникають переважно взимку та навесні [48,49].

Дослідження в УкрНДГМІ показали, що за характером розподілу повторюваності, інтенсивності і території охоплення пиловими буревіями в Україні можна виділити три райони.

До першого району відносяться південні та східні області, де пилові буревії відзначаються один раз на три – п'ять років і поширюються на значні площі.

До другого району відносяться Сумська, Харківська, Полтавська, Черкаська, Вінницька, Київська і Чернігівська області, де пилові буревії виникають один раз у десять років.

До третього району відносяться Волинська, Рівненська і Житомирська області, де буревії бувають дуже рідко. Зовсім не спостерігається утворення буревіїв в західних областях України, гірській частині АР Крим і в Карпатах.

*Сильні хуртовини.* Взимку за наявності сильного вітру та снігу можуть спостерігатись сильні хуртовини. Вони спостерігаються протягом 12 годин і більше при швидкості вітру більшій за 15 м/с. Хуртовини створюють великі снігові замети, які перешкоджають нормальній роботі залізничних потягів та автомобілів на дорогах, порушують роботу авіації, зупиняють або ускладнюють роботу на будівельних майданчиках, здувають сніг з полів із зимуючими сільськогосподарськими культурами і т. ін.

Найчастіше сильні хуртовини зумовлені переміщенням циклонів і улоговин з півдня і південного заходу. Інколи вони виникають в момент проходження улоговин і «пірнаючих» циклонів із заходу і північного заходу.

Найбільша повторюваність хуртовин відзначається в гірських районах Карпат і Криму (70 % загальної кількості хуртовин). Трохи менша частина хуртовин припадає на район Донецького кряжа.

До екстремальних явищ відносяться також *сильні снігопади*, коли кількість опадів становить 20 мм і більше за 12 годин і менше. Сильні снігопади охоплюють переважно територію однієї – двох областей (50 %), територію трьох – п'яти областей сильні снігопади охоплюють у 40 % випадків і тільки 2 % випадків, коли сильні снігопади охоплюють територію 10 і більше областей.

Сильні снігопади пов'язані з виходом південних циклонів із Середземного моря, Балканського півострова та проходженням холодного фронту із хвильовими збуреннями. Вони можуть також виникати при переміщенні циклонів із заходу.

Повторюваність сильних снігопадів найбільша у передгірній частині Карпат, в Закарпатті. Трохи менша повторюваність сильних снігопадів на Подільській і Придніпровській височинах, в АР Крим та Одеській області.

*Тумани.* Несприятливі погодні умови складаються і при утворенні *сильних туманів*. Сильні тумани утворюються переважно в холодну пору року, коли після похолодання починається винос тепла з півдня на попередньо охолоджену підстильну поверхню. Тумани за своїм походженням поділяються на фронтальні і ті, що утворюються всередині фронтальних мас. Виникнення сильних туманів спричиняє збої в роботі аеропортів, морських та річних портів, залізничного та автомобільного транспорту. При тривалих сильних туманах в теплу пору року швидко поширюються грибкові захворювання сільськогосподарських рослин [1,59].

*Сильна ожеледь.* Ожеледь вважається сильною, якщо діаметр відкладів становить 20 мм і більше. Відкладення ожеледевих утворень відбувається через адвекцію теплого, вологого повітря, яка зумовлена пересуванням циклонічних утворень із системою фронтів. В Україні утворення ожеледі пов'язане з виходом південних циклонів, пересуванням улоговин із заходу і північного заходу. Розподіл ожеледі залежить від загальної циркуляції та від місцевих умов (орографії і форм рельєфу). Ожеледонебезпечними районами в Україні є гірські райони АР Крим, Донецький кряж, Приазовська, Волинська та Подільська височини і Передкарпаття.

В середньому за рік в тому чи іншому районі спостерігаються 2 – 3 випадки сильної ожеледі.

Важливою характеристикою ожеледі є її тривалість. Ожеледоутворення може тривати від декількох десятків хвилин до декількох діб.

Бувають складні відклади, які являють собою послідовне відкладення різних видів обледеніння. Утворення складних відкладів пов'язане зі зміною погодних умов впродовж періоду обледеніння. Найбільш небезпечні складні відклади льоду, які формуються внаслідок утворення ожеледі та зернистої паморозі. Ці відклади спричиняють великі навантаження на лінії зв'язку та ЛЕП. У зв'язку зі складністю явища виділено приблизно чотири райони щодо ожеледонебезпечності. Перший найбільш ожеледонебезпечний район – це Сумська, Донецька, Луганська, Вінницька, Кіровоградська, Одеська, Миколаївська області, де ожеледні явища спостерігаються один раз у два – три роки.

До другого району відносяться Тернопільська, Полтавська, Харківська, Дніпропетровська, Херсонська області. В цьому районі утворення ожеледі спостерігається один раз у п'ять років.

До третього району відносяться Рівненська, Житомирська, Київська, Черкаська, Івано-Франківська, Запорізька області та АР Крим. В цих областях імовірність ожеледоутворення становить один раз в десять років.

До четвертого району відносяться Волинська, Чернігівська, Львівська та Чернівецька області, де ожеледь утворюється один раз у двадцять років.

### 5.2.2 Сильний дощ і град

*Сильні дощі* найчастіше спостерігаються на холодних синоптичних фронтах, які рухаються із заходу (38 %), також можуть бути пов'язані з південно – західними і стаціонарними циклонами (19 %). Іноді сильні дощі відзначаються при загостренні малорухомих фронтів при переміщенні циклонів з північного заходу. Зливові дощі випадають із купчасто – дощових хмар і спостерігаються, зазвичай, на невеликих площах.

Для росту і розвитку сільськогосподарських культур велике значення має не тільки кількість опадів, які випадають за день, але і розподіл їх по сезонах року, по місяцях по інтенсивності випадіння.

*Інтенсивність опадів* – це кількість опадів, які випадають за одиницю часу. Розрахунки виконуються за 1 хвилину.

Сильні дощі мають яскраво виражений річний хід. Найбільша повторюваність їх спостерігається в період з червня по серпень, особливо – в липні (30 %). Найчастіше сильні дощі випадають на території однієї або 2 – 3 областей.

Сильні дощі, з кількістю опадів до 30 мм і більшою, відзначаються на території України і деяких країн Європи щорічно (Німеччина, Польща, Румунія). Дощі до 50мм і більше відзначаються щорічно в Карпатах і АР Крим.

Найбільша кількість опадів в Україні відзначається в АР Крим – 265 мм, Українських Карпатах і Чернівецькій області – 237 мм, у Вінницькій області – 225 мм, Миколаївській – 213 мм, Львівській – 208 мм, Чернігівській – 200 мм областях. К.Т. Логвиновим була розрахована повторюваність сильного дощу по території України, табл.5.3.

Сильні дощі спричиняють великі збитки народному господарству через повені, зсуви, сільові потоки. Крім того, вони сприяють поляганню зернових культур, розвитку ерозійних процесів і т. ін. Такі ж збитки спричиняють і тривалі дощі. Крім того, тривалі дощі сприяють перезволоженню ґрунту, яке може призвести до зменшення аерації та виникнення заболочення, табл. 5.4.



Таблиця 5.3 – Повторюваність (%) дуже сильного дощу (30 мм і більше за 12 год та менше) в окремі місяці (за К.Т. Логвиновим і ін.)

Область	Місяці								
	ІІІ	ІV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чернігівська			13	21,7	39,1	13,1	13,1		
Сумська			9,1	40,9	31,8	18,2			
Волинська				23,8	47,6	9,6	19,1		
Рівненська				15,4	76,9	7,7			
Житомирська		7,7	7,7	46,1	23,1	15,4			
Київська		3,6	16,4	29,1	30,9	12,7	5,5	1,8	
Львівська		5,6	20,3	11,2	29,2	19,1	11,2	1,1	2,3
Хмельницька		5,9	5,9	25,5	50	-	8,8	-	2,9
Полтавська				35,7	28,6	21,4	14,3		
Харківська		2,7	5,4	32,4	29,8	27,0	2,7		
Тернопільська			9,4	34,0	28,3	15,1	13,3		
Черкаська			20,0	30,0	20,0	20,0	10,0		
Луганська				25,0	41,7	25,0	8,3		
Вінницька			3,6	25,0	21,4	39,3	10,7		
Івано-Франківська	3,6	1,4	17,0	25,5	23,4	10,6	12,1	4,3	2,1
Кіровоградська				29,3	24,4	29,3	17,0		
Дніпропетровська			5,6	33,3	44,4	16,7			
Донецька		2,4	2,4	22,0	34,1	22,0	17,1		
Закарпатська	7,5	5,2	8,9	12,2	17,8	13,6	13,2	10,3	11,3
Чернівецька		3,9	11,6	26,2	25,2	17,5	14,6	-	1,0
Одеська		3,1	3,1	14,1	35,9	21,3	21,9		
Запорізька			4,4	23,8	39,1	15,2	17,4		
Миколаївська			2,8	25,7	42,9	5,7	22,9		
Херсонська		6,7	-	16,7	40,0	13,3	23,3		
АР Крим	8,0	1,4	3,6	14,4	15,9	21,6	13,7	7,9	13,6

Сильні дощі з кількістю опадів 100 мм і більшою спостерігаються щорічно. Найчастіші вони в АР Крим (до 60 %), рідше – в Полтавській, Харківській і Черкаській областях (30 – 50 %) і в Молдові.

Таблиця 5.4 – Середня кількість днів із сильними дощами (30 мм і більше, 50 мм і більше за 12 годин і менше) по областях України (за І.В. Литвиновим)

Область	Опади 30 мм і більше	Опади 50 мм і більше
1	2	3
Сумська	1,5	0,7
Полтавська	4,1	2,4
Харківська	2,1	1,3
Луганська	1,2	0,8
Кіровоградська	3,2	2,5
Дніпропетровська	2,5	1,6
Донецька	2,8	1,9
Запорізька	2,2	1,3
Одеська	4,1	2,7
Миколаївська	3,6	2,4
Херсонська	1,7	0,6
АР Крим	9,6	6,3
Чернігівська	3,2	2,1
Волинська	1,5	1,0
Рівненська	1,2	0,6
Житомирська	1,8	1,4
Київська	2,7	1,6
Львівська	4,1	2,4
Хмельницька	1,7	1,0
Тернопільська	2,9	2,0
Черкаська	2,4	1,6
Вінницька	3,0	2,0
Івано-Франківська	4,1	1,8
Закарпатська	7,6	3,1
Чернівецька	2,8	1,6

Сильні дощі можуть починатись у будь – який час доби, але найчастіше вони починаються між 16-ою та 22-ою годинами. Пояснюється це розвитком потужної конвекції в цей час.

Дослідження повторюваності сильних дощів в УкрНДГМІ дозволило виділити два основних райони із сильними дощами. Перший район – Українські Карпати і гірський Крим. До другого району належить майже вся територія України [61, 80].

Сильні дощі часто супроводжуються *градом та шквалами*. Утворення граду зумовлюється інтенсивними конвективними процесами, які виникають на атмосферних фронтах (основних і другорядних холодних), а також на фронтах оклюзії за типом холодного. Фронти та їх системи пересуваються в улоговинах циклонів. Інколи випадіння граду буває пов'язане з розвитком потужної конвективної хмарності на малорухомих холодних фронтах. Особливо сильний град відзначається в денні години на фронтах із хвильовими збудженнями. Град з діаметром градин 20 мм і більше може знищити посіви сільськогосподарських культур, пошкодити дахи будинків, побити свійську птицю та дрібну худобу.

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 [26].

Ступінь збитку від великого граду залежить від розміру градин, їх щільності, інтенсивності випадіння. Град з діаметром градин 20 мм і більшим завжди завдає збитку народному господарству.

На території України найчастіше випадає дрібний інтенсивний град (40 % випадків). Повторюваність граду діаметром більшим за 30мм в Україні становить 20 %, в Молдові – 40 %, табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Повторюваність (%) граду різного діаметра  
(за В.Н. Бабиченко)

Діаметр градин, мм									
Дрібний	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-100	>100
Україна									
41,5	27,3	12	8,7	2,8	1,3	0,9	0,6	0,6	4,3
Молдова									
13,2	15,7	28,9	24,1	15,7	2,4				

Град дуже часто випадає разом із сильними зливами. Найбільшого збитку він завдає сільськогосподарським рослинам в будь – який період розвитку. Повторюваність великого граду в різних регіонах України становить в середньому до 20 %. Градові явища, пов'язані з грозами, зливами, шквалами, найчастіше відзначаються з кінця квітня до середини вересня. В АР Крим градові явища спостерігаються впродовж усього року.

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 опадів або і річна норма. Тому

вони заподіюють значного збитку сільському господарству. Особливо великих збитків завдають сильні зливи разом з градом.

Град випадає смугами шириною 3 – 5 км і довжиною 15 – 20 км. Рідко, але ці параметри можуть значно збільшуватись. Тривалість випадіння 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, сприяє сильному поляганню зернових культур тощо. Збитки, завдані градом, залежать від розміру градин, їх маси, форм та щільності, а також від фази розвитку рослин.

Дотепер міру пошкодження градом рослин зіставляють з двома чинниками: кількістю градин з діаметром вищим від критичного та сумарною кінетичною енергією градин на 1 м<sup>2</sup>.

Град буває супутником сильних злив. Але останні частіше спостерігаються й без граду. Інтенсивні зливи з сильним вітром спричиняють 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.

Сильні зливи або тривалі облогові дощі спричиняють стікання зерна (вимивання з нього пластичних речовин) і проростання зерна, як у стеблостой, так і у валках.

Щорічно збитки від граду та сильних злив у світі становлять близько 2 млрд. дол. Лєвова 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.

*Пошкодження рослин градом.* Град утворюється в потужних купчасто - дощових хмарах в теплий період року. Розміри втрат від пошкодження градом залежать від форми, розмірів, маси градин та від виду рослин і фази їх розвитку. Наприклад, квітки дерев пошкоджуються навіть великими краплями дощу. Існують межові значення розмірів градин для пошкодження різних органів рослин.

*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 урожай, 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  $2 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^2$  [26, 48].

С. Чангном запропонував ступінь пошкодження рослин градом вважати функцією числа градин, які мають розмір вищий від критичного.

Швидкість падіння градин, якою визначається кінетична енергія їх, визначається двома складовими – вертикальною, що зумовлюється силами

гравітації, та горизонтальною, що зумовлюється швидкістю вітру. Нижче наводяться значення кінетичної енергії ( $U$ ) градин в залежності від їх діаметра ( $d$ ).

$d, \text{мм}$ .....	5	10	20	30	40	50
$U, \text{Дж}$ ....	$3,19 \cdot 10^{-3}$	$5,11 \cdot 10^{-2}$	$8,17 \cdot 10^{-1}$	4,14	13,1	31,9

Значення критичної кінетичної енергії градин для різних органів рослини не визначено. Вважається, що це значення буде близьким до  $U = 3,19 \cdot 10^{-3}$ , що відповідає діаметрові градин близькому до 5 мм.

Ступінь пошкодження сільськогосподарських рослин градом визначається сумарною енергією градин, видом культури, фазою її розвитку. Для пшениці у фазі стиглості при значеннях енергії за час випадіння граду, менших ніж  $10 \text{ Дж/м}^2$  пошкоджень не спостерігається, при  $U = 50 \text{ Дж/м}^2$  – пошкодження досягає 25 %, при  $U =$  більший за  $450 \text{ Дж/м}^2$  – гине весь урожай.

### 5.2.3 Полягання посівів

Ще одним видом пошкодження рослин сильним дощем і градом є **полягання посівів**.

Сильні зливи, тривалий інтенсивний дощ, град, вітер спричиняють полягання посівів. 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.

Відрізняють два типи полягання: *кореневе і стеблове* [51-53]. При кореновому поляганні рослини полягають внаслідок слабкого зчеплення коріння рослин з ґрунтом. Таке спостерігається при розріджуванні верхнього шару ґрунту через надмірний полив, тривалі дощі тощо. При *стебловому* поляганні відбувається згинання стебла соломини, іноді зламування, від невідповідності динамічних навантажень на нижню частину стебла і його міцності.

Механічна міцність стебел і коріння визначається біологічними особливостями сорту і формується в залежності від умов існування, ступеня розвитку рослин та інших причин.

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.

Можливість полягання хлібів великою мірою залежить від агрометеорологічних умов попереднього періоду розвитку рослин.

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 коефіцієнта Г.Т. Селянинова. 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, густоти посівів, висоти рослин, сортових відмінностей, агрометеорологічних умов та агротехнічних заходів. Серед зернових культур особливо часто спостерігається полягання ячменю й озимого жита. Зазнають полягання також деякі сорти озимої пшениці. Незважаючи на те, що на цей час виведено багато сортів, стійких до полягання, на великих площах продовжують вирощувати слабо та середньостійкі до полягання сорти. Особливо багато посівів полягає у дощові роки. Полягання ускладнює збирання хлібів, значно підвищує витрати та збільшує тривалість періоду збирання хлібів. Для вирішення цієї проблеми необхідно давати кваліфіковану оцінку агрометеорологічних умов, які призводять до полягання, та своєчасно інформувати про це сільськогосподарські організації.

Методи оцінки агрометеорологічних умов полягання зернових розроблені О.Д. Пасечнюком для міжфазних періодів: вихід у трубку-цвітіння, цвітіння-воскова стиглість для озимих культур, а також кушіння-колосіння та колосіння-воскова стиглість для ярих. Ці міжфазні періоди вибрані тому, що полягання зернових найчастіше спостерігається якраз у ці періоди, оскільки в цей час рослини мають найбільшу масу і навантаження на нижню частину стебла наближається до критичного значення. До виходу в трубку озимих і ярих, а також після настання воскової стиглості зерна, вплив агрометеорологічних умов на стійкість культур до полягання проявляється дуже слабо.

Озима пшениця. Як методичну основу для оцінки агрометеорологічних умов взято дискримінантний аналіз. Міра полягання посівів визначається через відношення (у відсотках) площі полеглих посівів до

всієї площі поля. Посіви вважаються полеглими, якщо вони полягли на 100% всієї площі поля.

Стійкість озимої пшениці до полягання тісно пов'язана з температурою повітря і кількістю опадів, особливо зливових. Тому для оцінки агрометеорологічних умов формування стійкості до полягання озимої пшениці використовувались тільки ці показники.

Було отримано дискримінантне рівняння для розрахунку площі полягання вигляду:

$$L = 1,281 - 0,127t + 0,005\sum P, \quad (5.1)$$

де  $t$  – середня за добу температура повітря, °C;

$\sum P$  – сума опадів за добу, мм.

Якщо функція  $L$  буде з від'ємним знаком, то полягання не буде; якщо з позитивним – полягання відбудеться.

О.Д. Пасечнюком встановлено: якщо за період від виходу в трубку до цвітіння ГТК (розрахований за методом Г.Т. Селянинова) менший за 1,0, то посіви або зовсім не полягають, або полягають на незначних площах (< 10 %).

Озиме жито. Так, як і для озимої пшениці, для озимого жита оцінка умов виконується за значеннями температури повітря і суми опадів за рівнянням

$$L = 0,724 - 0,07t + 0,003\sum P . \quad (5.2)$$

Якщо  $L > 0$ , то складаються несприятливі умови для формування стійкого до полягання стеблестою озимого жита, якщо ж  $L < 0$  – навпаки.

Для полегшення розрахунків оцінки умов формування стійкості до полягання посівів озимого жита використовується табл. 5.6.

Яра пшениця. Оцінка агрометеорологічних умов формування стійкості до полягання слабостійких сортів ярої пшениці у період куціння-колосіння виконується за допомогою рівняння

$$L = 0,69 - 0,64t + 0,16\sum P, \quad (5.3)$$

де  $t$  – середньодобова температура повітря за вказаний міжфазний період, °C;

$\sum P$  – сума опадів за той же період, мм.

Якщо значення  $L > 0$ , то полягання буде, якщо  $L < 0$  – то ні.

У тому випадку, коли строки сівби у господарствах дуже розтягнуті, то на полях стійкість рослин до полягання формується за різних умов і їх

потрібно враховувати через площі посіву у різні строки.

Таблиця 5.6 – Оцінка впливу метеорологічних умов на полягання посівів ячменю у періоди кущіння-колосіння та колосіння-воскова стиглість

Амплітуда температури повітря, °С	Ймовірність полягання, %				
	дуже сильного (1-1,9бали)	сильного (2-2,9бали)	середнього (3-3,9бали)	слабкого (4-4,9бали)	відсутнє полягання, %
	а) кущіння-колосіння				
8,5-11,5	5	23	23	21	28
11,6-12,0	3	7	13	27	50
12,1-13,0	-	5	3	16	76
>13,0	-	-	-	9	91
Кількість опадів, мм	Б) колосіння-воскова стиглість				
>60	6	21	29	27	17
41-60	-	16	19	34	31
20-40	-	-	-	33	67
<20	-	-	-	-	100

*Ярий ячмінь.* Метод оцінки агрометеорологічних умов формування стійкості до полягання базується на використанні ймовірних залежностей оцінки стійкості до полягання від метеорологічних факторів у період від кущіння до колосіння.

У період колосіння-воскова стиглість оцінка агрометеорологічних умов проводиться тільки у тих випадках, коли найбільша висота стеблостою перевищує 70см.

Якщо висота стеблостою 70 см і більша, то ймовірність полягання залежить від інтенсивності опадів та їх кількості за один дощ. Існує шкала полягання зернових: *a* – полягання відсутнє; *b* – слабе полягання (не більше 30 %); *v* – середнє полягання (31 – 60 %); *z* – сильне полягання (> 60 %).

Дотепер ще немає статистичних залежностей, які дозволяють розраховувати полягання ячменю до виходу рослин у трубку. Для цього використовують залежність міри полягання посівів від густоти стеблостою.



Інтенсивність полягання за густотою стеблостою прогнозується тільки у двох випадках:

- якщо на дату фази виходу в трубку стеблостій ячменю зріджений (менше 700 стебел на  $m^2$ ), то ймовірна або відсутність полягання, або незначне полягання;
- якщо до фази виходу в трубку спостерігалась густина посівів більша за 1300 стебел на  $m^2$ , то ймовірність полягання посівів буде  $\geq 80\%$ .

Інтенсивність полягання ячменю на полях з густотою стеблостою від 700 до 1300 стеб/м<sup>2</sup> на суглинках прогнозується за запасами продуктивної вологи у шарі 0-50 см, визначених через 1 декаду після виходу у трубку (рис. 5.1).

Якщо запаси вологи становлять 60 мм, то полягання або не буде, або дуже незначне. При запасах вологи 100-110 мм існує небезпека полягання посівів на великих площах.

При визначенні площі полягання слід звернути увагу на температуру повітря. Якщо значення її коливаються у межах 12-16 °С, то ймовірність полягання збільшується, якщо ж  $t \geq 18$  °С – то значно зменшується ймовірність сильного полягання.

Значний вплив на полягання посівів має кількість та інтенсивність опадів. Найбільше полягання ячменю спостерігається при опадах більше 30 мм за будь-якої інтенсивності.

О.Д. Пасечнюк запропонував схему для розрахунку імовірності полягання посівів ярого ячменю при різних значеннях запасів продуктивної вологи в шарі ґрунту 0 – 50 см через декаду після настання фази виходу у трубку. Якщо запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0 – 50 см менше 60 мм, імовірність полягання посівів дуже мала. При запасах продуктивної вологи 100 – 110 мм виникає загроза полягання посівів на великих площах. Якщо при визначенні ймовірності полягання посівів ячменю важко віддати перевагу якій-небудь одній градації, то об'єднуються дві суміжні (рис. 5.1) [53].

Оцінка полягання розроблена для слабостійких сортів ячменю. В роки з сильним поляганням слабостійких сортів середньостійкі полягають на 18-20 % менше, а стійкі – на 50 %.

Дослідження агрометеорологічних умов формування стійкості озимої пшениці до полягання показали, що на неї впливають умови осінньої вегетації і перезимівлі. Якщо під час перезимівлі зрідженість посівів буде  $\geq 26\%$ , то полягання розраховується за густотою посівів на дату виходу у трубку. Якщо густина становила  $\leq 600$  стебел/м<sup>2</sup>, то посіви не полягають, табл. 5.7.

При густоті 1300 стебел/м<sup>2</sup> посіви майже завжди полягають під час дощів. При густоті посівів від 600 до 1300 стебел/м<sup>2</sup> оцінка полягання

виконується за значеннями середньої температури повітря за період від виходу у трубку до цвітіння.

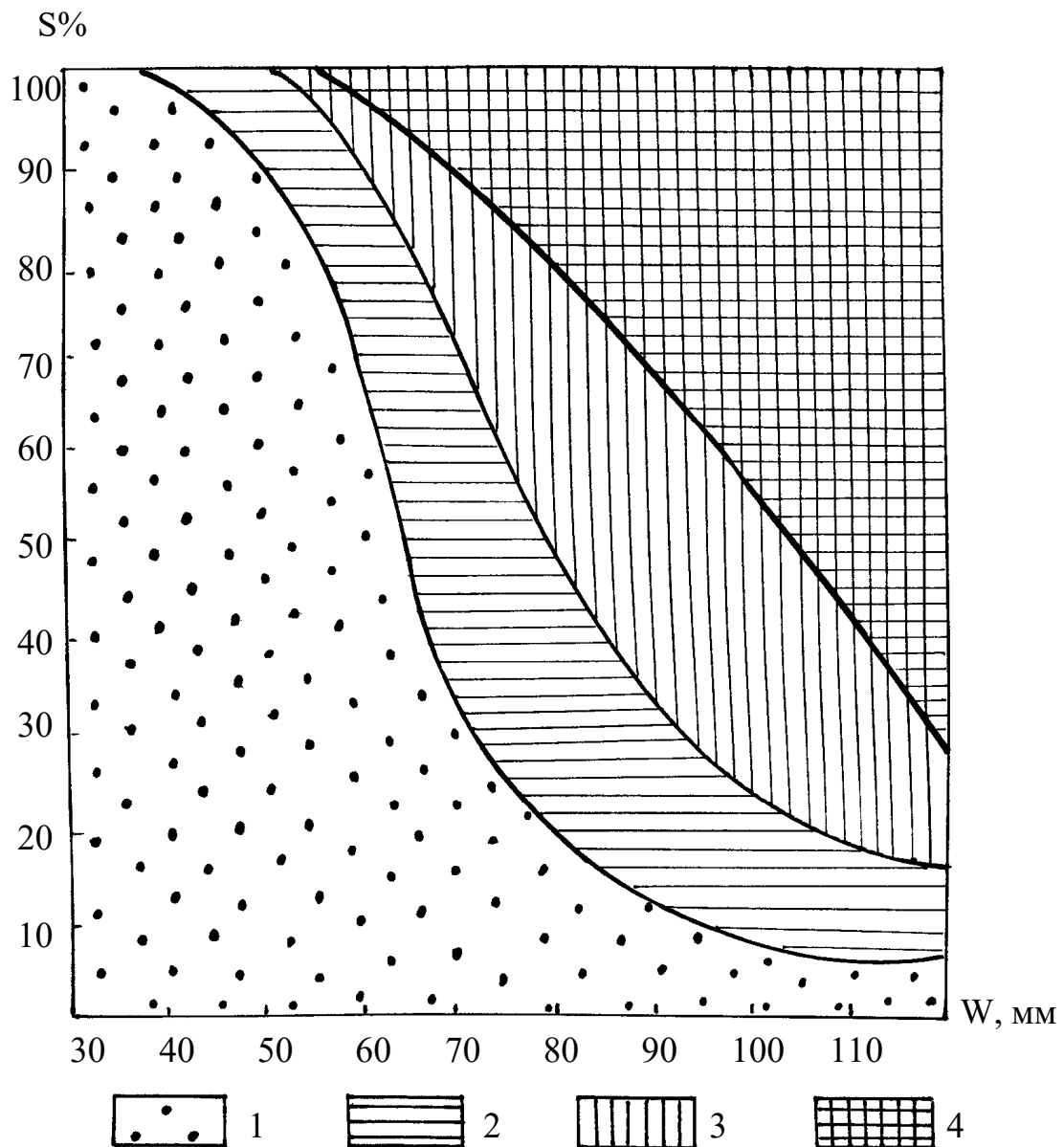


Рис. 5.1 – Імовірність полягання ярого ячменю в залежності від запасів продуктивної вологи (W) у шарі ґрунту 0 – 50 см через декаду після настання фази виходу у трубку

Для визначення середньої температури за період від виходу у трубку до цвітіння необхідно визначити дати колосіння і цвітіння. Вони визначаються за значеннями сум ефективних температур вища за 5 °С. Ці суми для усіх сортів озимої пшениці, окрім сорту Миронівська 808, становлять до колосіння – 330 °С, для Миронівської 808 -312 °С. Для визначення дати цвітіння до дати колосіння додається 8 днів для усіх сортів, та 5 днів для Миронівської 808.

Таблиця 5.7 – Імовірність полягання посівів за різної густоти стеблостою у фазу виходу у трубку, %

Кількість стебел на 1м <sup>2</sup>	Відсутність полягання	Міра полягання		
		слабка	середня	сильна
Озима пшениця				
< 500	82	18	0	0
500 – 700	60	34	5	1
701 – 1000	50	22	14	14
1001 – 1300	45	24	14	17
> 1300	10	11	34	45
Ячмінь				
< 700	57	43	0	0
700 – 900	29	40	19	12
901 – 1100	12	16	23	49
1101 – 1300	14	14	14	58
>1300	14	0	0	86

Таблиця 5.8 – Ймовірність (%) полягання озимої пшениці при різних значеннях температури повітря

Температура повітря, °С	Міра полягання посівів, %			
	полягання відсутнє	слабке	середнє	сильне
За період вихід у трубку-цвітіння				
<12,5	0	0	50	50
12,6-13,4	42	21	13	24
13,5-14,4	50	25	20	5
14,5	77	17	3	3
За період від 21 травня до 20 червня				
11,5-13,0	12	24	29	35
13,1-14,5	50	16	18	16
14,6-15,5	60	28	12	0
>15,5	83	17	0	0

Після розрахунків дати цвітіння розраховується середня температура за період як середнє арифметичне. Імовірність полягання озимої пшениці визначається за допомогою табл. 5.8.

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 береться період від 21 травня по 20 червня, і полягання прогнозується за середньою температурою повітря за цей період без розрахунку дати цвітіння.

### 5.2.3 Посушливі явища

З усіх несприятливих явищ погоди засухи зважають найбільший збиток сільськогосподарському виробництву. Найчастіше засухи і суховії виникають в умовах посушливого і сухого клімату. В нашій країні засухи і суховії завдають значного збитку сільськогосподарському виробництву тому, що близько 70 % усіх посівних площ зернових культур розташовано в зонах недостатнього і нестійкого зволоження.

Засухи виникають за тривалої відсутності опадів у сполученні з високою випаровуваністю, що призводить до швидкого висушування шару ґрунту, в якому розташовується коріння, і тим самим порушується постачання води рослинам. У результаті різкої невідповідності між потребою рослин у волозі і її недостатньому надходженні з ґрунту знижується їхній урожай. При тривалих і інтенсивних за напруженістю засухах рослини повністю гинуть ще до сформування урожаю.

Засухи виникають внаслідок потужних атмосферних процесів, що охоплюють великі території і проявляються з будь-якою інтенсивністю. Ймовірність появи засух пов'язана з континентальністю клімату [1, 54, 55].

Засухи виникають внаслідок потужних атмосферних процесів, що охоплюють великі території і проявляються із будь-якою інтенсивністю.

Розрізняють три типи посух: *атмосферну, ґрунтову і загальну*.

*Атмосферна засуха* (близько 30 %) утворюється завдяки процесам зональної циркуляції атмосфери. Над південною частиною Північно-Східної Європи розташовується зона високого атмосферного тиску, що зумовлюється відрогами Азорського та Середньоазійського максимумів або декількома малорухомими антициклонами. Такими засухами охоплюється Південь України, Нижнє Поволжя та Казахстан.

Найчастіше (до 70 %) розвиток атмосферних засух відбувається при порушенні зонального переносу, який блокується високими малорухомими антициклонами і гребенями.

Основною ознакою атмосферної засухи вважають стійку, антициклональну погоду з тривалими бездощовими періодами, високою

температурою і великою сухістю повітря. Нерідко при цьому спостерігається суховій.

*Грунтова засуха* виникає як наслідок тривалої атмосферної засухи, коли при посиленому випаровуванні запаси вологи у ґрунті швидко зменшуються і стають недостатніми для нормального росту і розвитку рослин. Настає невідповідність між потребою рослин у воді і надходженням її з ґрунту. Це сприяє істотному зниженню урожайності сільськогосподарських культур, які вирощуються у богарних умовах, навіть на полях з високою агротехнікою. Грунтова засуха може відмічатися в орному шарі (0–20 см), у шарі зосередження основної маси коріння рослин (0–50 см), у метровому шарі (0–100 см) і т.п.

За початок помірної ґрунтової засухи заведено вважати запаси продуктивної вологи в ґрунті на рівні 85% оптимального зволоження для відповідної фази розвитку певної польової культури. Сувора засуха відзначається при 65 % цього зволоження, а дуже сувора – при 35 %.

Коли атмосферна і ґрунтова засухи спостерігаються спільно, настає *загальна засуха*, яка часто супроводжується пиловими буревіями. При тривалому періоді загальної засухи у рослин через нестачу вологи порушуються фізіологічні функції і відбувається ушкодження або загибель рослин [1].

Виникнення засух і суховіїв пов'язане з такими потужними атмосферними процесами, що визначають тривалу антициклонічну погоду. При проходженні над територією країни сухе прозоре холодне арктичне повітря прогрівається і ще більше висушується. Випаровування ґрунтової вологи підсилюється, опади не випадають, починається засуха (рис. 5.2).

*Осіння засуха* характеризується невисокою температурою повітря. Вона найбільш небезпечна для посівів озимих культур, які не встигли укоренитися і пройти фазу куціння, вони нерідко гинуть у зимовий період. В окремі посушливі осені, коли орний шар не має необхідних запасів продуктивної вологи, посів озимих зернових взагалі недоцільний. Прикладом може бути осінь 2011 року, коли впродовж чотирьох місяців не випало і краплини дощу. Запаси вологи в орному шарі ґрунту були відсутні.

За інтенсивністю засухи умовно підрозділяють на *дуже сильні, сильні і середні* [1, 48, 49].

За часом настання розрізняють весняну, літню й осінню засухи.

**Критерії оцінки засух.** Першу спробу надати характеристику ступеня посушливості району зробив В.В. Докучаєв. Він використовував для характеристики посушливості району порівняння опадів з випаровуваністю. Ця ідея набула широкого визнання і надалі розвивалася та поглиблювалася. Для визначення випаровуваності (потенційно можливого випаровування) і випаровування існує багато емпіричних

формул. Їхнє застосування дозволило дати характеристики окремих зон щодо сухості і виявити у визначеному наближенні імовірність засух [1, 48].

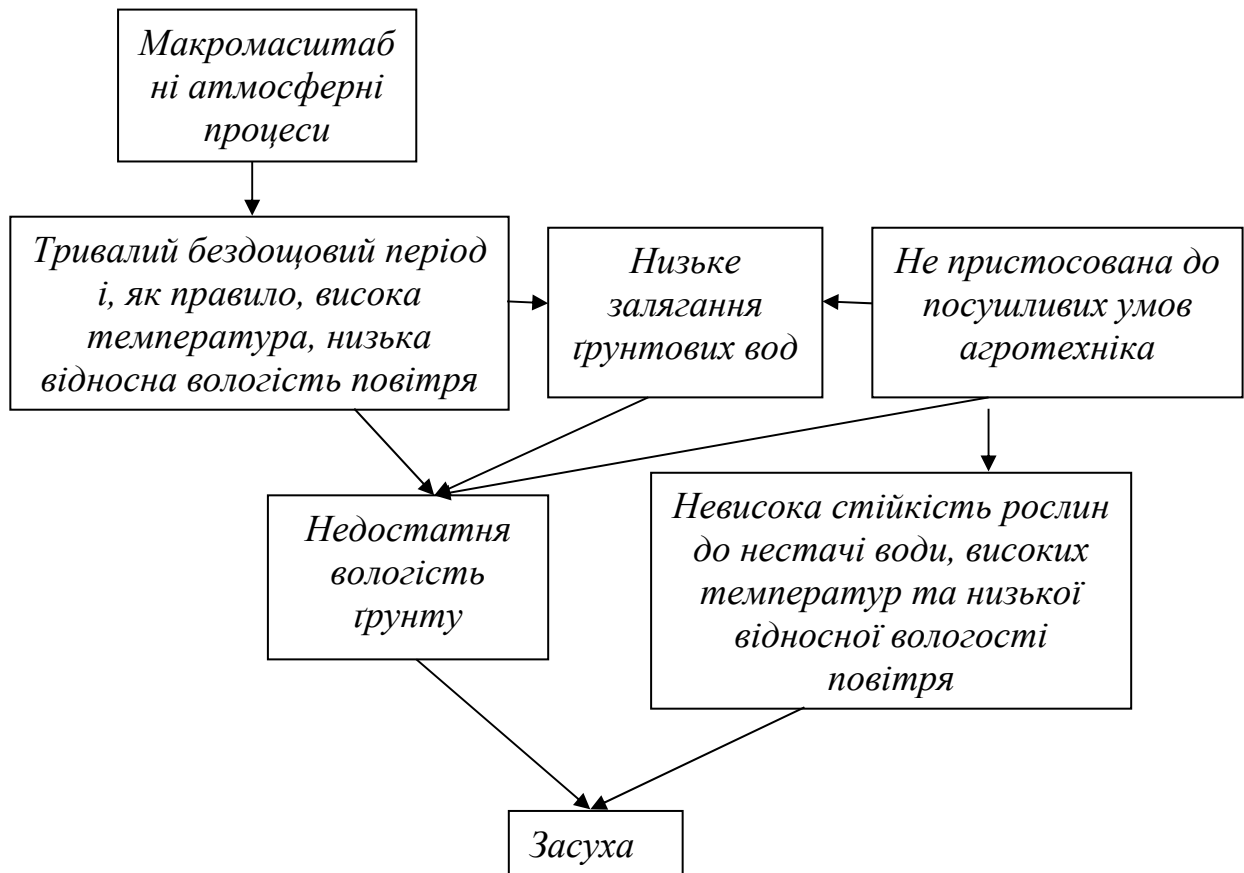


Рис. 5.2 – Схема утворення засухи (Ф.Ф. Давітая, 1966).

Г.М. Висоцький у 1905 р. установив відношення між опадами ( $r$ ) і випаровуваністю ( $E$ ) і виділив за величиною цього відношення природні зони: волога лісова область –  $1^{1/3}$ , перехідна лісостепова область – 1; помірно сухий степ –  $2/3$ , південний сухий степ –  $1/3$ .

Аналогічний метод пізніше застосував А. Пенк у 1910 р. Б. Лівінгстон у 1921 р. широко застосовував відношення опадів до випаровування при оцінці сухості клімату в США.

У минулому столітті для характеристики сухості вегетаційного періоду Д.І. Прянишніков застосував гідротермічний коефіцієнт, розрахований як відношення суми опадів до суми температур.

Р.Е. Давид обґрунтував можливість використання дефіциту тиску водяної пари як міру транспірації культурних рослин (1934). Надалі багато дослідників використовували це обґрунтування для оцінки вологозабезпеченості та ступеня посушливості. Формула Давида

$$\frac{E - e}{2} = f, \quad (5.4)$$

де  $f$  – випаровуваність, мм;

$E$  – тиск насичення при даній температурі повітря, гПа;

$e$  – парціальний тиск водяної пари, гПа.

П.І. Колосков у 1925 р. запропонував використовувати для порівняльної оцінки посушливості відношення річної кількості опадів до суми середніх добових температур вегетаційного періоду, зменшеної в 100 разів.

У 1947 р. П.І. Колосков запропонував уточнений показник зволоженості  $V$ , як відношення кількості опадів  $P$  до різниці тиску насичення  $E$  за даної температури і фактичного тиску водяної пари  $e$

$$V = k \frac{P}{E - e}, \quad (5.5)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Г.Т. Селянинов запропонував гідротермічний коефіцієнт (ГТК), який представляє собою відношення суми місячних опадів  $\Sigma P$  до суми температур того ж місяця  $\Sigma T$ , зменшеної в 10 разів

$$ГТК = \frac{\Sigma P}{0,1 \Sigma T}. \quad (5.6)$$

Посушливим вважається період з гідротермічним коефіцієнтом нижче 1,0; сухим – з гідротермічним коефіцієнтом нижче 0,5; ГТК < 0,4 – ознака дуже сильної посухи; ГТК = 0,4 - 0,5 – сильної, ГТК = 0,5 - 0,6 – середньої [1, 48].

В.П. Дмитренко у 2003 р. запропонував водно-термічний коефіцієнт, який на відмінність від ГТК Селянинова може застосовуватись також за позитивної температури повітря нижчої за 10 °С і за від'ємних її значень. Цей показник має вигляд

$$ВТК = k_{TR} \frac{\Sigma R}{\Sigma T} = \frac{10 Q(T)}{\varphi(T)} \frac{\Sigma R}{\Sigma T}, \quad (5.7)$$

де  $k_{TR}$  – термічна функція швидкості вологообміну між атмосферою і підстильною поверхнею;

$\Sigma R$  – кількість опадів за досліджуваний період, мм

$\Sigma T$  – сума температур за той же період окремо додатних і від'ємних, °С;

$Q(T)$  – функція швидкості випаровування за заданою температурою  $T$ , за правилом Вант-Гоффа, порівняно з початковою швидкістю за деякої фіксованої температури;

$\varphi(T)$  – температурна функція в'язкості води;

10 – коефіцієнт пропорційності.

Числові значення складових функції швидкості  $Q(T)$  вологообміну між атмосферою і підстильною поверхнею наведені в табл. 5.9 а їхні сумісні значення у табл. 5.10 [3].

Таблиця 5.9 – Значення складових функції швидкості вологообміну між атмосферою і підстильною поверхнею за різної температури (В.П. Дмитренко, 2005).

Функція	Температура, $T^{\circ}\text{C}$					
	-20	-10	0	10	20	30
$Q(T)$	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0
$10Q(T)$	1,25	2,50	5,0	10,0	20,0	40,0
$\varphi(T)$	3,8	2,6	1,8	1,3	1,0	0,8

Таблиця 5.10 – Значення термічної функції швидкості волого обміну між атмосферою і підстильною поверхнею за різної температури (В.П. Дмитренко, 2005).

$T^{\circ}\text{C}$	Термічна функція $k_{TR}$ за температури $T^{\circ}\text{C}$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-20	0,33									
-10	0,94	0,88	0,82	0,76	0,70	0,64	0,58	0,52	0,46	0,40
-0	2,77	2,54	2,31	2,10	1,89	1,71	1,52	1,38	1,25	1,10
0	2,77	3,18	3,59	3,94	4,29	4,74	5,20	5,82	6,45	7,07
10	7,70	8,53	9,42	10,32	11,21	12,49	13,77	15,06	16,36	18,13
20	20,0	22,25	24,51	27,46	29,40	31,16	33,72	37,81	42,01	46,0
30	50,0									

Для загальної оцінки сухості або вологості клімату використовується формула, запропонована В.П. Поповим (1948),

$$P = \frac{\Sigma g}{2,4(t - t')n}, \quad (5.8)$$

де  $P$  – показник сухості клімату;



$\Sigma g$  – річна кількість ефективних опадів;  
 $t-t'$  – психрометрична різниця;  
 $n$  – коефіцієнт, який залежить від тривалості дня.

А.А. Камінський на основі врахування відносної вологості повітря наусухішого місяця о 13-ій годині і середньої температури вегетаційного періоду виділив шість кліматичних областей щодо зволоження .

М.М. Івановим для оцінки засухи використовувалось відношення річної кількості опадів до випаровуваності

$$K_i = \Sigma P / E_o . \quad (5.9)$$

Для обчислення випаровуваності ним була розроблена емпірична формула

$$E = 0,0018(25 + T)^2(100 - a), \quad (5.10)$$

де  $E$  – випаровуваність за місяць, мм;  
 $T$  – середня місячна температура повітря, °С;  
 $a$  – середня відносна вологість повітря за місяць, %.

Як показник атмосферного зволоження  $Md$  Д.І. Шашко (1961) використовує відношення суми опадів  $P$  до суми середніх добових значень дефіциту тиску водяної пари  $E - e$

$$Md = \frac{\Sigma P}{\Sigma(E - e)} . \quad (5.11)$$

Д.І Шашко для характеристики міжрічної мінливості показника зволоження склав робочу таблицю, яка характеризує імовірність різних за зволоженням місяців табл. 5.11.

Для встановлення початку засухи М.В. Бова в 1941 р. запропонував таку формулу

$$k = \frac{10(H + Q)}{\Sigma T} , \quad (5.12)$$

де  $k$  – показник засушливості;  
 $H$  – запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–100 см навесні, мм;  
 $Q$  – кількість опадів, що випали з весни і до настання засухи, мм;  
 $\Sigma T$  – сума температур від дати переходу через 0 °С, °С .

Показник  $k$  включає три основних фактори, які значною мірою визначають умови росту сільськогосподарських культур. Значення  $k$  зростає при поліпшенні умов зволоження і зменшується з підвищенням температури. Час установлення значення  $k$ , рівного 1,5, береться за початок засухи.

Таблиця 5.11 – Імовірність (%) різних за зволоженням місяців для середніх за місяць коефіцієнтів зволоження,  $Md$

$Md$	$Md$ різної ймовірності					
	сухий	засушливий	напівзасушливий	напіввологий	вологий	надмірно вологий
	0,15	0,15-0,25	0,25-0,35	0,35-0,45	0,45-0,60	більше 60
0,05	98	2	0	0	0	0
0,10	80	16	4	0	0	0
0,15	63	22	10	3	2	0
0,20	45	28	13	8	4	2
0,25	34	29	14	10	8	5
0,30	27	24	21	8	10	10
0,40	17	18	19	13	13	20
0,50	13	13	15	15	19	26
0,60	10	9	13	13	18	37
0,70	8	9	9	10	17	47
0,80	7	8	7	8	15	55
1,0	5	6	6	7	10	66

За П.І. Броуновим (1904) сума опадів менша ніж 5 мм за декаду з квітня по грудень є ознакою посушливості.

Для оцінки загальних засух (атмосферних і ґрунтових) Є.С. Уланова у 1973 р. запропонувала використовувати коефіцієнт зволоження

$$K_1 = \frac{W_a + \sum O_{V-VI}}{0,01 \sum T_{V-VI}}, \quad (5.13)$$

де  $W_a$  – запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту під час стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5 °С на весні, мм;

$\sum O_{V-VI}$  – сума опадів за травень – червень, мм;

$\sum T_{V-VI}$  – сума середніх добових температур повітря за травень – червень.

Значення коефіцієнтів зволоження відповідають:

$K_1 < 15$  – дуже сильна засуха,

$15 \leq K_1 < 20$  – сильна засуха,

$20 \leq K_1 < 25$  – середня засуха.

Існує чітка залежність між коефіцієнтом  $K_1$  і середньою врожайністю озимої пшениці (рис. 5.3), табл. 5.12 [1, 48].

Таблиця 5.12 - Значення коефіцієнта зволоження ( $K_1$ ) і відповідної врожайності озимої пшениці (Уланова Є.С., 1988)

$K_1$	Інтенсивність засухи	Урожайність, ц/га
$<15$	Дуже сильна	8...10
$15 \leq K_1 < 20$	Сильна	10...15
$20 \leq K_1 < 25$	Середня	15...20

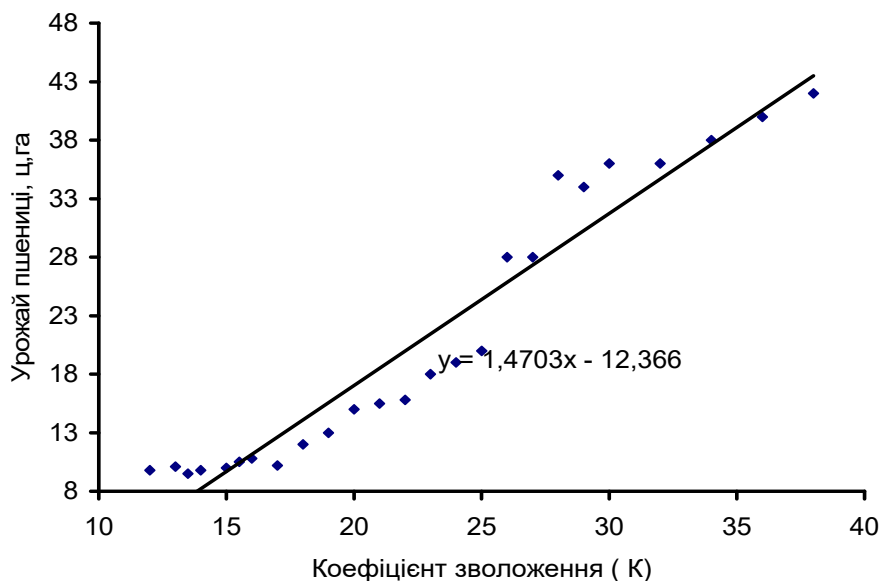


Рис. 5.3 - Залежність середньої обласної урожайності озимої пшениці від коефіцієнта зволоження  $K$  в південно-східних районах України

Багато дослідників за основу оцінки інтенсивності засухи беруть зниження урожайності провідної сільськогосподарської культури в районах, які зазнають дії засухи. Так, за О.В. Процеровим, зниження середнього урожаю до 20 % – *слабка засуха*, від 20 до 50 % – *середня і більше 50 % – сильна* [1,48,55,56].

О.І. Руденко запропонував використовувати такі показники: *дуже сильна засуха* – опади до 18 мм за період сходи – колосіння ярої пшениці і зниження урожаю більше 50 %; *сильна засуха* – опади до 30 – 35 мм за аналогічний період і зниження урожаю на 20–50 %; *середня засуха* – опади більше 35 мм і зниження урожаю до 20 %.

Інтенсивність засух згідно з О.І. Руденком наводиться в табл. 5.13.

Ряд дослідників (В.М. Обухов, О.А. Дроздов, А.В. Мещерська) оцінюють атмосферні засухи за сумою опадів у відсотках середньої багаторічної (кліматичної норми). Дуже сильна засуха спостерігається при

сумі опадів меншій 50 % норми, сильна – при 50–70 %, середня – при 71–80 % норми.

Таблиця 5.13 – Показники інтенсивності засух (за О.І. Руденком)

Інтенсивність засух	Сума опадів від сходів до колосіння, мм	ГТК	Кількість посушливих декад	% опадів від норми за вегетацію
Дуже сильна	близько 18	0,4	5 і більше	40-50
Сильна	30-35	0,4-0,5	3-4	60-70
Середня	трохи більше за 35	0,5-0,6	2 і менше	біля 80

Відомо, що найбільш надійний показник засухи – дані про вологість ґрунту. Зниження весняних запасів продуктивної вологи у метровому шарі до 60 мм є ознакою загрозовано поганих умов забезпеченості вологою рослин протягом літньої вегетації навіть при значних літніх опадах. Весняні запаси продуктивної вологи в степових і лісостепових районах, менше 100 мм, також у більшості випадків призводять до незадовільної вологозабезпеченості сільськогосподарських культур. Висушування верхніх шарів ґрунту в період вегетації – найважливіший показник при характеристиці засухи.

За даними М.С. Кулика, зниження запасів продуктивної вологи в орному шарі ґрунту до 19 мм варто вважати початком посушливого періоду, а до 9 мм – початком сухого періоду. Декади, протягом яких запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–20 см становлять < 20 мм, відносяться до посушливих, а декади із запасами вологи <10 мм – до сухих. Три сухі декади в період кушіння – молочна стиглість - це ознака засухи, чотири-п'ять декад є ознака сильної засухи. Якщо три сухі декади почалися при запасах продуктивної вологи <60 мм у шарі 0–100 см, то це варто вважати показником сильної засухи, а чотири-п'ять сухих декад – дуже сильної засухи.

Ще один підхід до кількісної оцінки засух запропонований Д.А. Педем, розраховується за формулою

$$S = aT/\bar{b}_T - ar/\bar{b}_r, \quad (5.14)$$

де  $aT$ ,  $ar$  – відхилення від середніх багаторічних значень середньої температури повітря та кількості опадів;

$\bar{b}_T$ ,  $\bar{b}_r$ , - стандартні середньоквадратичні відхилення.

За цим показником використовується така класифікація для оцінки засух і умов зволоження: норма – від – 1 до + 1; слабка засуха – від 1 до 2; середня засуха – від 2 до 3; сильна засуха – більше 3; слабке зволоження – від – 1 до – 2; середнє – від -2 до – 3; надмірне зволоження – більше – 3. [1].

**Агрометеорологічні показники суховіїв.** *Суховій* – це складне метеорологічне явище, яке характеризується низькою відносною вологістю повітря (< 30 %) вкупі з високою температурою (вищою за 25 °С) і швидкістю вітру не меншою ніж 5 м /с. Такий збіг факторів зумовлює високу випаровуваність, що веде до порушення водного балансу рослин.

Суховій є результатом розвитку визначених атмосферних процесів. Утворення суховіїв пов'язане з синоптичними процесами великого масштабу, при яких шар повітря з низькою відносною вологістю досягає потужності 2...3 км і більше. Виникнення суховіїв пов'язане з руйнуванням зональної циркуляції атмосфери і зумовлене наявністю теплового високого антициклону над центральними і південно-східними районами Європи при потужній адвекції тепла з півдня або з південного заходу та адвекції холоду у східні райони.

Порушення водного балансу рослин призводить до того, що вони в'януть, жовтіють, а потім починає засихати листя, утворюється щупле зерно, осипаються репродуктивні органи.

Інтенсивність пошкодження рослин залежить від величини розриву між випаровуваністю і водопостачанням рослин. Це свідчить про те, що показники пошкодження від суховіїв повинні бути комплексними. Складність явища суховіїв привела до створення різними авторами багатьох визначень суховіїв та їх кількісних характеристик: А.А. Камінським, Є.Є. Федоровим, Н.К Софотеровим, М.С. Куликом, Г.Т. Селяниновим, О.О. Цубербіллер та ін. [1, 48].

А.А. Камінський за суховій вважає такий вітер, при якому відносна вологість ні в один із термінів спостереження не піднімається вище 50 % за відносно високої мінімальної температури повітря.

Є.Є.Федоров за суховійний запропонував вважати день з середньою за добу температурою вищою 27,5 °С, при середній відносній вологості менше 60 % незалежно від швидкості вітру, а за середньої температури  $t = 22,5...27,5$  °С - дні з відносною вологістю 40 % і нижчою та сильним вітром.

Н.К. Софотеров за суховійні дні вважає дні з максимальною температурою 30 °С і денним дефіцитом насичення 24 мм.

М.С. Кулик вказував на те, що серед агрономів найпоширенішим критерієм суховіїв є відносна вологість повітря о 13-ій годині – менша ніж 30 %, температура повітря в той же термін вища за 25 °С і швидкість вітру 5 м/с і більше. Таким же критерієм запропонував користуватись і І.Є. Бучинський з деякими модифікаціями.

Г.Т.Селянинов вважав доцільним брати за суховійний – день з добовою випаровуваністю 8 мм і більшою (за добовими даними випарника Вільде). Г.Т. Селянинов підкреслював, що така випаровуваність спостерігається при середній за добу вологості повітря 50 %, при підвищеній швидкості вітру або високій температурі.

Виходячи із вищевикладеного, під *суховієм слід розуміти горизонтальний потік повітря з підвищеною температурою і низькою відносною вологістю, який виникає на периферії антициклону, що найчастіше утворюється в трансформованому арктичному повітрі.*

Арктичне повітря, просуваючись на південь, попадає в антициклонічну циркуляцію, прогрівається, ще більше висушується і по південній та південно-західній периферії антициклону попадає в степові і лісостепові райони ЄЧ СНД у вигляді суховію. Тому в південних і в південно-східних районах СНД суховії мають східний, південно-східний або південний напрям.

При суховіях рослини пошкоджуються через порушення в їх організмах водного балансу в бік перевищення витрат вологи через транспірацію над її приходом через коріння. Найсильніше діють суховії на зернові рослини під час колосування, цвітіння та наливу зерна.

Дослідження О.О. Цубербіллер [68] показали, що причиною пошкодження рослин при суховіях є невідповідність між постачанням води рослинам і випаровуваністю. Ця невідповідність під час суховію переходить певну межу, яка не постійна і змінюється в залежності від багатьох факторів.

О.О. Цубербіллер за показник пошкодження рослин від суховіїв використовувала «евопорометричний коефіцієнт» Скворцова

$$K_e = \frac{U_{\Phi}}{U_{cm}}, \quad (5.15)$$

де  $U_{\Phi}$  – випарування з природної поверхні поля, мм;

$U_{cm}$  – випарування зі «стандартної» водної поверхні, яке розраховується за формулою Мейєра-Тихомирова

$$U_{cm} = 0,012D, \quad (5.16)$$

де  $D$  – дефіцит тиску водяної пари, гПа.

Цей коефіцієнт відображає співвідношення між фактичним (вимірним) випаруванням з природної поверхні поля і випаруванням із стандартної водної поверхні.

Сприятливі умови для нормальної життєдіяльності рослин складаються, якщо  $K_e = 0,8 - 1,5$ .

О.О. Цубербіллер встановила агрометеорологічні показники суховіїв, для чого розділила їх за інтенсивністю на *слабкі, середні, сильні і дуже сильні* і розробила оцінку ступеня пошкодження рослин на прикладі зернових культур табл. 5.14.

Таблиця 5.14 – Агрометеорологічні критерії пошкодження зернових культур суховіями (за О.О. Цубербіллер)

Метеорологічні величини		Типи суховіїв			
		слабкі	середньої інтенсивності	інтенсивні	дуже інтенсивні
Випаровуваність (мм/д)		3-5	5-6	6-8	>8
Дефіцит насичення повітря в будці о 13 год Для швидкості вітру 5 м/с	<10	15-24	25-29	30-39	>40
	≥10	10-14	≥20	≥25	≥35
Запаси продуктивної вологи (мм) по шарах (см), при яких спостерігається пошкодження	0-20	≤20	≤10	≤10	–
	0-50	≤50	≤30	–	–
	0-100	≤80	≤50	≤30	≤30
Характеристика пошкодження рослин		Легке зниження тургору	Значне зниження тургору, скручування листя, пожовтіння, підсихання. У рослин можливий невеликий захват через 3-5 днів	Сильне в'янення і всихання вегетативної маси, захват зерна через 2-3 дні у загартованих рослин, у незагартованих – через 1-2 дні	Швидке і сильне пошкодження вегетативної маси, захват зерна через 1-2 дні

О.О. Цубербіллер вказує, що такі градації суховіїв не будуть пошкоджувати рослини за умов наявності достатніх запасів продуктивної вологи в ґрунті.

Також нею розроблена оцінка умов суховійності стосовно формування зерна різної наповненості табл. 5.15.

Частота виникнення суховіїв, кількість днів з суховіями різної інтенсивності й тривалості змінюються по географічних зонах. Для кожної зони притаманний свій тип кривої річного ходу кількості днів із суховіями.

В лісовій зоні максимум кількості днів із суховіями спостерігається в травні, в лісостеповій – один навесні, другий в середині або наприкінці літа. Таке ж явище спостерігається і в степових районах. Для європейської

частини СНД була розроблена таблиця імовірності кількості днів із суховіями в залежності від середньої багаторічної кількості днів, табл.5.15.

Таблиця 5.15– Оцінка умов суховійності періоду «третій лист – воскова стиглість» стосовно формування маси 1000 зерен ярої пшениці (за О.О. Цубербіллер)

Зона	Інтенсивність суховіїв, гПа	Число днів з суховіями, за яких формується маса 1000 зерен		
		висока	середня	низька
Лісостеп Західного Сибіру	$\geq 20$	< 7	7-34	>34
Степи Західного Сибіру	$\geq 20$	<17	7-35	>35
	$\geq 30$	<2	2-17	>17
Степи Поволжя	$\geq 20$	<4	4-20	>20

В лісовій зоні повторюваність інтенсивних суховіїв невелика – один раз на 10 – 20 років, тому і пошкодження зерна в цій зоні всього у 10 % років. В степовій зоні повторюваність ще більше зростає, а пошкодження зерна спостерігається 3 – 5 разів за десять років.

С.І. Смирнова виконала порівняння добових змін метеорологічних величин в суховійні і не суховійні дні, табл. 5.16.

Таблиця 5.16 - Типізація інтенсивності суховіїв за дефіцитом насичення парціального тиску водяної пари (гПа) і швидкості вітру (С.І. Смирнова, 1976)

Метеорологічні елементи	Дні	
	суховійні	не суховійні
Температура повітря, °С	15,4	13,1
Відносна вологість повітря, %	30	35
Швидкість вітру, м/с	3,0	2,5
Зростання нестачі насичення від 7 до 13 г, мб	21,1	12,4

### 5.2.5 Посушливі умови і урожай.

Із усіх несприятливих гідрометеорологічних явищ найбільший збиток сільському господарству наносять інтенсивні тривалі засухи, які



охоплюють значні території. За дослідженнями Є.С. Уланової і Г.І. Страшної зменшення урожайності зерна в посушливі роки досягає 40...60 % і більше.

У зернових культур насіння при проростанні часто піддається впливу високих і дуже високих температур. Відомі випадки, коли температура ґрунту при проростанні пшениці досягала 45 °С, а кукурудзи – 55 °С. Паростки дуже чутливі до підвищення температури, тому маса паростків при температурі вищій за 20 °С і відповідному прискореному розвитку знижується. Це може призвести до зменшення кінцевої урожайності, навіть якщо надалі умови для формування врожаю будуть оптимальними. Маса пагонів і коренів у паростків кукурудзи знижується на 10 %, на кожен градус перевищення температурного порога в 26 °С.

У пшениці кількість листків не залежить від температури, а залежність загальної площі листя однієї рослини від температури в цілому опосередкована через вплив температури на розміри листків і тривалість їхнього життя. Інші параметри, що визначають потенційну кількість зерен, навпаки, сильно залежать від температури і знижуються пропорційно скороченню тривалості періоду до цвітіння. Кількість пагонів і відповідно, колосків на одну рослину, а також кількість колосків у колосі і квіток у колоску мають тенденцію до зниження при підйомі температури вище за 15 °С в період до початку цвітіння.

Існує генотипова варіація залежності кількості колосків і квіток від підвищених температур.

Порогові температури ушкодження для генеративних органів набагато нижчі, ніж для інших органів. Так, у кукурудзи зменшення закладки насіння відбувається при температурі вищій за 38 °С головним чином через зменшення здатності пилка до проростання і росту пилкової трубки, а поява тичинкових ниточок і насінних зачатків менше залежать від високих температур.

Період після цвітіння у зернових культур характеризується більшим впливом високих температур, які спричиняють серйозні порушення фізіологічних процесів і відповідно впливають на формування врожаю і його якість. Розвиток зародка може загальмуватися, якщо температура перевищить порогове значення для даної культури або сорту. Оскільки запліднення у зернових не синхронізовано навіть у межах окремого колоска, важко відокремити вплив високої температури на запліднення і ранній розвиток зародка [1].

При вивченні впливу помірно високих температур (15–32 °С) на формування врожаю у зернових культур встановлено, що втрати врожаю можуть складати 10–15 %, наприклад для рису і кукурудзи (рис. 5.4)

Ярі культури (рис, кукурудза) у цілому більш стійкі до жару, чим озимі (пшениця), так втрата маси зернівки при перевищенні температури на 1 °С складає 4 % від максимуму у пшениці, 3% – у кукурудзи і лише 1 %

– у рису. Подібне зниження маси зернівки зумовлено різною чутливістю до температури швидкості і тривалості наливу. При цьому тенденція приблизно однакова для всіх культур: у міру підвищення температури збільшення швидкості наливу зернівки не компенсує зниження тривалості наливу. Наприклад, у пшениці тривалість наливу знижується з підвищенням температури приблизно на три доби на кожен градус підвищення температури в діапазоні 16–26 °С. При подальшому підвищенні температури реакція стає асимптотичною, в результаті при підвищенні денної/нічної температури з 21/16 °С до 30/25 °С період наливу зерна скорочується практично в 2 рази [40].

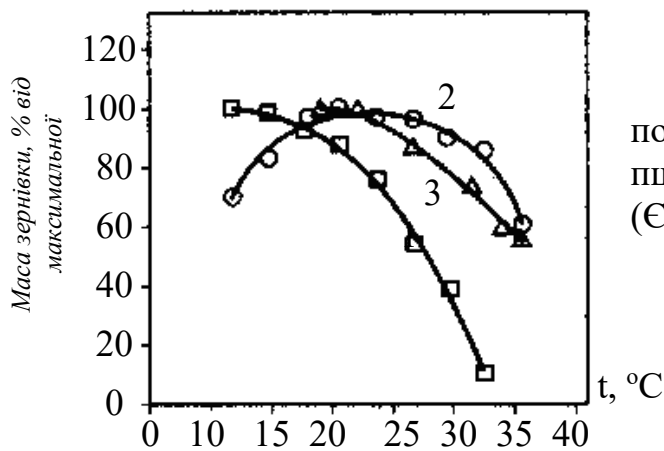


Рис.5.4 Вплив температури повітря на масу однієї зернівки пшениці, рису, кукурудзи (Є.І. Кошкін, 2010).

1 – пшениця; 2 – рис; 3 – кукурудза.

При дії прогресуючої засухи спостерігається певна послідовність порушення основних процесів, які складають енергомасообмін рослин: ріст, фотосинтез, дихання. По стійкості до зневоднювання ці процеси розташовуються в зворотному порядку: дихання, фотосинтез, ріст. Динаміка співвідношення між цими процесами представлена в роботі І.А. Куперман і О.В. Хитрово. Якщо взяти за критерій зміну масообміну, то зміну стану рослин при дії прогресуючої засухи умовно можна розділити на фази: позитивного  $t_1...t_5$ , нульового  $t_5...t_6$  і негативного  $t_6...t_8$  балансу органічної речовини (рис. 5.5).

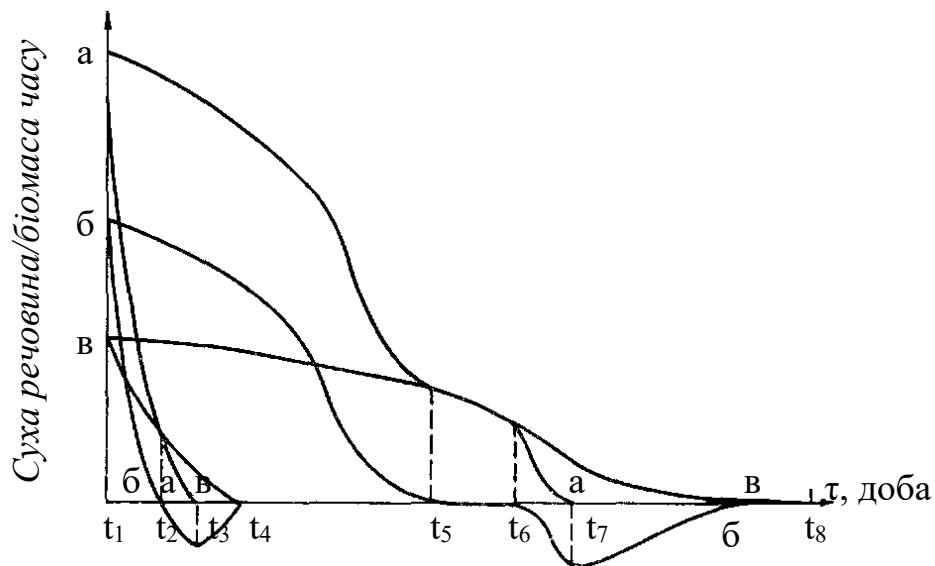


Рис. 5.5 – Зміна відношення між інтенсивністю фотосинтезу, дихання і приросту в період засухи (І.А. Куперман і О.В. Хитрово, 1973).

а – фотосинтез; б – приріст; в – дихання;  $t_1...t_4$  – швидке зневоднювання;  $t_1, \dots, t_8$  – прогресуюча посуха;  $t_2, t_5, t_6$  – час настання нульового балансу органічної речовини;  $t_3, \dots, t_7$  – час припинення фотосинтезу.

Перша фаза характеризується відносно сприятливими для протікання різних фізіологічних процесів умовами, але новоутворення уже загальмоване і надземна частина не в змозі освоїти вуглеводи, які утворюються в процесі фотосинтезу, тобто «пропозиція» перевищує «попит» і відбувається «затоварення» вуглеводами, яке виражається в підвищенні їхньої концентрації. Незважаючи на збільшення напруженості у забезпеченні рослини водою, коренева система знаходиться у відносно більш сприятливих умовах і може використовувати ці вуглеводні «надлишки» на освоєння нових об'ємів ґрунту. Отже компенсаційні реакції першої фази пов'язані значною мірою на рівні регуляції організму і супроводжуються активним проникненням рослини в більш вологі шари, тобто носять «динамічний» характер [1].

При подальшому посиленні засухи в результаті зниження інтенсивності фотосинтезу і погіршення умов для росту масообмін падає до компенсаційного рівня (друга фаза); при цьому новоутворення можливе тільки за рахунок внутрішніх резервів і лише в дуже обмежених зонах росту. До цього часу може бути витрачена вся доступна волога, внаслідок чого ріст коренів буде припинений. Компенсаційні реакції в такому стані вже менше пов'язані з організмом як цілісною системою і здійснюються за рахунок локального опору окремих органів, тканин і клітин, зв'язок між якими неухильно слабшає, тобто опір стає все більш «статичним».

У третю фазу спостерігається «негативний приріст», тобто енергія, затрачена на існування активної біомаси, уже не покривається за рахунок зовнішнього енергомасообміну. При цьому змінюється співвідношення

між активними і пасивними (омертвілими) елементами клітин і тканин на користь останніх, які служать, з одного боку, донорами речовини й енергії, а з іншого, фізичним захистом активних елементів від руйнівної дії зовнішнього середовища. У подібних умовах різні сорти можуть існувати, очевидно, різний час. Поступово навіть у найбільш стійкої і захищеної частини біомаси починають переважати глибокі незворотні порушення, які призводять до припинення дихання і загибелі рослини.

Міра небезпечності засух і суховіїв залежить в першу чергу від посухостійкості рослин того чи іншого виду і сорту. Серед сільськогосподарських культур найбільше пошкоджуються засухами і суховіями ярі зернові культури, які найбільш активно розвиваються у весняно-літній засухонебезпечний період. Більш сприятливі умови складаються для озимих зернових культур через те, що в них краще розвинене коріння і тому вони краще використовують ґрунтову вологу.

Є.С. Улановою і Г.І. Страшною [67] встановлено, що існує чітка залежність урожайності зернових культур від гідротермічного коефіцієнта за травень – червень для південно-східних областей України (рис. 5.6).

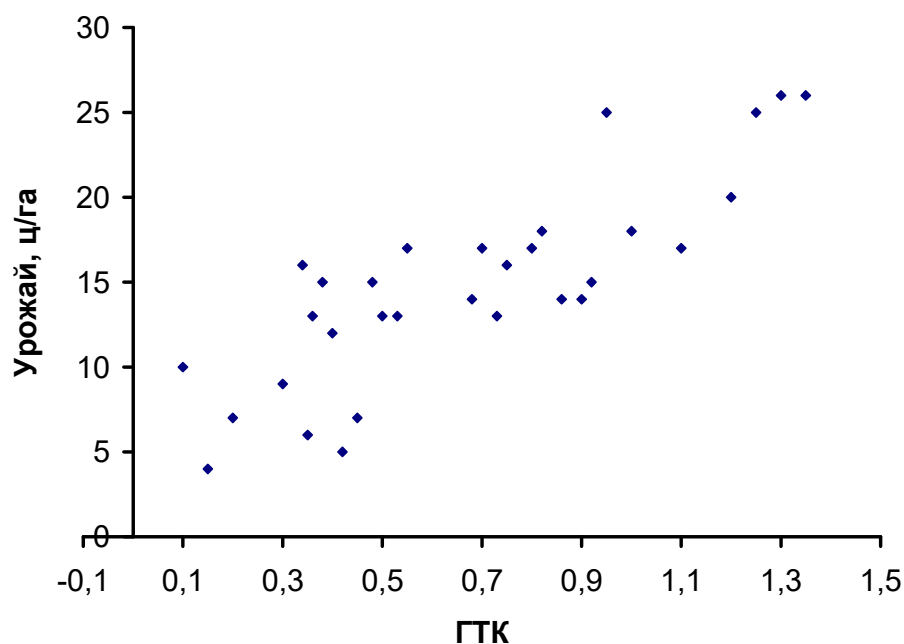


Рис. 5.6 – Залежність урожайності зернових культур від гідротермічного коефіцієнта за травень – червень для південно-східних областей України.

При виникненні сильних суховіїв пошкодження рослин можливе за дуже короткий термін (через 12 годин).

За даними Л.Є. Пасечнюк і В.А. Сеннікова засушливі умови несприятливо впливають на формування висоти стеблостою та продуктивної кущистості зернових культур.

Встановлено вплив кількості днів ( $x$ ) із суховіями за період 3-їй лист – цвітіння на висоту рослин ярої пшениці ( $y$ ) в степових районах. Залежність виражається рівнянням

$$\begin{aligned} Y &= 499,9 x + 26.6, \\ S_y &= 13 \text{ см} \end{aligned} \quad (5.17)$$

В лісостепових районах залежність висоти рослин від кількості суховійних днів має меншу тісноту.

Цими авторами також проведено дослідження впливу кількості днів із суховіями на формування репродуктивних органів ярої пшениці. Встановлено, що найбільше зменшення кількості колосків у колосі відбувається при кількості днів із суховіями за період третій лист – цвітіння більше 16 та кількості опадів за цей період не більшій ніж 40 мм і запасів вологи в орному шарі ґрунту у фазі виходу у трубку менше 20 мм.

Кількість зерен в колосі в значній мірі визначається умовами навколишнього середовища в період закладки колосу, диференціації колосу та квітки, кількості повністю сформованих і запліднених квіток. Нестача вологи на початку фази виходу у трубку і в наступні десять діб проявляється у збільшенні кількості безплідних квіток, а потім колосків.

З настанням фази молочної стиглості закінчується період формування зернівки і починається період наливу зерна, який продовжується до фази воскової стиглості. Несприятливі умови в цей період порушують приріст сухої речовини і зменшують масу 1000 зерен.

Визначають два типи пошкодження від засух і суховіїв: *захват* зерна – пошкодження від надмірної втрати вологи і *занал* зерна – пошкодження від перегріву.

Щупле зерно в засушливі роки відзначається малим вмістом в ньому вологи, який інколи доходить до того, що неможливе вже надходження пластичних речовин в зерно. При сильних суховіях тривалість міжфазного періоду колосіння – воскова стиглість різко скорочується, вологість зерна зменшується до 40 %, а за такої вологості зерна відбувається згортання гідрофільних колоїдів, рослини завчасно засихають і дають щупле зерно. Вплив високих температур на формування врожаю для різних культур різний. На зменшення врожаю за високих температур впливає ціла низка чинників: зменшення кількості органів у відповідну фазу онтогенезу, зменшення кількості пагонів і т.ін. У кукурудзи, рису, озимої пшениці втрати урожаю можуть бути 10 – 15 %, тоді як у ярої пшениці - тільки 4 %.

Втрати урожаю значною мірою залежать від зміни швидкості наливу зерна при підвищених температурах. Зменшення маси зернівки

зумовлюється різною залежністю від температури швидкості і тривалості наливу зернівки. В міру підвищення температури збільшення швидкості наливу зернівки не компенсує зменшення тривалості наливу. Тривалість наливу зернівки зменшується з підвищенням температури приблизно на 3 доби на кожен градус підвищення температури вище критичної.

Зниження урожайності в умовах сильної жари зумовлюється затриманням здатності перетворювати фотоасиміляти на крохмаль. Помірно високі температури впливають на розмір крохмальних гранул А-типу та їх кількість, незначно зменшують вміст сахарози в зернівках усіх зернових культур. Кінцевий результат впливу підвищених температур на урожайність залежить також від того, в який період наливу зернівки вони виникають. Особливо чутливий вплив високих температур на початку розвитку зернівки.

Значною мірою атмосферною засухою пояснюється і явище запалу зерна, яке найчастіше спостерігається на півдні та південному сході країни. Поява жаркого сухого вітру на фоні засухи за декілька годин спричиняє різке погіршення якості зерна. Особливо великі пошкодження і втрати врожаю спостерігаються при виникненні сильних суховіїв на фоні ґрунтової засухи, коли запаси продуктивної вологи у ґрунті менше 30 мм, кількість днів з дефіцитом насичення 25 мм не менше 3. Була розрахована номограма сумарної ймовірності можливої кількості днів із суховіями (рис. 5.7).

Ярі культури можуть пошкоджуватись засушливими умовами в будь-який період розвитку. Дослідженнями Жукова В.А., Святкіної О.А. встановлено, що дія засухи в різні міжфазні періоди по-різному впливає на втрати врожаю. При появі засушливих умов в період від сходів до кущіння втрати врожаю від максимального становлять 30 %, від кущіння до колосіння – 40 %, від колосіння до воскової стиглості – 25 %, від сівби до колосіння – 70 %, від кущіння до воскової стиглості – 60 %.

В роботах А.М. Польового [57, 58] моделюється вплив засушливих умов на формування врожаю. При недостатній забезпеченості вологою відбувається порушення життєдіяльності рослин. Збільшення дефіциту вологи в ґрунті супроводжується безперервним підсиленням дихання, зменшенням фотосинтезу. Відзначається уповільнення росту і зменшення відношення надземної маси рослин до маси коріння.

На разі в народному господарстві розроблено чотири напрями боротьби із засухою: селекційно-генетичний, агротехнічний, меліоративний і географічний [53, 56].

Селекційно-генетичний напрям полягає у створення рослин з цілком визначеними властивостями – стійких до засушливих умов, до полягання, стійких до шкідників і хвороб.

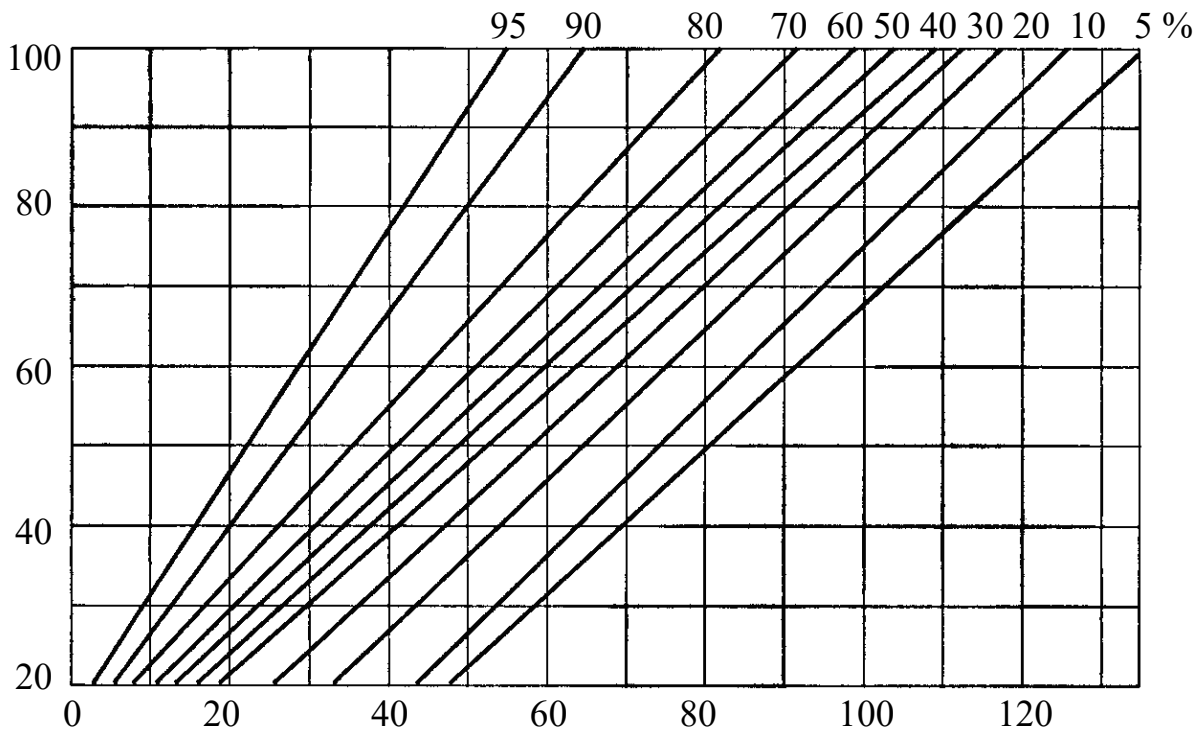


Рис. 5.7 – Номограма сумарної імовірності можливої кількості днів з суховіями в залежності від середньої багаторічної їх кількості (y) за період квітень-вересень на ЄЧ СНД. (за В.О. Селяниновим і Л.Є. Пасечнюк )

Агротехнічний напрям має на меті проведення польових робіт в оптимальні строки, сівбу по парах і зябу, дотримання сівозмін, внесення добрив, збереження ґрунтової вологи та ін.

Географічний напрям передбачає розміщення сортів культур в різних географічних зонах, що дозволить компенсувати недобір урожаїв в одних районах за рахунок високих врожаїв в інших районах.

Меліоративний напрям передбачає зрошувальні та осушувальні заходи, полезахисні лісонасадження та снігові меліорації взимку.

Перед будь-яким видом сільськогосподарських меліорацій стоїть головна задача – поліпшити водний режим земель і пов'язані з ним харчовий, повітряний і тепловий режими ґрунтів, а також їх кліматичні та гідрологічні умови. Поліпшення водного режиму досягається двома шляхами – поповненням нестачі вологи та усуненням її надлишків.

#### *Контрольні запитання*

1. Що називається засухою?
2. Схема утворення засух.
3. Класифікація засух.
4. Критерії оцінки засух за метеорологічними величинами.

5. Критерії оцінки засух за запасами продуктивної вологи.
6. В які періоди розвитку рослин засуха найбільш небезпечна?
7. В чому полягає оцінка засух за Є.С. Улановою?
8. Як оцінюються засушливі явища О.І Руденком?
9. В чому полягає оцінка посушливих явищ Д.І. Шашко?
10. Який день вважається суховійним?
11. Що називається «запалом і захватом» зерна?

### 5.2.6 Заморозки

Під заморозком розуміють зниження мінімальної температури нижче від 0 °С на поверхні ґрунту або травостою на фоні позитивних середніх добових температур повітря. При цьому температура у метеорологічній будці може бути і вищою, і нижчою 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 [1, 49, 60, 61].

Рослинний покрив згладжує різкі коливання температури поверхні ґрунту.

За процесами виникнення і умовами погоди відрізняють три типи заморозків: *адвективні, радіаційні, адвективно-радіаційні*.

*Адвективні заморозки* виникають внаслідок вторгнення хвилі холоду. Вони зазвичай тривають декілька днів на початку весни та пізньої осені на загальному позитивному фоні температури, повній хмарності і вітрі. При виникненні таких заморозків мінімальна температура повітря опускається до 0 °С, інколи це відбувається також із середньодобовою температурою.

*Радіаційні заморозки* виникають в тихі ясні ночі в результаті добового ходу температури при відносно низьких середньодобових температурах та інтенсивному нічному випромінюванні.

Рівень середньодобових температур, за яких виникають такі заморозки, залежить від кліматичних умов. У приморських районах такі заморозки припиняються за середньодобових температур 5...6 °С. В континентальному кліматі – за рівня середньодобових температур 12...13 °С, у вузьких глибоких долинах континентального клімату – при 14...15 °С.

Внаслідок малої швидкості вітру та слабого вертикального перемішування приземного шару повітря при радіаційних заморозках утворюються великі інверсії температури.

*Адвективно-радіаційні заморозки* утворюються в результаті вторгнення холодного повітря північного походження і подальшого



вихолодження за рахунок нічного випромінювання. В цьому випадку процеси адвекції та радіації доповнюють один одного. Нічне зменшення температури при виникненні цього типу заморозку  $2...3\text{ }^{\circ}\text{C}$  і найчастіше відзначається тільки в пригрунтових шарах за загальної позитивної температури повітря в метеорологічній будці.

За інтенсивністю заморозки бувають *слабкі*, коли температура діючої поверхні не буває нижчою за  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; *середні* – температура опускається до  $3...-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  і заморозок охоплює нижні шари повітря; *сильні* заморозки –  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  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  $5...6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в більш континентальному кліматі – за середньої температури  $10...13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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 заморозків навесні і настання восени щороку дуже мінливі. Період між останнім заморозком навесні і першим восени називається *беззаморозковим періодом* [56].

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. 5.8).

На інтенсивність і строки припинення заморозків впливає багато факторів: рельєф місцевості, стан ґрунту, рослинність, віддаленість від водоймищ і т. ін.

Горбиста місцевість зумовлює стік і надходження холодного повітря у більш низькі місця рельєфу. Тому біля підніжжя горбів і схилів повітря значно холодніше. Особливо холодно у замкнутих улоговинах. Різниця між температурою повітря біля поверхні ґрунту і на висоті 2 м іноді сягає  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тривалість беззаморозкового періоду в увігнутих формах рельєфу значно зменшується, а інтенсивність заморозків збільшується. Теж саме спостерігається на лісових галявинах. Навпаки, на верхів'ях горбів і верхніх частинах схилів заморозки, в порівнянні з відкритим рівним місцем, слабкі й тривалість беззаморозкового періоду збільшується.

Небезпечність заморозків більша для рослин на східних і 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 відновити дефіцит вологи й засихають.

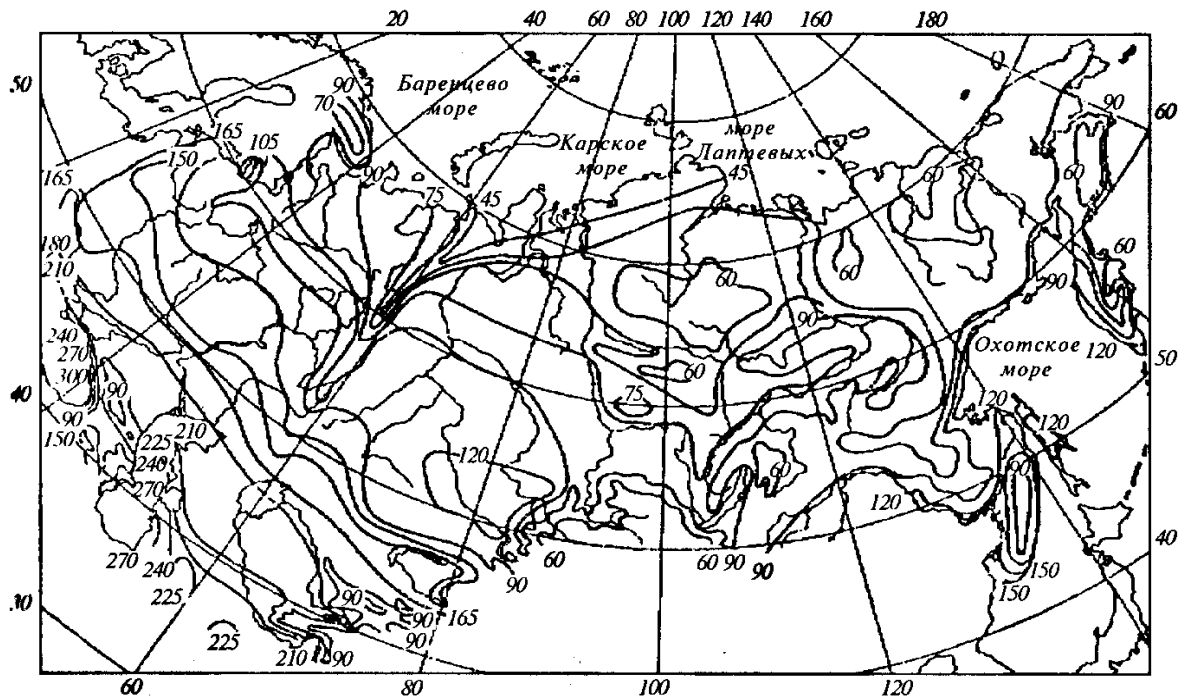


Рис. 5.8 – Середньобагаторічна тривалість беззаморозкового періоду у повітрі на відкритому місці

Механізм пошкодження заморозками полягає в тому, що заморозки порушують життєві функції рослин і обмежують розповсюдження видів в залежності від своєї інтенсивності, тривалості і періодичності виникнення. Міра пошкодження рослин заморозками залежить від віку рослин та їх загартування [56].

Під час дії заморозку протоплазма рослин спочатку відповідає на це різким підвищенням метаболізму. Якщо зменшення температури відбувається різко, вона швидко проходить критичну точку і функції рослини пошкоджуються так швидко, що протоплазма зразу відмирає. При поступовому зниженні температури пошкодження рослин відбуваються поступово – окремі життєві функції виводяться із рівноваги та пригнічуються до тих пір, поки клітина не відіме [62].

Під впливом заморозку рух протоплазми уповільнюється, потім зменшується фотосинтез і дихання. Екстремальні температури повністю припиняють газообмін.

Під час дії заморозку багаті водою незагартовані протопласти легко замерзають, при цьому всередині клітини утворюються льодяні кристали і клітина гине. Дуже часто лід утворюється не у клітинах, а у міжклітинниках і клітинних стінках. Викристалізований лід діє як сухе повітря. В результаті від протопластів віднімається вода, вони сильно ущільнюються і концентрація розчину в них підвищується. Переміщення води і замерзання продовжуються до тих пір, поки в протоплазмі не

встановиться рівновага сисних сил між льодом та водою. Через це морозостійкість клітини більш висока, якщо вода тісно зв'язана зі структурами протоплазми.

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 настають до закінчення вегетаційного періоду. Вони становлять меншу загрозу для сільського господарства, тому що до тієї пори врожай найчастіше вже зібрано. Чим далі на північ, тим більше скорочується тривалість періоду між останнім весняним і першим осіннім заморозком. В північних областях беззаморозковий період майже відсутній і заморозки спостерігаються навіть протягом літа. На півдні тривалість беззаморозкового періоду збільшується: навесні заморозки закінчуються раніше, а восени настають пізніше.

Пошкодження рослин заморозком спостерігається не відразу після зниження температури до 0 °С, а лише при досягненні певних негативних значень. Для кожної культури і кожної фази розвитку існує своя межа негативної температури, за якої спостерігається пошкодження або загибель рослин. Таку температуру називають *критичною*.

В.Н. Степанов [10, 23, 55] класифікував головні польові культури за стійкістю їх до заморозків і виділив 5 груп, табл. 5.17. З табл. 5.17 видно, що найбільш стійкі до заморозків рослини на початку розвитку, а найменш стійкі – в період формування генеративних органів. В період цвітіння більшість зернових польових культур гине при температурі -2...-3 °С.

Заморозки інтенсивністю від 0 до -2 °С в період цвітіння плодових культур призводять до загибелі всього врожаю (табл. 5.17).

Дослідження О.І. Коровіна показали, що заморозки на початку вегетації справляють велику післядію на ріст, розвиток і врожай рослин.

Після інтенсивного заморозку ростові процеси уповільнюються і запізнюється настання наступних фаз розвитку рослин.

Заморозок на початку вегетації спричиняє 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 і наступних агрометеорологічних умов, від біологічних особливостей рослин, їх стану, фази розвитку, засобів агротехніки та ін.[1, 44, 48].

Більш сильні пізні весняні заморозки навіть за умови не перевищення критичної температури спричиняють уповільнення розвитку рослин, а це зменшує врожай на 10 – 15 %.

Таблиця 5.17 – Класифікація основних сільськогосподарських культур щодо стійкості їх до заморозків в різні періоди онтогенезу (за В.Н.Степановим)

Культура	Температура початку пошкодження, часткової загибелі рослин, 0 °С			Температура загибелі більшості рослин, 0 °С		
	сходи	цвітіння	дозрівання	сходи	цвітіння	дозрівання
<b>Найбільш стійкі</b>						
Яр. 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
Чечевиця	7,-8	-2,-3	-2,-4	-8,-11	-3	-4
<b>Стійкі</b>						
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	-
<b>Середньостійкі</b>						
Соя	-3,-4	-2	-2,-3	-4	-2	-3
Люпин жовтий	-4,-5	-2,-3	-	-6	-3	-
Капуста	-5,-7	-2,-3	-6,-9	-	-	-
<b>Малостійкі</b>						
Кукурудза, просо, сорго, суданська трава, картопля	-2, -3	-1, -2	-2, -3	-3	-2	-3
	-2	-2	-1, -2	-2, -3	-2,-3	-3
<b>Нестійкі</b>						
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
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	-	-
Бавовна	-0,5	-0,5	-1	-1	-1	-1, -2

У плодкових та ягідних культур різні частини однієї і тієї ж рослини мають різний ступінь заморозкості. В період цвітіння і утворення зав'язі заморозки від 0 до – 2 °С можуть загубити весь урожай [2], табл. 5.18.

Таблиця 5.18 – Критичні температури пошкодження різних частин рослин деяких плодоягідних культур (за Н.І. Сенициною)

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	Розпукнуті 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

Тобто, небезпечними для даної культури заморозками будуть ті, що настають після деякого періоду з температурою вищою за рівень вегетації даної рослини і тривають не менше періоду від сівби до сходів, табл. 5.19.

Вважаючи, що тривалість періоду від сівби до сходів не менша ніж 5 днів для пшениці та вівса і не менше 10 днів для соняшнику, кукурудзи, сорго і баштанних, поява заморозків через 5 днів після настання середньої добової температури 5 °С для вівса та пшениці і після 10 днів для

соняшнику та інших, 12 °С – для кукурудзи і 15 °С для овочевих і баштанних – об’єктивно небезпечна

Таблиця 5.19– Вплив заморозків в різні періоди органогенезу на тривалість вегетаційного періоду і врожай ярої пшениці

Варіант досліджу	Тривалість вегет періоду, дні	Висота рослин, см	Число зерен у колоску, шт.	Абсолютна маса зерна, г	Урожай, ц/га		
					загальний	зерна	соломи
Без заморозка	75	70	30	25	30,9	8,6	22,3
Заморозок - 6° С у фазі 3-й лист	83	75	20	19	27,4	4,4	23,0
-7 °С у фазу кушціння	76	75	25	18	30,7	6,7	24,0
-6 °С у фазу молочн. стиглості	75	70	25	19	21,5	4,5	17,0
- 9 °С у фазу восков. стиглості	70	70	30	21	25,3	7,7	17,6

. При цьому, оскільки овес і пшениця легко переносять зниження температури до -5 °С, соняшник – до -3 °С, 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 й 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 [37, 39, 40].

Несприятливі зовнішні впливи знижують озерненість колосся пшениці за рахунок зміни кількості і якості тих елементів колоса, які у цей час знаходяться в процесі диференціювання.

Уповільнення ростових процесів позначається на нагромадженні сухої речовини, в результаті чого суха маса рослин після заморозку виявляється заниженою. За даними А.К. Вінтер, відставання в рості і розвитку рослин кукурудзи, які попали під дію заморозку інтенсивністю  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , спостерігалось аж до збирання урожаю. Приріст вегетативної маси у рослин, які підпали під заморозок, відбувався повільніше, ніж у контрольних. Заморозок затримує розвиток рослин. Поява султана у рослин, які ушкоджувались заморозком, затримувалася на 7 – 8 діб. Заморозок знижує озерненість початків дослідних рослин на 30 % у порівнянні з контрольними. Подібне явище відзначається як «феномен стерильності» – череззерниці в результаті дії заморозків на генеративні органи.

Середньодобові температури, які передують заморозку, впливають на заморозкостійкість рослин. Низькі попередні середньодобові температури трохи послабляють шкідливу дію заморозку. Дані дослідів А.І. Коровіна показують, що низькі позитивні температури ґрунту підвищують стійкість рослин до заморозків. С.Р. Поповим була проведена серія дослідів щодо виявлення впливу низьких позитивних нічних температур повітря перед заморозком. Виявилось, що як у теплолюбних (кукурудза), так і в холодостійких (пшениця, боби) культур низькі нічні температури порядку  $2...3\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 3 – 4 діб перед заморозком підвищують заморозкостійкість рослин. Такий вплив у холодостійких культур, наприклад, у кормових бобів, цілком нейтралізує негативний вплив заморозку на кінцевий урожай.

У ході дослідів А.І. Коровіна було встановлено, що слабкі і сильні заморозки по-різному впливають на мінеральне живлення. На початку вегетації заморозки  $-1...-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  для теплолюбних культур і  $-3...-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  для холодостійких не мають істотного впливу на мінеральне живлення. Більш того, такі заморозки можуть навіть трохи стимулювати поглинання окремих елементів у період заморозку. Більш сильні заморозки ( $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  для теплолюбних культур і  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  для холодостійких) спричиняють уже помітні відхилення, які виявляються в зміні швидкості надходження елементів живлення. Відхилення в мінеральному живленні фіксуються в перші 5–6 днів, вони тим більші, чим сильніший заморозок. На 10–12-й день післядія заморозку загасає.

Вплив заморозку на поглинання фосфору починається вже в момент самого заморозку. Як правило, при зниженні температури, особливо після переходу її через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , поглинання фосфору корінням збільшується, і це зростання йде з поглибленням заморозку (рис. 5.9).

Надалі інтенсивність надходження фосфору знижується. Надходження фосфору залежить від інтенсивності заморозку: при сильному заморозку зниження починається в середині заморозку, при менш сильному – після нього, іноді через кілька діб. При заморозках

–4,3 °С для кукурудзи і –7,2 °С для пшениці у більшості рослин ушкоджувалися два нижні листки. При заморозку –5,6 °С у пшениці цілком ушкоджувався лише перший нижній листок, верхні ж листки зовні не змінювались [39, 40].

Поглинання азоту, так само як і інших елементів живлення, коренями рослин у момент заморозку значною мірою визначається температурою в зоні коренів: якщо вона не нижча ніж 7...8 °С, то заморозок навіть трохи стимулює надходження азоту, якщо нижче, то пригнічує. Пригніченість метаболізму елементів мінерального живлення в рослинах після заморозку відповідає зниженню інтенсивності дихання, фотосинтезу. У цілому під впливом заморозку протягом 10 – 12 днів пригнічується загальний тонус синтетичних процесів, що в підсумку призводить до подовження вегетаційного періоду і зниження кінцевої продуктивності рослин.

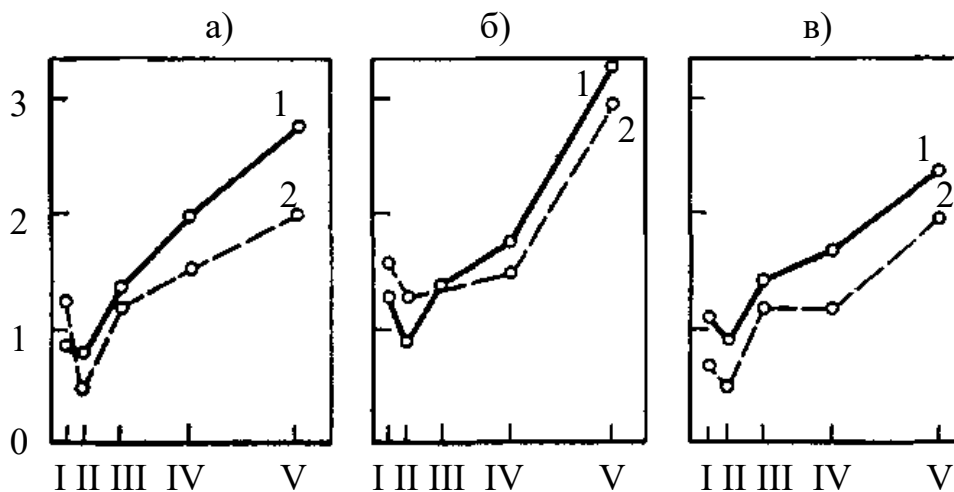


Рис. 5.9 – Дія та післядія заморозку на поглинання фосфору рослинами в мг на 100 мг абсолютно сухої маси коренів (А. І. Корвін, 1972): а – кукурудза, заморозок –4,3°С; б – пшениця, заморозок –5,6°С; в – пшениця, заморозок –7,2°С; 1 – контроль; 2 – дослід: I – при максимальній силі заморозку; II – через 6 год. після заморозку; III-V – відповідно через одну, три та шість діб після заморозку.

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. Така інформація необхідна для оцінки заморозконебезпечності території при розміщенні теплолюбних культур, при визначенні найсприятливіших термінів сівби і збирання сільськогосподарських культур, а також при виборі засобів захисту від заморозків, табл. 5.20.



Таблиця 5.20 – Післядія весняних заморозків на урожайність і тривалість вегетаційного періоду основних польових культур (за О.І. Коровіним)

Культура	Період відростання озимих й появи сходів у ярих культур			Період від кушіння до виходу в трубку або утворення 2-3 листків у незлакових культур	
	інтенсивність заморозку, °С	зменшення урожаю, %	збільшення вегетаційного періоду, дні	зменшення урожаю, %	збільшення вегетаційного періоду, дні
Озима пшениця	-8...-10	10-25	від 3 до 6	10 – 30	4-8
Озиме жито	-8...-10	10-25	від 3 до 5	10-30	4-8
Яра пшениця	-5...-7	10-25	від 2 до 5	15-30	4-8
Ярий ячмінь	-6...-8	10-20	від 2 до 5	12-25	4-7
Овес	-6...-8	10-20	від 2 до 5	20-50	4-6
Кукурудза	-1...-2	10-25	від 5 до 8	20-50	8-15
Гречка	-3...-4	10-30	від 5 до 8	20-50	8-12
Горох	-4...-5	10-30	від 4 до 7	15-40	5-10
Соя	-1...-2	10-20	від 4 до 7	15-30	5-10
Сочевиця	-4...-5	10-20	від 4 до 6	15-30	5-8
Люпин	-4...-5	10-20	від 2 до 6	15-30	5-8
Льон	-5...-6	10-30	від 2 до 5	10-30	5-10

Оптимальні терміни сівби теплолюбних культур забезпечують появу дружних сходів, добрий розвиток посівів у подальші періоди. Своєчасність сівби значною мірою визначається температурними умовами верхніх шарів ґрунту, часом настання й інтенсивністю весняних заморозків.

Визначення найбільш сприятливих термінів сівби теплолюбних культур за температурними умовами 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 °С, але й іншої інтенсивності: -2; -3; -4°С. Т.О. Голубова встановила, що ймовірність виникнення заморозків тісно пов'язана з середньою за декаду температурою повітря, табл. 5.20. Ця залежність

дозволяє визначити ймовірність пошкодження заморозками різних сільськогосподарських культур якщо відома їх критична температура.

І.А.Гольцберг [55] також розробила показники ймовірності виникнення 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. Тому ймовірність пошкодження заморозками сходів тут незначна. 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, табл. 5.21.

Таблиця 5.21 – Ймовірність настання заморозків в залежності від середньої за декаду мінімальної температури повітря в помірній зоні, % (за І.А. Гольцберг)

Сезон	Весна	Осінь	Весна	Осінь	Весна	Осінь
середня за декаду мінімальна 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	
-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

В цих районах ймовірність пошкодження заморозками зростає. Метод І.А.Гольцберг дозволяє визначити ймовірність припинення заморозків різної інтенсивності на будь-яку дату і на основі одержаних результатів визначити ймовірність пошкодження заморозками сходів будь-якої культури у будь-якому районі. Для таких розрахунків необхідно знати

середню багаторічну дату припинення заморозків в даному районі і вигляд кривої ймовірності, який визначається значеннями середньоквадратичного відхилення строків припинення заморозків ( $\sigma$ ). І.А.Гольцберг розрахувала значення  $\sigma$  для усіх районів СНД і побудувала відповідні карти.

Розрахунки ймовірності припинення заморозків заданої інтенсивності на визначену фазу і ймовірність пошкодження культури весняними заморозками ведуться у такій послідовності:

- за співвідношенням термінів припинення приморозків при  $0^{\circ}\text{C}$  і іншої інтенсивності (табл. 5.22) визначається середня дата припинення заморозків у даному районі;
- розраховується відхилення визначеної дати від середньої багаторічної ( $\Delta$ );
- визначається статистичний коефіцієнт шляхом поділу розрахованого відхилення  $\Delta$  на  $\sigma$  ( $k = \Delta / \sigma$ ), а шляхом інтерполяції – відповідний йому відсоток ймовірності (табл. 5.23);
- на підставі одержаних результатів визначається можливість припинення заморозків на завдану дату і ймовірність пошкодження рослин.

Таблиця 5.22 – Співвідношення в датах припинення заморозків при  $0^{\circ}\text{C}$  і заморозків різної інтенсивності

Середня дата припинення заморозків при $0^{\circ}\text{C}$		Середня дата припинення заморозків нижче вказаної інтенсивності			
в повітрі	на поверхні ґрунту	$-1.0^{\circ}\text{C}$	$-2.0^{\circ}\text{C}$	$-3.0^{\circ}\text{C}$	$-4.0^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	5	6
1.VI	18.IV	28.V	24.V	20.V	15.V
21.V	7.IV	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.IV	5.V	15.IV	10.IV	4.IV	29.III
11.IV	21.IV	6.IV	1.IV	27.III	22.III

*Примітка:* за даними цієї таблиці можна побудувати графік для більш зручного використання.

*Методи захисту сільськогосподарських культур від заморозків.* Для захисту сільськогосподарських культур від дії заморозків застосовуються різні методи. Це комплекс локальних, агротехнічних, технологічних, технічних заходів, які проводяться серед сільськогосподарських культур з

метою зменшення втрат тепла рослинами за рахунок власного випромінювання та штучного підвищення температури нижнього шару приземного повітря.

Для ефективної боротьби з заморозками необхідно завчасно знати час їх настання та інтенсивність.

Таблиця 5.23 – Співвідношення ймовірності (%), коефіцієнтів ( $k$ ) і значень  $\sigma$

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	$\Delta = k \cdot \sigma$										

До найбільш поширених методів відноситься метод створення димових завіс та відкритий обігрів за допомогою горілок або спеціальних технічних установок. Димові завіси утворюються за допомогою димоутворювальних речовин. Утворення димових завіс – це агротехнічний засіб боротьби із заморозками.

Для захисту рослин від заморозків широко застосовуються також методи поливів і дощування посівів. Підвищення температури досягається за рахунок температури води та виділення теплоти конденсації водяної пари в результаті підвищення вологості повітря над зрошуваним полем.

До агротехнічних заходів боротьби із заморозками відноситься також зміна термінів сівби на більш пізні строки, укриття рослин різними матеріалами, розташування посівів на найменш морозобійних площах. Для підвищення температури приземного шару повітря можуть також застосовуватись польоти гвинтокрилів на малих висотах. Але цей засіб досить небезпечний і надто коштовний.

Рослини реагують не тільки на заморозки, а і на *зниження температур до значень, наближених до біологічного мінімуму*. Знижені температури сприяють пошкодженню рослин, яке визначається рівнем температури, холодовою експозицією, видом рослин і попередніми умовами розвитку. До пошкодження рослин зниженими температурами відносяться:

- в'янення листя і пагонів, зміна кольору листя і плодів;
- прискорене старіння і розриви охолоджених тканин;

- уповільнене, неповне або нерівномірне дозрівання плодів, що супроводжується погіршенням структури і смакових якостей, збільшенням загнивання;

- підсихання країв і кінчиків листових платівок, опадання листя, некроз листя та відмирання рослин.

Знижені температури зменшують інтенсивність фотосинтезу, що пов'язується зі зменшенням активності і пригніченням синтезу ключових ферментів. Розміри пошкоджень зниженими температурами залежать від холодостійкості рослин.

*Холодостійкість рослин.* Різні рослини неоднакові щодо стійкості до знижених температур. Зниження температури повітря до біологічного мінімуму або до 0 °С (без утворення льоду) сприяє затримці росту, зменшенню продуктивності, пошкодженню та загибелі рослин. Деякі рослини пошкоджуються вже при 10 °С (це теплолюбні культури: рис, бавовна, овочеві на початку розвитку), деякі при температурах від 0 до 7 °С. У інших рослин пошкодження не спостерігаються і продуктивність не зменшується. Це – холодостійкі рослини. *Холодостійкість* рослин – це здатність рослин, які знаходяться у стані вегетації, витримувати охолодження до температури близько 0 °С [38, 46].

За негативного впливу знижених температур на рослини пошкодження проявляється на більш старому нижньому листі та на більш старих листових платівках і вже потім розповсюджується на всю рослину. Форми прояву пошкоджень у різних рослин залежать від видових особливостей та стану рослин. В табл. 5.24 наводяться відомості про пошкодження рослин за даними П.А. Генкеля і С.В. Кушніренка [63].

За даними С.М. Іванова ярі культури по відношенню до знижених температур поділяються на дві групи: холодостійкі і нестійкі. До холодостійких відносяться: ярі зернові культури, горох, нут, гірчиця, соняшник, буряки, капуста і ін.

Ці рослини мають здатність витримувати тривалу дію позитивних низьких температур. До групи нестійких рослин (теплолюбних) відносяться: всі овочеві, окрім капусти, квасоля, кукурудза, сорго, просо, гречка, бавовна й ін. Серед цих культур також можна виділити менш стійкі до охолодження (огірки, бавовна, рис, томати, солодкий перець, баклажани) і більш стійкі (сорго, просо, кунжут, гречка).

Дослідженнями встановлено, що у теплолюбних рослин при знижених температурах уповільнюється або припиняється надходження води в клітини.

На зменшення швидкості надходження води впливають *фізичні і фізіологічні фактори*. До *фізичних* факторів відносяться:

1) зменшення швидкості руху води із ґрунту до коріння через зменшення сил, які віддають воду, 2) збільшення в'язкості води, що уповільнює пересування води із ґрунту до коріння.

Таблиця 5.24 – Залежність холодостійкості однолітніх культурних рослин від їх походження

Культура	Характер пошкодження і температура	Походження рослин
<b>Теплолюбні</b>		
Огірки	Сходи, квіти, пагони гинуть при температурі 1 -2°C. За температури 7°C впродовж 7 днів рослини гинуть повністю	Вологі тропіки Східної Індії
Баклажани	При температурі 3-7°C через декілька днів рослини повністю гинуть	Тропіки Східної Індії
Перець (солодкий і гіркий)	Те ж	Іспанія
Томат	При температурі 1°C пошкоджуються квіти.	Тропіки Америки
Рис	У фазу куціння похолодання нижче 15 °C спричиняє припинення розвитку, при 0 °C – рис повністю гине.	Тропіки Південно-Східної Азії
Бавовна	При 0,5 °C пошкоджуються квіти, при 3- 10 °C - повністю гине.	Перу, Південна Америка
Гречка	При температурі 4 °C впродовж 18 днів рослини повністю гинуть	Високогірний Памір
Квасоля	При температурі 3-4 °C через декілька днів затримується ріст, а потім рослини повністю гинуть	Високогірний Памір
<b>Холодостійкі</b>		
Картопля	При температурі 7 °C із вічок материнської бульби замість пагонів утворюються маленькі бульби	Південна Америка
Пшениця	При температурі 5 °C колосіння не відбувається, при 8 - 10°C припиняється цвітіння.	Закавказзя
Ячмінь	При температурі 5 °C і нижче виходу у трубку не відбувається	Високогір'я
Тютюн	При температурі 0, 5 °C пошкоджуються квітки	-

До фізіологічних факторів відносяться:

1) збільшення в'язкості протоплазми при знижених температурах, що спричиняє уповільнення руху води крізь масу клітин; 2) зменшення проникливості протоплазми клітин, підвищення опору рухові води через коріння; 3) уповільнення росту коріння в довжину.

Охолодження теплолюбних рослин до 10 °С значно зменшує швидкість поглинання води. Були визначені температурні коефіцієнти ( $K_m$ ) швидкості поглинання води різними рослинами..

Встановлено, що збільшення тривалості дії низьких температур ще більше зменшує швидкість поглинання води [1, 63].

При підвищенні температури в середовищі перебування рослин швидкість поглинання не збільшується через пошкодження рослин патогенними мікроорганізмами.

Знижені температури (2...5 °С) сприяють не тільки швидкому обезводжуванню рослин, а і пошкодженню коріння.

Пошкодження рослин від дії знижених температур буде зменшуватись, якщо рослини завчасно загартувати. Загартування проводиться шляхом витримки проростків при температурі 10 °С.

Знижені температури несприятливо впливають на водний режим більшості теплолюбних рослин. Цей вплив проявляється в уповільненні поглинання води корінням і порушенні водного дефіциту в надземних органах. У холодостійких рослин ці явища проявляються менш помітно і носять тимчасовий характер. Після підвищення температури у холодостійких рослин процеси поглинання води і водний баланс відновлюються.

Дія знижених температур неоднакова на коріння і надземну частину рослин. Коріння більш чутливе до зниження температур у шарі його розповсюдження. В холодному ґрунті (8 – 10 °С) і нижче ріст рослин уповільнюється, затримується засвоєння азоту і фосфору та утруднюється їх пересування із коріння в надземні органи, через це зменшується продуктивність рослин.

Під дією знижених температур ускладнюється поглинання питомих речовин та їх засвоєння. В залежності від рівня температури змінюється послідовність елементів мінерального живлення за ступенем їх поглинання. При зниженні температури до 6 °С і нижче послідовність поглинання стає такою –  $N(NO_3) > P > K > Ca > S$ . Поглинання корінням поживних речовин і пересування їх в надземні органи рослин залежать від температури коріння. Знижені температури сприяють різкому порушенню розподілу поживних речовин між органами рослини – відносно збільшення питомих речовин у корінні і зменшення їх в надземних органах.

## Контрольні запитання

1. Що називається заморозком?
2. Класифікація заморозків за причинами виникнення.
3. Класифікація рослин по відношенню до заморозків.
4. Як оцінюються заморозки І.А. Гольцберг?
5. Як визначається імовірність настання заморозків?
6. Як розраховується імовірність припинення заморозків на будь-яку дату?
7. Заходи боротьби із заморозками.
8. Як впливає хмарність на виникнення заморозків?
9. Як впливають заморозки на мінеральне живлення рослин?
10. Які спостереження використовуються для розрахунку імовірності заморозку методом Михалевського?
11. В чому полягає розрахунок імовірності заморозку за П.І. Броуновим?
12. Як формується холодостійкість рослин?
- 13.. Як впливають знижені температури на фотосинтез та дихання рослин?
- 14.. В які періоди розвитку рослин вони найбільш вразливі до зниження температур?
15. Як впливають знижені температури на розвиток і продуктивність рослин?
16. Як впливають знижені температури на поглинання води рослинами?
17. Як впливають знижені температури на живлення рослин?
18. Як впливають знижені температури на продуктивність рослин?
- 19.. В які періоди знижені температури впливають на процеси розвитку пшениці?

### 5.2.7 Несприятливі умови зимового періоду

**Вимерзання рослин.** Озимі культури (пшениця, жито, ячмінь) – однолітні рослини, зростання яких відбувається впродовж двох циклів, розмежованих між собою досить тривалим відрізком часу (від 3 до 7 місяців) примусового спокою, який зумовлюється несприятливими умовами зимівлі. Перший цикл зростання озимих культур починається восени і продовжується до припинення вегетації. Другий цикл зростання починається навесні з відновлення вегетації рослин і закінчується збиранням урожаю.

Здатність озимих культур зберігатись у вегетативному стані восени і не розвивати вегетативних органів є адаптивною ознакою, яка сприяє їх перезимівлі [64,65]. Зменшення інтенсивності зростання наприкінці вегетації призводить до зміни напрямку та інтенсивності процесу обміну



речовин, а також накопиченню інгібіторів зростання, які сприяють переходу рослин в стан зимового покою.

З усіх озимих зернових культур найбільш стійким до несприятливих умов зимівлі є жито. Це пояснюється менш вимогливим ставленням цієї культури до зовнішніх умов вирощування, більшою інтенсивністю куцистості та ін. Критична температура вимерзання різних сортів озимого жита в залежності від умов осінньої вегетації коливається у межах від  $-18$  до  $-24^{\circ}\text{C}$ . Тому воно має більш широке розповсюдження у районах з суворою зимою.

Головна та дуже цінна культура – озима пшениця. Вона більш вимоглива до умов вирощування, критична температура вимерзання у неї нижча, ніж у озимого жита і коливається від  $-17^{\circ}$  до  $-22^{\circ}\text{C}$ . Посіви озимої пшениці займають перше місце за площами серед зернових культур.

Озимий ячмінь – найбільш скоростигла та вимоглива до тепла і вологи культура. Але зимостійкість його значно нижча, ніж у жита та озимої пшениці. Критична температура вимерзання більшості сортів ячменю становить  $-13\dots -16^{\circ}\text{C}$ . Вирощується озимий ячмінь в районах, де умови зимівлі значно м'якші. Площі посівів озимого ячменю набагато менші ніж озимої пшениці та жита [64].

Восени озимі культури формують коріння, пагони і листя. Головними факторами агрометеорологічних умов розвитку озимих культур восени є температура повітря та вологість ґрунту [43].

Восени у підземній частині стебла формується вузол куціння – найважливіший та єдиний орган, здатний регенерувати нові органи рослини. В ньому накопичуються поживні речовини, головним чином вуглеводи, які визначають стійкість рослин до несприятливих умов зими. Вузол куціння розташовується біля поверхні ґрунту (на глибині 3 – 5 см). Загибель вузла куціння означає загибель всієї рослини. Тому взимку при визначенні стану озимих культур перш за все визначається стан вузла куціння.

Глибина залягання вузла куціння залежить від заглиблення насіння, щільності верхнього шару ґрунту, розміру посівного насіння та агрометеорологічних умов осіннього періоду.

В осінній період у озимих культур відбуваються складні фізіологічні процеси, які забезпечують підготовку рослин до зимівлі. Стан озимих посівів після припинення вегетації восени має дуже велике значення для перезимівлі. Найменш зимостійкими бувають озимі культури у фазі другого та третього листка. Перерослі рослини восени мають висоту близько 25 см і більше шести бокових пагонів. Зимостійкість таких рослин різко зменшується в порівнянні з рослинами, які мають 3 – 6 пагонів. За

даними багатьох дослідників найбільша зимостійкість буває, коли у рослин до припинення вегетації утворюється від 3 до 6 пагонів.

Зимостійкість рослин залежить від строків сівби, зволоження ґрунту, біологічних особливостей сортів озимих культур та агрометеорологічних умов впродовж осіннього періоду вегетації, наприкінці якого проходить процес загартування рослин. За даними І.І. Туманова, процес загартування проходить впродовж двох фаз. Перша фаза протікає в умовах доброго освітлення і при поступовому зменшенні температури повітря до 0... – 6 °С. Тривалість першої фази становить 12 – 14 днів. При добрих умовах проходження першої фази загартування озимі витримують зниження температури ґрунту на глибині вузла куштиння до – 12 °С.

Друга фаза загартування відбувається наприкінці осені – початку зими при середній за добу температурі повітря -2... -5 °С. Вона може відбуватись уже під снігом. Тривалість другої фази становить 3 – 5 днів, інколи – 8 – 12. Після проходження другої фази загартування рослини накопичують найбільшу кількість цукру і здатні витримувати температури до –18... – 22 °С.

В залежності від морозостійкості висіяних сортів, агрометеорологічних умов осені, рельєфу полів зрідженість посівів взимку носить досить різноманітний характер. Вона може бути невеликою та рівномірно розповсюджуватись по полю. Це буде дифузійна зрідженість. Найчастіше вона спричиняється короткочасними сильними морозами при відсутності снігу або незначній його висоті у першу половину зими.

За більш суворих умов зимівлі (тривалих сильних морозів, тривалого залягання товстого шару снігу, наявності льодяної кірки, застою талих вод та ін.) зрідженість посівів носить плямистий характер. Загальна площа пошкоджень у таких випадках залежить від інтенсивності й тривалості несприятливих умов. Такий вид зрідженості посівів озимих культур зустрічається найчастіше.

Третій тип зрідженості посівів спостерігається в роки з поганими умовами для перезимівлі рослин, коли майже всі рослини на полі гинуть. За великої зрідженості озимих проводиться підсів або повний пересів озимих культур ярими.

Основними причинами пошкодження рослин взимку є: вимерзання, випрівання, вимокання, випирання та видування рослин. Крім того, наявність притертої льодяної кірки поглиблює дію всіх вищеназваних факторів. Загибель рослин взимку найчастіше відбувається під дією не одного, а декількох факторів. Так, в посушливих умовах поганий стан озимини навесні пояснюється не тільки умовами перезимівлі, а і великою зрідженістю посівів внаслідок слабого розвитку восени через нестачу

вологи в ґрунті. В таких випадках дія зимових умов сприяє ще більшій зрідженості посівів.

Перезимівля озимих зернових культур визначається біологічними особливостями озимого жита, озимої пшениці та озимого ячменю – їх зимостійкістю і морозостійкістю, а також агрометеорологічними умовами осіннього, зимового та весняного періодів, станом озимих перед припиненням вегетації, який відображає рівень агротехніки (строки сівби, якість обробки ґрунту, вплив попередників та ін.).

*Зимостійкість* рослин – це загальна стійкість їх до несприятливих умов зими. Вона визначається біологічними особливостями рослин, станом посівів перед припиненням вегетації, мірою загартування рослин та умовами перезимівлі. Зимостійкість рослин поступово зростає від осені до середини зими, в другій половині зими вона починає зменшуватись. Особливо різко вона зменшується взимку при наявності великої кількості відлиг.

*Морозостійкість* рослин – це стійкість рослин до морозів. Вона характеризується критичною температурою вимерзання рослин.

*Критична температура* вимерзання рослин – це температура, за якої загибель від вимерзання становить більше 50 % рослин. За даними В.М. Лічкакі [65], значення критичної температури вимерзання тісно пов'язане із середньою за пройдений період зимівлі мінімальною температурою ґрунту на глибині залягання вузла кущіння.

Стан озимих посівів восени після припинення вегетації дуже впливає на перезимівлю озимих культур. Мало розвинені рослини так, як і перерослі, значно більше пошкоджуються при несприятливих умовах зимівлі. Критична температура їх вимерзання майже завжди на 1 – 3° С вища ніж у добре розвинених рослин. Погано розвинені рослини з куцистістю 1 – 2 пагони мають мало поживних речовин і тому скоріше пошкоджуються внаслідок вимокання та випрівання, а також від льодяної кірки. У перерослих рослин (з куцистістю більше 6 пагонів у пшениці та 4 пагонів у жита) зимостійкість зменшується внаслідок значного росту і переходу рослин до третього етапу органогенезу, а також у зв'язку з інтенсивним збільшенням конусу наростання в осінній період, що спричиняє затримку проходження першої стадії загартування рослин. Встановлено [64, 65], що найбільшу зимостійкість мають рослини, які сформували на час припинення вегетації до трьох, шести пагонів (у деяких сортів озимої пшениці до 2 – 3 пагонів).

Головними агрометеорологічними факторами, які визначають перезимівлю озимих культур, є: висота снігу, мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кущіння в різні періоди зими, сума від'ємних температур повітря, глибина промерзання ґрунту, тривалість періоду з висотою снігу більшою за 30 см, сума опадів за осінній та зимовий періоди

та ін. Дослідженнями впливу цих факторів на перезимівлю озимини займались Ф.М. Куперман [27], В.М. Лічкакі [65], В.О. Мойсейчик [64], І.М. Петунін, О.М. Шульгін, О.О. Окушко [1] й інші.

Агromетeоролoгiчнi умoви як хoлoднoгo, так i тeплoгo пeрiодiв рoкy знaчнo впливaють нa стaн oзимих кyльтyр. Цi умoви знaчнo змiнюютьсa як y чaсi, так i y прoстoрi. В зaлeжнoстi вiд хaрaктерy прoцeсiв фoрмyвaння oднi й тi ж мeтeорoлoгiчнi вeличини мoжyть бyти нeбeзпeчними i, нaвпaки, спрiятливими для рoслин, щo зимyють.

Вивчeння зaкoнoмiрнoстeй прoстoрoвoї i чaсoвoї мiнливoстi oснoвних aгromетeоролoгiчних вeличин, щo зyмoвлyють пeрeзимiвлю oзимих кyльтyр, тa iнeрцiйнoстi рeaкцiї рoслин нa iх дiю дoзвoлили встaнoвити прoгнoстичнi зaлeжнoстi i рoзрoбити мeтoди дoвгoстрoкoвих прoгнoзiв пeрeзимiвлi oзимих кyльтyр.

*Агromетeоролoгiчними умoвaми пeрeзимiвлi oзимих кyльтyр нaзивaєтьсa кoмплeкс мeтeоролoгiчних вeличин, якi бeзпoсeрeдньo aбo пoбiчнo впливaють нa рoслини взимкy i визнaчaють iх зимoстiйкiсть тa стaн нa пoчaтoк вeснoї вeгeтaцiї.*

*Тeмпeрaтyрa пoвiтрa.* Тeмпeрaтyрa пoвiтрa визнaчae нe тiлькi умoви, aлe i тривaлiсть пeрiодy зимiвлi рoслин, який пoчинaєтьсa з дaти стiйкoгo пeрeхoдy тeмпeрaтyри пoвiтрa чeрeз 0 °С вoсeни i зaкiнчyєтьсa пeрeхoдoм її чeрeз цe ж знaчeння нaвeснi. Тeмпeрaтyрa пoвiтрa взимкy oсoбливo нeгaтивнo впливae нa пeрeзимiвлю oзимих кyльтyр зa вiдсyтнoстi снiгy. Oсoбливo нeспрiятливi для oзимих кyльтyр рiзкi кoливaння мiнiмaльнoї тeмпeрaтyри пoвiтрa в рaйoнax з вeликим прoмeрзaнням грyнтy тa мaлoю висoтoю снiгoвoгo пoкривy.

*Снiгoвий пoкрив.* Вeликe знaчeння для зимiвлi рoслин мaють стрoки встaнoвлeння i схoдy снiгy, прoстoрoвa й чaсoвa мiнливiсть йoгo висoти тa щiльнoстi. Пiзнe встaнoвлeння снiгy нa пoлях в рaйoнax з стiйкoю зимoю i сильними мoрoзaми збiльшyє ймoвiрнiсть вимeрзaння рoслин. Висoтa снiгy нa пoлях пoстyпoвo збiльшyєтьсa впрoдoвж зими. Нaйбiльшa вoнa бyвae y пiвнiчних хлiбoрoбських рaйoнax нaприкiнцi бeрeзня, нa пiвднi – y лyтoмy. При рiвнoмiрнoмy зaлягaннi снiг дoбрe зaxищae рoслини вiд сильних мoрoзiв. Пiсля встaнoвлeння нa пoлях снiгy тeмпeрaтyрa грyнтy нa глибинi вyзлa кyщiння знaчнo пiдвищyєтьсa. Aлe дyжe глiбoкий снiг i тривaлe йoгo зaлягaння нa пoлях з oзимими тaкoж нeспрiятливo впливae нa рoслини.

Снiг нa пoлях зaлягae дyжe нeрiвнoмiрнo. Пiд впливoм вiтру нa вiдкритих пoлях вiдбyвaeтьсa знaчнe пeрeнeсeння снiгy з oдних дiлянок пoля нa iншi. Дoслiджeннями прoстoрoвoї мiнливoстi снiгy нa пoлях зaймaлись І.М. Пeтунiн, О.О. Окушкo, О.М. Шульгiн, В.О. Мoйсeйчик тa iн. Ними встaнoвлeнo, щo нeрiвнoмiрнiсть рoзпoвсyджeння снiгy тим бiльшa, чим мeншa сeрeднa йoгo висoтa. Встaнoвлeнo, щo висoтa снiгy 10 см дoстaтня для збeрeжeння oзимих при сильних мoрoзax i вoнa бyвae

на всьому полі за середньої висоти снігу 30 см. Тривалість періоду зі снігом також має велику мінливість по території. Тривале залягання товстого шару снігу на полях спричиняє пошкодження рослин внаслідок випрівання. За значної товщини снігу і тривалого його перебування на полях стан озимини залежить від швидкості танення снігу.

*Глибина промерзання ґрунту.* Строки встановлення снігу на полях та його товщина значно впливають на глибину промерзання ґрунту, яка також має значну просторову і часову мінливість, але все ж таки меншу, ніж товщина снігу. На глибину промерзання ґрунту впливають механічний склад ґрунту, його вологість, рельєф, агротехніка, рослинний покрив тощо.

Дослідження Л.О. Разумової показали, що головними факторами, які зумовлюють глибину промерзання ґрунту, є вологість ґрунту, температура повітря, товщина снігу та рівень ґрунтових вод.

*Температура ґрунту на глибині залягання вузла кущіння.* Температура ґрунту на глибині вузла кущіння є комплексним показником агрометеорологічних умов перезимівлі озимих культур. На її значення впливають тепломісткість і теплопровідність ґрунту, температура повітря, товщина снігу, вологість ґрунту, глибина промерзання ґрунту.

Вплив температури повітря при відсутності снігу на температуру ґрунту на глибині вузла кущіння носить лінійний характер.

Вплив товщини снігу на температуру ґрунту носить нелінійний характер. Значення кожного сантиметра снігу для температури ґрунту змінюється із збільшенням його товщини [60].

Просторова мінливість мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кущіння визначається, головним чином, розподілом снігу на полях.

Велика просторова і часова мінливість мінімальної температури ґрунту не дозволяє обмежуватись лише фактичними спостереженнями через малу кількість повторностей. Тому для використання цієї величини в прогнозах та оцінках було розроблено декілька методів розрахунку температури ґрунту на глибині 3 см. О.О Шиголевим встановлена залежність мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кущіння від мінімальної температури повітря ( $T$ ) при різній висоті снігу і та різній глибині промерзання ґрунту ( $H$ ) (рис. 5.10).

В. О. Мойсейчик розробила статистичні залежності мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см від температури повітря, глибини промерзання та різної висоти снігу. Рівняння зв'язку – у табл. 5.25, (рис. 5.11.).

За значеннями коефіцієнтів кореляції та кореляційних відношень встановлено, що зв'язок температури ґрунту на глибині вузла кущіння з температурою повітря та глибиною промерзання ґрунту прямолінійний, а з товщиною снігу нелінійний і має вигляд параболи другого порядку.

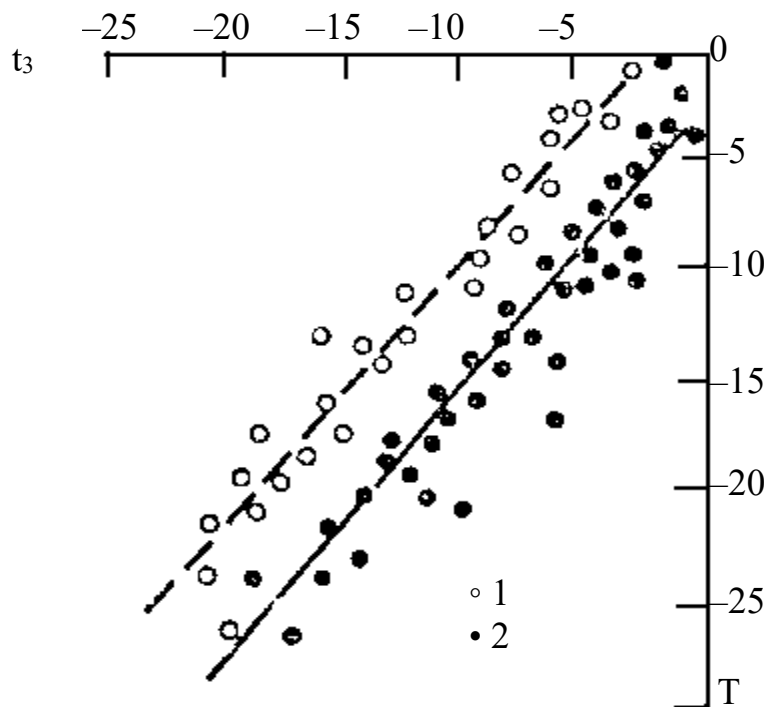


Рис. 5.10 – Значення мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см в залежності від мінімальної температури повітря при відсутності снігу, 1 – при підвищенні температури повітря, 2 – при зниженні (за О.О. Шиголєвим).

Таблиця 5.25– Рівняння зв'язку мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см з мінімальною температурою повітря та глибиною промерзання ґрунту

Висота снігу, см	Рівняння
5	$t_3 = 0,64T - 0,07H + 5,2$
10	$t_3 = 0,25T - 0,06H + 3,1$
15	$t_3 = 0,17T - 0,06H + 1,9$
20	$t_3 = 0,12T - 0,05H + 1,56$

Аналitично ці залежності описуються багатofакторними рівняннями: для зони з чорноземними ґрунтами:

$$t = 0,618T - 0,082H + 0,658h^2 - 0,008h + 0,0007P - 0,366; \quad (5.18)$$

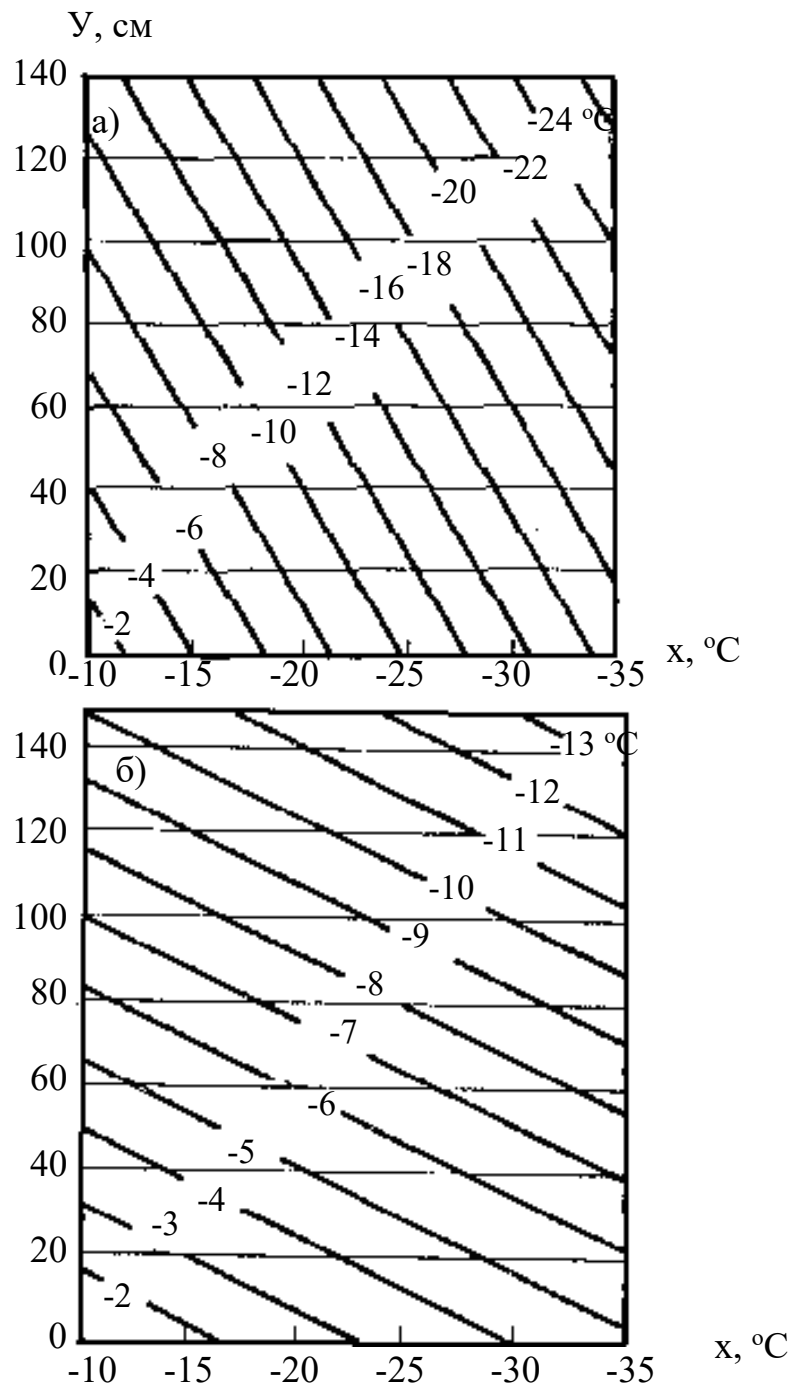


Рис. 5.11 – Залежність мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кушіння озимих культур від мінімальної температури повітря ( $x$ ) та глибини промерзання ґрунту ( $y$ ).

для зони нечорноземних земель з добре зволуженим суглинковим ґрунтом:

$$t = 0,274T - 0,052H + 0,444h^2 - 0,009h + 0,004P - 5,960; \quad (5.19)$$

для нечорноземної зони з добре зволуженим супіщаним ґрунтом:

$$t = 0,372T - 0,057H + 0,425h^2 - 0,003h + 0,005P - 2,328; \quad (5.20)$$

для західних районів нечорноземної зони з суглинковим добре зволуженим ґрунтом:

$$t = 0,205T - 0,074H + 0,171h^2 - 0,003h + 0,0004P - 0,965. \quad (5.21)$$

За цими рівняннями розраховується мінімальна температура ґрунту на глибині 3 см, якщо:  $T = -10 - 40^\circ \text{C}$ ,  $H = 20 - 150 \text{ см}$ ,  $h = 0 - 40 \text{ см}$ ,  $P = 100 - 2000$  пагонів на один метр.

За рівняннями (5.18 – 5.20)) визначається також товщина снігу, за якої мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кушіння буде близькою до критичної температури вимерзання рослин. Ці рівняння широко використовуються у практиці оперативного обслуговування сільського господарства як для оцінки умов перезимівлі, так і для складання прогнозів площ із загиблими посівами.

Перезимівля озимої пшениці значною мірою залежить від попередників [64, 65]. Дослідження І.В. Свісюка щодо виявлення закономірностей зрідженості посівів озимої пшениці, посіяної по парових і непарових попередниках, показали, що є тісний зв'язок між зрідженістю посівів і мінімальною температурою ґрунту на глибині 3 см при сівбі по парових і непарових попередниках. При сівбі по різних попередниках морозостійкість озимини змінюється.

Стійкість озимих культур значною мірою залежить від критичної температури вимерзання сортів.

*Критична температура* вимерзання – це така температура, при якій загибель рослин становить 50 % і більше. Найчастіше значення критичної температури вимерзання визначають за допомогою проморожування зразків у холодильних камерах. Але існує ціла низка методів розрахунку критичної температури [65] вимерзання озимих культур.

Дослідження І.В. Свісюка показали, що найбільше впливає на загартування рослин восени температура повітря і ґрунту. В листопаді та на початку грудня, у період першої фази загартування, особливо велике значення мають перепади між денною та нічною температурами та мінімальна температура повітря в нічну пору. Наприкінці листопада і в



грудні, у період другої фази загартування, важливого значення набуває хід зниження негативної середньої за добу температури. Були встановлені статистичні залежності між переліченими факторами і критичною температурою вимерзання [66]:

Були встановлені статистичні залежності між переліченими факторами і критичною температурою вимерзання:

$$U = 0,125t - 0,00099\Sigma T - 15,5 \quad , \quad (5.22)$$

де  $U$  – критична температура вимерзання озимих більш морозостійких сортів, які мають з осені кущистість 2 – 3 пагони, °С;

$t$  – середня з мінімальних температур повітря за листопад, °С;

$\Sigma T$  – сума температур повітря нижча за 0° С за листопад – грудень, °С. За цим рівнянням розрахована табл. 5.26.

Для сортів з меншою морозостійкістю (Безоста 1, Аврора, Кавказ та ін.) при розрахунках по таблиці вводиться поправка. Вона в середньому становить 2° С. Така ж поправка вводиться для усіх сортів, якщо вони закінчили вегетацію у стані сходи – третій лист.

Таблиця 5.26 – Критична температура вимерзання розкущеної озимої пшениці морозостійких сортів в залежності від мінімальної температури повітря за листопад і суми температур за листопад – грудень (за І.В. Свісюком)

Середня мінімальна температура за листопад	ΣT нижчих від 0° С за листопад – грудень								
	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-210	-240	-270
8	-14,8	-15,1	-15,4	-15,7	-16,0	-16,3	-16,6	-16,9	-17,2
6	-15,0	-15,3	-15,6	-15,9	-16,1	-16,5	-16,7	-17,1	-17,4
4	-15,3	-15,6	-15,9	-16,1	-16,4	-16,7	-17,1	-17,4	-17,7
2	-15,6	-15,9	-16,1	-16,4	-16,7	-17,1	-17,4	-17,6	-17,9
0	-15,8	-16,1	-16,4	-16,7	-17,0	-17,3	-17,6	-17,9	-18,2
-2	-16,1	-16,4	-16,7	-16,9	-17,2	-17,5	-17,8	-18,1	-18,4
-4	-16,3	-16,6	-16,9	-17,1	-17,4	-17,8	-18,1	-18,4	-18,7
-6	-16,5	-16,8	-17,1	-17,4	-17,7	-18,0	-18,3	-18,6	-18,9
-8	-16,8	-17,1	-17,4	-17,8	-18,0	-18,3	-18,6	-18,8	-19,2

*Визначення критичної температури за методом В.М. Лічикакі.* В.М. Лічикакі встановив залежність критичної температури вимерзання озимих культур від сум середніх за добу температур повітря і сум мінімальних температур ґрунту на глибині залягання вузла кущіння. Для використання цієї залежності в оперативній роботі була розрахована табл. 5.27.

Таблиця 5.27– Залежність критичної температури вимерзання від сум середньої за добу температури повітря та суми мінімальної температури на глибині вузла кущіння для сортів озимої пшениці середньої морозостійкості (за В.М. Лічикакі)

Сума середніх температур повітря або ґрунту на глибині вузла кущіння від дати переходу температури повітря через 0° С до зниження її до -10° С	Розрахована критична температура вимерзання ,°С	
	за сумами температур повітря	за сумами температур ґрунту на глибині вузла кущіння
0	-11,0	-13,5
-5	-12,5	-14,5
-10	-13,5	-15,0
-15	-14,5	-16,0
-20	-15,0	-16,5
-25	-15,5	-17,0
-30	-16,0	-17,0
-35	-16,5	-17,5
0	-17,0	-17,5
-45	-17,5	-18,0
-50	-18,0	-18,0
-55	-18,0	-18,0
-60	-18,5	-18,5
-65	-18,5	-18,5
-70 и нижче	-19,0	-19,0

За табл. 5.27 розраховується критична температура вимерзання в першу половину зими, тобто після дати стійкого переходу температури повітря через -10 °С. Закінчення періоду проходження другої фази загартування рослин приблизно співпадає з цією датою.

Результати перевірки цієї методики на великому матеріалі спостережень показали, що визначена критична температура вимерзання забезпечується точністю  $\pm 1^\circ \text{C}$ .

Для того, щоб була можливість розраховувати значення критичної температури не тільки для першої половини зими, а і для всієї зими, В.М. Лічкакі встановив статистичні залежності критичної температури вимерзання ( $T_{кр}$ ) від середньої із мінімальних температур ґрунту ( $t_3$ ) на глибині вузла кущіння за період від переходу її через  $0^\circ\text{C}$  восени до дати визначення критичної температури вимерзання (рис. 5.12., а, б).

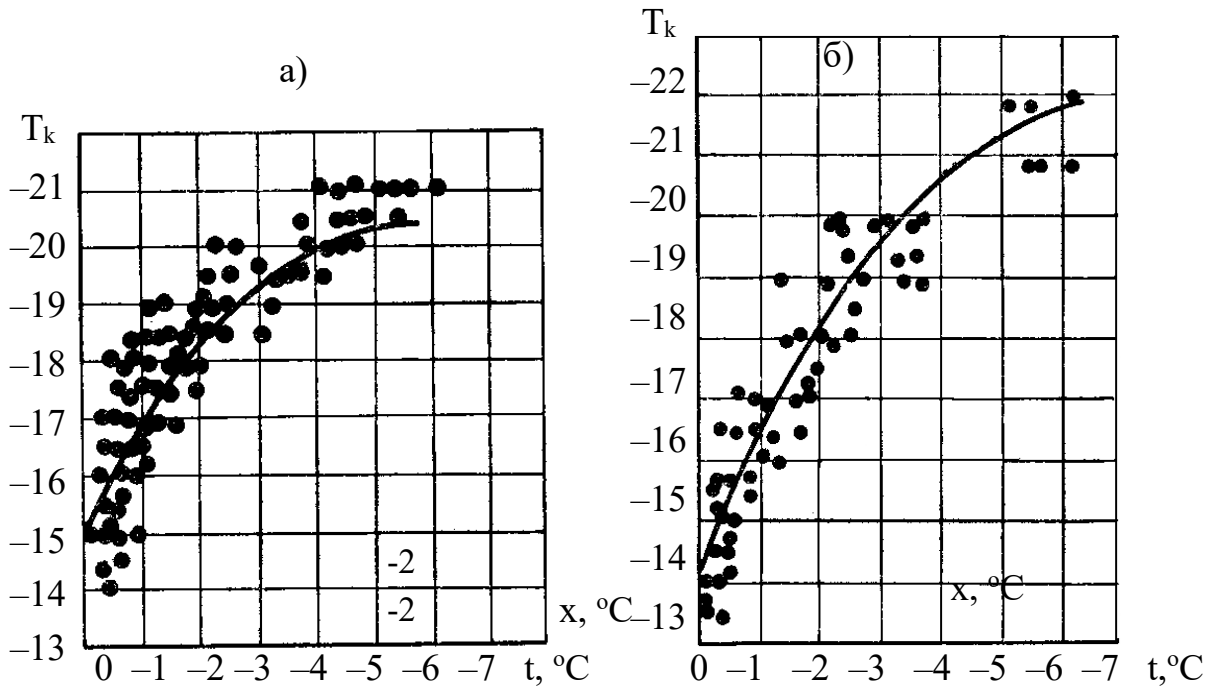


Рис. 5.12 – Залежність критичної температури вимерзання озимої пшениці сортів середньої (а) та високої (б) морозостійкості від середньої з мінімальних температур ґрунту на глибині вузла кущіння.  
а – сорти Білоцерківська 198, Миронівська 808;  
б – сорти Одеська 3, Одеська 16.

Залежності описані рівняннями:  
для сортів середньої морозостійкості

$$T_{кр} = -14,056 + 1,916t_3^2 + 0,172t_3, \quad (5.23)$$

для сортів високої морозостійкості

$$T_{кр} = -13,929 + 2,454t_3^2 + 0,191t_3 \quad ; \quad (5.24)$$

для сортів слабкої морозостійкості

$$T_{кр} = -13,8 + 0,164t_3^2 - 1,00t_3 - 0,344t^2 - 0,0289t. \quad (5.25)$$

Озиме жито

$$T_{кр} = -0,14t_3^2 + 2,65t_3 - 14. \quad (5.26)$$

Озимий ячмінь

$$T_{кр} = -0,488t_3^2 + 3,263t_3 - 9,25. \quad (5.27)$$

В.І. Свісюком встановлено, що для південних районів України та Північного Кавказу краще використовувати рівняння (5.24) для визначення критичної температури. Для територій більш північних районів, де середня з мінімальних температур ґрунту на глибині 3 см буває нижча за  $-4\text{ }^\circ\text{C}$ , критичну температуру зручніше розраховувати за рівнянням (5.24), але при цьому треба додати до розрахованого значення критичної температури  $2\text{ }^\circ\text{C}$ .

Аналіз матеріалів багаторічних спостережень показав, що за відлиг тривалістю більше 5 днів з позитивними середніми за добу температурами, при відсутності снігу, для відновлення вегетації озимих необхідна сума температур близько  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . Сума позитивних температур в  $5\text{ }^\circ\text{C}$  незалежно від наявності снігу зменшує морозостійкість озимої пшениці у першій половині зими на  $1 - 1,5\text{ }^\circ\text{C}$ , у другій половині зими на  $2 - 3\text{ }^\circ\text{C}$ . Якщо температура повітря після відлиги поступово знижується, то рослини відновлюють морозостійкість. Якщо зниження температури відбувається дуже швидко, то може спостерігатись пошкодження рослин навіть при більш високій температурі, чим до відлиги.

В.М. Лічикакі встановив, що зменшення критичної температури вимерзання залежить від тривалості і величини максимальної температури при відлигах, а також розраховував величини відхилення фактичної критичної температури вимерзання від розрахованої в залежності від середньої із максимальних температур повітря за декаду, табл. 5.28 [65].

Із табл. 5.28 видно, що за однієї і тієї ж середньої максимальної температури за декаду на кожен новий чинник впливають відлиги попереднього періоду.

Розрахунок критичної температури вимерзання слід починати з декади переходу середньої за добу температури повітря через  $0\text{ }^\circ\text{C}$ .

Таблиця 5.28– Поправка на розраховану критичну температуру при відлигах у другій половині зими

Місяць	Декада	Середня максимальна температура повітря за декаду ( в °С )						
		0	1	2	3	4	5	6
Лютий	Друга	0,5	1,3	1,8	2,3	2,5	2,7	3,0
	Третя	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Закінчення табл. 5.28								
Березень	Перша	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
	Друга	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
	Третя	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5

**Приклад.** Необхідно розрахувати критичну температуру вимерзання озимої пшениці сорту Миронівська 808 у районі ст. Луганськ. Для розрахунків використовуються дані спостережень. Перехід середньої мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кущіння через 0 °С відбувся у третій декаді листопада. Для визначення критичної температури за цю декаду необхідно суму середніх за декаду температур ґрунту на глибині вузла кущіння, яка становить на цю дату –0,8 °С, поділити на кількість декад плюс одиниця, тобто на 2, вона становитиме –0,2 °С. Методом інтерполяції з табл. 5.28 знаходиться відповідна критична температура вимерзання на третю декаду листопада. Вона становить у прикладі –14,3 °С. Для визначення критичної температури вимерзання у інших декадах розрахунки виконуються аналогічно.

У зерновому господарстві України озимі зернові культури займають близько 30 % всієї посівної площі. Провідна роль серед озимих культур належить озимій пшениці. В.М. Лічикакі за характером перезимівлі озимих культур в Україні виділив три головних райони:

– західний (Волинська, Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Тернопільська та Чернівецька області) – середня багаторічна загибель озимої пшениці на цій території не перевищує 10 %;

– центральний (Вінницька, Київська, Кіровоградська, Одеська, Сумська, Хмельницька, Черкаська, Чернігівська, Херсонська та західна частина Полтавської області) – середня загибель озимої пшениці не перевищує 20 %;

– східний (Луганська, Дніпропетровська, Донецька, Запорізька, Харківська, Миколаївська та більша частина Полтавської області) – середня загибель озимої пшениці перевищує 20 %.

Вимерзання озимих культур в Україні та стан їх на момент відновлення вегетації за даними В.М. Лічикакі залежить від мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кущіння, висоти снігу та середньої температури повітря за добу. Ним визначена залежність мінімальної

температури ґрунту на глибині вузла кущіння від середньої температури повітря за добу й висоти снігу (рис. 5.13).

Для прискорення розрахунків температури ґрунту на глибині вузла кущіння зняті з графіка (рис. 5.13) її значення представлені у табл. 5.30.

Якщо відома середня за добу (декаду) температура повітря і висота снігу, то з табл. 5.30 легко визначається мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кущіння.

На території України вирощуються здебільшого сорти, які за доброго стану восени й доброго загартування мають критичну температуру вимерзання: -22 – -24 °С – жито; -20 – -22 °С – озима пшениця високої морозостійкості; -19 – -20 °С пшениця середньої морозостійкості та -15 – -18 °С – сорти низької морозостійкості; -12 – -15 °С – ячмінь.

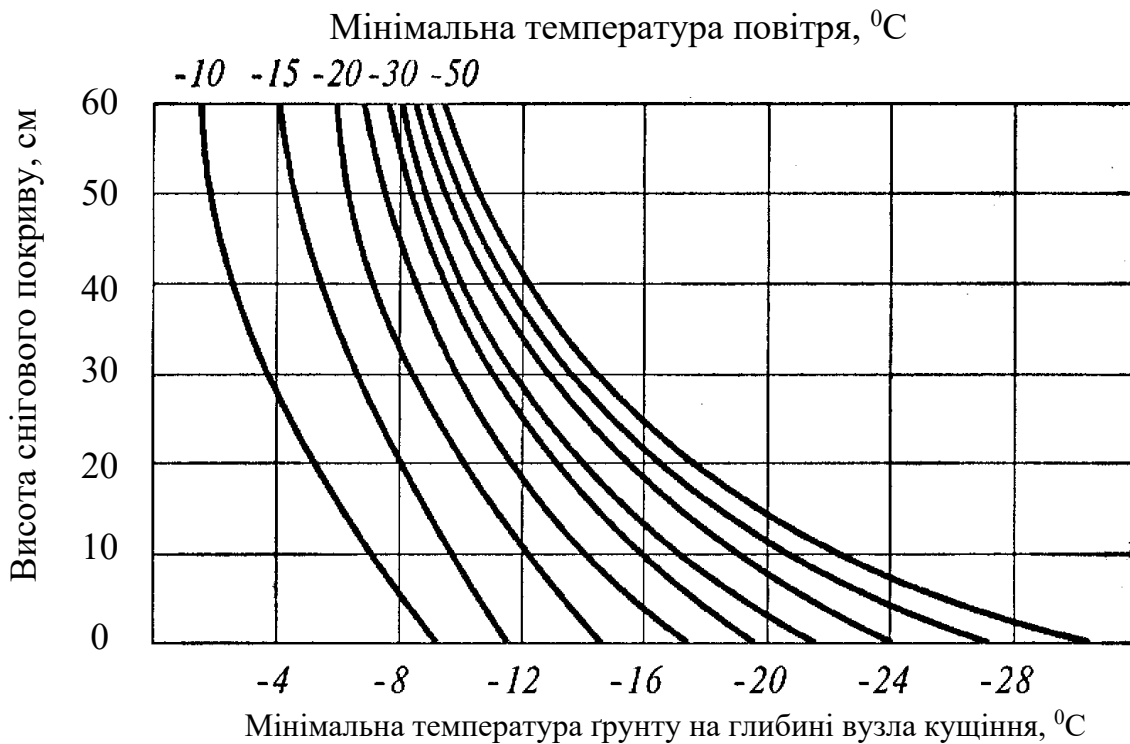


Рис. 5.13 – Залежність мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кущіння (3 см) від середньої добової температури повітря і висоти снігу.

У другу половину зими морозостійкість озимих культур зменшується завдяки цілій низці факторів, серед яких провідне місце займають відлиги і втрата цукру клітинами вузла кущіння. Слід зазначити, що несприятливі умови восени призводять до того, що озимі перед припиненням вегетації мають задовільний і незадовільний стан. В таких випадках значення критичної температури значно вище (-11... -14° С).

За значеннями критичної температури сорти озимої пшениці, що вирощуються в Україні, поділяються на три групи:

1 – зимостійкість вища від середньої (Одеська 16, Одеська 3, Краснодарська 39 та ін.).

2 – середня зимостійкість (Одеська 51, Одеська 21, Миронівська 808, Миронівська Ювілейна, Іллічівка, Білоцерківська 198, Орбіта, Прибой та ін.).

3 – зимостійкість нижча від середньої (Безоста 1, Аврора, Кавказ, Дніпровська 521, Поліська 70, Мічуринка, Новомічуринка, Одеська Ювілейна, Рубіж та ін.).

За показник зрідженості озимих посівів навесні від вимерзання В.М. Лічкакі запропонував використовувати коефіцієнт морозонебезпечності  $K$ . Він розраховується як відношення мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кушіння ( $T_{\min}$ ) до критичної температури вимерзання рослин ( $T_{\text{кр}}$ ), тобто:

$$K = \frac{T_{\min}}{T_{\text{кр}}} \quad (5.27)$$

Були встановлені кількісні зв'язки між коефіцієнтом морозонебезпечності і зрідженістю озимих посівів від вимерзання, табл.5.29.

Таблиця 5.29– Коефіцієнт морозонебезпечності  $K$  і відповідна йому зрідженість  $U$  озимих культур від вимерзання

Коефіцієнт морозонебезпечності $K$			Зрідженість $U$ % на $1\text{м}^2$
озиме жито	озима пшениця	озимий ячмінь	
0,55 – 0,79	0,55 – 0,75	0,45 – 0,68	1 – 20
0,80 – 0,95	0,76 – 0,87	0,69 – 0,79	21 – 40
0,96 – 1,06	0,88 – 0,96	0,80 – 0,88	41 – 60
$\geq 1,07$	$\geq 0,97$	$\geq 0,89$	>60

За рівняннями табл. 5.31 розрахована табл. 5.32 для визначення площі загибелі озимих культур (%) від вимерзання, а також площа можливого пересіву озимої пшениці..

Таблиця 5.30 – Залежність мінімальної температури ґрунту на глибині вузла куціння від середньої за добу температури повітря і висоти снігу

Середньо добова температура повітря, °С	Висота снігового покриву, см														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-1	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0	0	0	0
-2	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,1	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0	0	0	0
-3	-2,1	-2,1	-2,0	-1,9	-1,8	-1,6	-1,4	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3
-4	-3,0	-2,8	-2,7	-2,5	-2,4	-2,2	-2,0	-1,6	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,7
-5	-3,9	-3,7	-3,5	-3,3	-3,1	-2,8	-2,6	-2,3	-1,9	-1,7	-1,5	-1,4	-1,3	-1,3	-1,2
-6	-4,8	-4,6	-4,3	-4,0	-3,8	-3,5	-3,3	-3,0	-2,6	-2,3	-2,0	-1,9	-1,8	-1,8	-1,7
-7	-5,6	-5,2	-5,1	-4,8	-4,5	-4,2	-3,9	-3,5	-3,2	-2,8	-2,5	-2,4	-2,3	-2,3	-2,2
-8	-6,5	-6,2	-5,9	-5,5	-5,2	-4,8	-4,5	-4,2	-3,8	-3,4	-3,0	-2,9	-2,8	-2,8	-2,7
-9	-7,3	-7,0	-6,7	-6,3	-5,9	-5,5	-5,1	-4,6	-4,1	-3,8	-3,6	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3
-10	-8,2	-7,8	-7,4	-7,0	-6,6	-6,2	-5,8	-5,2	-4,5	-4,8	-4,1	-4,0	-3,9	-3,9	-3,8
-11	-9,1	-8,7	-8,2	-7,8	-7,3	-6,9	-6,4	-5,8	-5,3	-4,9	-4,6	-4,5	-4,4	-4,4	-4,3
-12	-10,0	-9,5	-9,0	-8,5	-8,0	-7,5	-7,0	-6,6	-6,1	-5,6	-5,1	-5,0	-4,9	-4,9	-4,8
-13	-10,8	-10,3	-9,8	-9,3	-8,7	-8,1	-7,6	-7,1	-6,7	-6,2	-5,7	-5,6	-5,5	-5,4	-5,3
-14	-11,7	-11,1	-10,5	-10,0	-9,4	-8,8	-8,3	-7,7	-7,2	-6,7	-6,2	-6,1	-6,0	-6,0	-5,9
-15	-12,5	-11,9	-11,2	-10,6	-10	-9,5	-8,9	-8,4	-7,8	-7,2	-6,7	-6,6	-6,5	-6,5	-6,4
-16	-13,4	-12,7	-12,0	-11,3	-0,7	-10	-9,4	-8,8	-8,3	-7,8	-7,2	-7,1	-7,0	-7,0	-6,9
-17	-14,3	-13,6	-12,8	-12,1	-	-10,8	-10	-9,5	-9,0	-8,4	-7,8	-7,7	-7,5	-7,5	-7,5



Таблиця 5.31 – Залежність зрідженості  $U$  (%) озимих культур до весни від коефіцієнта морозостійкості  $K$ .

Озима культура	Рівняння зв'язку	Помилка рівняння $E_u$ , %	Кореляційне відношення $\eta$
Пшениця	$U = 77,94K^{4,79}$	$\pm 17$	$0,929 \pm 0,018$
Жито	$U = 47,90K^{3,69}$	$\pm 14$	$0,920 \pm 0,014$
Ячмінь	$U = 90,26K^{3,0}$	$\pm 14$	$0,954 \pm 0,034$

В.А. Шавкуною окремо розроблена таблиця для визначення зрідженості жита певних сортів від мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кущіння та міри розвитку озимого жита восени табл. 5.32.

Загальна залежність зрідженості посівів на весну від мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см і коефіцієнта кущіння ( $k$ ) має нелінійний характер і для різних сортів виражається рівняннями:

озима пшениця:

$$\text{Миронівська 808} - \lg U = 2,66 \lg t_3 - 0,129 \lg k - 1,733 ; \quad (5.28)$$

$$\text{Безоста 1} - U = 2,51^{0,269(t_3 - 5)} ; \quad (5.29)$$

Таблиця 5.32 – Зрідженість (%) посівів озимої пшениці в залежності від мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см і фази розвитку рослин

Сорт	Фаза розвитку	Пороги мінімальної температури ґрунту, °С									
		-5	-10	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22
Безоста 1	сходи –										
	3-й лист	0	12	30	40	50	100	100	100	100	100
	кущіння	0	4	12	18	25	50	100	100	100	100
	сходи –	0	8	25	30	35	50	70	100	100	100
Миронівська 808	3-й лист	0	4	8	10	15	30	50	75	95	100
	кущіння										

жито: Харківське 55,56, Вятка –

$$U = 9,484t_3 + 0,374t_3^2 + 70,181 ; \quad (5.30)$$

Саратовські сорти:

$$U = 9,003t_3 + 0,365t_3^2 - 5,536k + 0,693k^2 + 66,411 \quad (5.31)$$

Таблиця 5.33. – Зрідженість (%) посівів озимого жита сортів Саратовське-1, Саратовське-4, Саратовське крупнозерне від мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кущіння і розвитку рослин восени

Коефіцієнт кущіння ( <i>k</i> )	Мінімальна температура ґрунту на глибині 3 см, °С							
	-10	-15	-20	-21	-22	-23	-24	-25
1	8	9	28	34	40	46	56	65
2	4	5	24	30	37	44	52	62
3	2	3	22	30	35	42	50	59
4	2	2	21	27	34	41	50	58
5	2	2	22	28	35	42	50	59

В.О.Шавкуною також розроблена оцінка умов перезимівлі озимого жита з врахуванням різних показників, табл. 5.34.

Таблиця 5.34 – Оцінка умов перезимівлі озимого жита Саратовських сортів за головними агрометеорологічними показниками

Агрометеорологічний чинник	Міра розвитку рослин ( <i>k</i> )					
	погано розвинені ( <i>k</i> <2) підсів пересів		добре розвинені ( <i>k</i> =3) підсів пересів		перерослі ( <i>k</i> =4–5) підсів пересів	
<u>глибина промерзання ґрунту 60 см</u>						
Мінімальна температура повітря без снігу, °С	-26	-29	-26	-30	-26	-30
Мінімальна температура повітря, при висоті снігу 1–5 см, °С	-34	-35	-37	-38	-34	-39
<u>глибина промерзання ґрунту 100 см</u>						
Мінімальна температура повітря, при висоті снігу 1–5 см, °С	-30	-33	-30	-35	-30	-35

Приклад визначення критичної температури вимерзання за В.М. Лічкакі та коефіцієнта морозонебезпечності наводиться в табл. 5.35.

Льодяна кірка на полях з озимими культурами утворюється в періоди випадання рідких переохолоджених опадів та під час зимових відлиг, які потім змінюються похолоданням. Пізньої осені й ранньої весни льодяна кірка також утворюється внаслідок застою води після танення снігу та подальшого її замерзання [65].

Льодяна кірка буває висяча і притерта. Висяча кірка утворюється на поверхні снігу під час відлиг. Вона практично не спричиняє загибелі озимих культур, а може тільки посилити негативну дію потужного (більше 30 см) снігового покриву.

Притерта льодяна кірка утворюється безпосередньо на поверхні ґрунту, часто спостерігаються випадки змерзання ґрунту з кіркою. Така кірка спричиняє значне пошкодження посівів озимих культур [35, 46].

Міра пошкодження озимих посівів льодяною кіркою залежить від її товщини, щільності й тривалості залягання на полях, а також від розповсюдження (в цілому по полю чи тільки місцями).

За головний показник шкідливості льодяної кірки приймається її товщина. В.М. Лічкакі на основі обробки багаторічних спостережень побудував графік залежності загибелі озимих культур від товщини льодяної кірки при тривалості її залягання більше чотирьох декад (рис. 5.14), а також розрахував відповідні рівняння, табл. 5.36.

Якщо тривалість залягання льодяної кірки менше чотирьох декад, то пошкодження посівів буває незначним, або зовсім відсутнє.

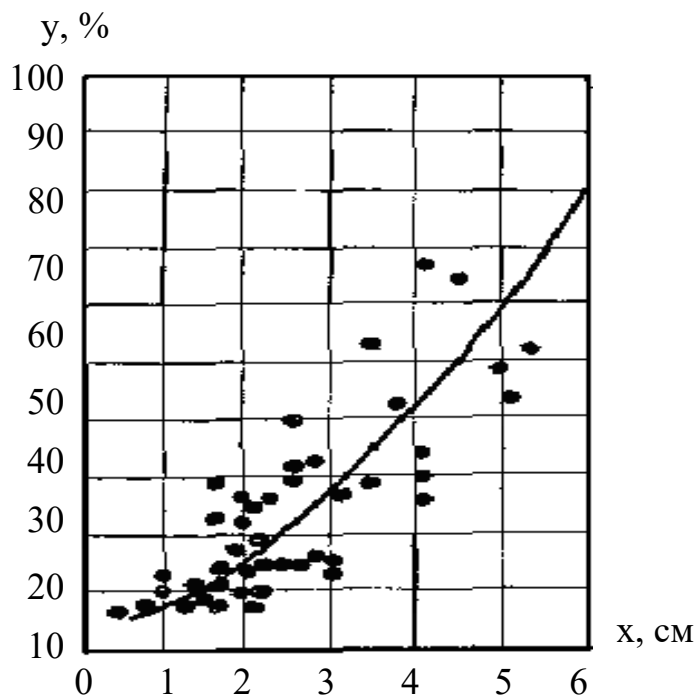


Рис. 5.14 – Залежність загибелі озимої пшениці (Y) від середньої товщини льодяної кірки (X) за час її залягання впродовж 4 і більше декад.

Таблиця 5.35 - Приклад визначення коефіцієнта морозонебезпечності можливої загибелі озимої пшениці вище середньої морозостійкості за даними гідрометеорологічної станції Луганськ

Місяць	Декада	Температура повітря (в °С)			висота сніговопокриву на озимих	Товщина притертої льодяної кірки (в см)	Мінімальна температура ґрунту на глибині 3 см (в °С)				Критична температура (в °С)			Коефіцієнт морозонебезпечності	Загибель рослин (в %)	
		середня	Мінімальна	середня з максимальних			середня за декаду	сума середніх мінімальних температур наростаючим підсумком	середня за попередній зимовий період	абсолютний мінімум за декаду	розрахункова	поправка на критичну температуру при відлизі	з помилкою		розрахункова	за даними відрошування
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
XI	1	-2,2	-10,8	-0,9	0	0	-1,3	-1,3	-0,6	-1,6	-15,2	0	-15,2	0,10	0	–
	2	+1,2	-2,8	+2,5	0	0	0	-1,3	-0,4	-0,6	-14,8	0	-14,8	0,04	0	–
	3	-6,7	-21,4	-3,0	6	0	-3,9	-5,2	-1,3	-8,0	-16,8	0	-16,8	0,48	0	–
XII	1	-5,2	-21,9	-2,7	1	2,2	-3,7	-8,9	-1,8	-10,8	-17,7	0	-17,7	0,61	1-20	–
	2	-12,8	-24,8	-9,6	3	3,1	-9,2	-18,1	-3,0	-15,5	-19,6	0	-19,6	0,79	21-40	–
	3	-13,8	-24,6	-9,6	8	2,3	-7,2	-25,3	-3,6	-13,4	-20,3	0	-20,3	0,66	1-20	14
I	1	-23,2	-33,1	-17,8	11	2,2	-10,7	-36,0	-4,5	-15,9	-21,0	0	-21,0	0,76	21-40	–
	2	-17,9	-34,4	-14,5	17	2,2	-7,3	-43,3	-4,8	-18,8	-21,2	0	-21,2	0,89	41-60	28
	3	-9,3	-18,8	-4,7	21	2,2	-2,5	-45,8	-4,6	-6,6	-21,1	0	-21,1	0,31	0	25
II	1	-12,8	-29,5	-7,9	21	2,2	-4,3	-50,1	-4,6	-12,2	-21,1	0	-21,1	0,58	0	43

Таблиця 5.36– Залежності зрідженості посівів від середньої товщини льодяної кірки

Озима культура	Рівняння зв'язку	Помилка рівняння, $E_u$	Кореляційне відношення, $\eta$
Пшениця	$U = 1,8m^2 + 2,8m + 5,4$	$\pm 10$	$0,831 \pm 0,043$
Жито	$U = 2,03m^2 + 0,81m + 7,9$	$\pm 10$	$0,810 \pm 0,030$

В.М. Лічикакі для зручності користування також розрахована таблиця зрідженості посівів озимих навесні від льодяної кірки різної товщини (табл.5.37).

Таблиця. 5.37 – Залежність зрідженості озимих посівів (U) від середньої товщини притертої льодової кірки (m) (за В.М. Лічикакі)

M, см	Зрідженість, %	
	пшениці	жита
1	2	3
1,1 – 1,5	11 – 12	11 – 14
1,6 – 2,0	13 – 18	14 – 18
2,1 – 2,5	19 – 24	20 – 23
2,6 – 3,0	25 – 30	24 – 29
3,1 – 3,5	31 – 37	30 – 36
3,6 – 4,0	38 – 43	37 – 44
4,1 – 4,5	46 – 54	45 – 54
4,6 – 5,0	55 – 64	55 – 63
5,1 – 5,5	65 – 75	64 – 74
5,6 – 6,0	76 – 81	75 – 86
>6,0	>81	>86

**Приклад.** Дати оцінку зрідженості посівів озимої пшениці від льодяної кірки по ст. Суми Сумської області.

У прикладі розрахунку головною причиною загибелі рослин була притерта льодяна кірка. Вона утворилась у третій декаді січня. З цієї декади і починається розрахунок її середньої товщини. Для визначення середньої товщини льодяної кірки за кожен декаду підсумовуються межові значення товщини і потім розділяється отримана сума на 2. Послідовно підсумовуються щодакандні значення товщини кірки з третьої декади грудня до третьої декади січня. До неї додається товщина кірки за першу декаду лютого ( $16,5 + 4,8 = 21,3$ ). Середнє значення за чотири декади визначається

шляхом поділу отриманої суми на кількість декад. Таким же чином розраховується товщина кірки у подальшому. Якщо кірка утворилась у першій та третій декаді грудня, то вона не враховується. За величиною середньої товщини льодяної кірки визначається зрідженість посівів озимих культур.

При виконанні розрахунків загибелі озимих культур від льодяної кірки слід враховувати її розповсюдження по полю. Якщо поле вкрите на 80 – 100 %, то виконані розрахунки будуть мало відрізнятися від фактичної величини. Якщо льодяна кірка розповсюджена на 50 % поля, а зрідженість становитиме 35 %, то слід відзначати, що загибель рослин 30 % спостерігатиметься на 50 % поля. У таких випадках озимі, які восени були погано розвинені, пересівають, а добре розвинені – підсівають.

### *Контрольні запитання*

- 1. Дайте визначення морозостійкості і зимостійкості рослин.*
- 2. Як формуються морозостійкість і зимостійкість?*
- 3. Від яких причин залежить пошкодження озимих культур взимку?*
- 4. Які чинники впливають на температуру ґрунту на глибині 3 см?*
- 5. Що називається критичною температурою вимерзання?*
- 6. Які ви знаєте методи визначення мінімальної температури на глибині 3 см?*
- 7. Які ви знаєте методи розрахунку критичної температури вимерзання?*
- 8. Що таке « коефіцієнт морозобезпечності »?*
- 9. Як впливає льодяна кірка на стан озимих посівів?*
- 10. Як розраховується пошкодження льодяною кіркою озимих посівів?*
- 11. Як впливають відлиги на значення критичної температури вимерзання?*

**Випрівання озимих культур.** Випрівання є другою головною причиною пошкодження озимих культур восени. Воно відбувається в результаті тривалого перебування рослин під товстим шаром снігу при температурі, близькій до 0 °С, без світла і при неглибокому промерзанні ґрунту [64, 69].

І.І. Туманов у процесі випрівання рослин розділяє три фази, які якісно відрізняються одна від одної.

В першій фазі випрівання відбувається вуглецеве виснаження озимих рослин. При температурі під снігом близькій до 0 °С озимі зберігають енергію дихання і слабе зростання. При цьому відбувається витрата цукру на дихання. Поповнення цукру неможливе через відсутність фотосинтезу під снігом.

Друга фаза випрівання настає, коли цукру залишається не більше 2 – 4 % і рослини починають витрачати білки. Цей процес відбувається наприкінці зими, на початку танення снігу. При витрачанні білків утворюється тепло, яке сприяє розвитку різних мікроорганізмів. Утворення

мікроорганізмів значно посилює витрати білків і все разом спричиняє спочатку пошкодження, а потім і загибель рослин.

В *третю фазу випрівання* відбувається швидкий розвиток сніжної плісняви, яка повністю призводить до загибелі рослин. Міцелій грибків добре розвивається при температурі близькій до 0 °С і вологості Більшій за 90 %.

Дослідження В.О. Мойсейчик показали, що випрівання озимих культур спостерігаються за високого снігового покриву, малої глибини промерзання ґрунту, тривалого залягання снігового покриву на полях і мінімальної температури ґрунту на глибині вузла кущіння у межах від – 5° С до + 5° С [69].

За основні показники при оцінці умов випрівання взята висота снігу більшої від 30 см та глибина промерзання менша ніж 50 см.

Температура ґрунту на глибині вузла кущіння за товщини снігу більшої від 30 см та глибини промерзання ґрунту меншої за 50 см має дуже малу добову амплітуду та зовсім мало змінюється з часом. Тому період з снігом більше 30 см при глибині промерзання ґрунту меншій ніж 50 см розглядається як період проходження першої та другої фаз випрівання рослин. Третя фаза у польових умовах протікає в період танення снігу. Вона відбувається тільки за умови наявності перших двох фаз [64, 69].

Тривалість періоду проходження перших двох фаз випрівання ( $n$ ) знаходиться у прямій залежності від терміну встановлення снігу висотою 30 см і більше ( $h$ ):

$$n = 17,54 - 1,128h \quad (5.32)$$

Встановлено, що пошкодження рослин спостерігається при тривалості періоду з висотою снігу 30 см і вище більше 8 декад, а дуже погані умови перезимівлі спостерігаються при тривалості періоду проходження перших двох фаз випрівання більшій за 12 декад. Кількість стебел після перезимівлі у рослин озимої пшениці та озимого жита ( $P$ ) має тісний зв'язок з тривалістю залягання снігу більше 30 см ( $n$ ):

$$P = 123n - 5,4 \quad (5.33)$$

Як встановлено дослідженнями В.О. Мойсейчик мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кущіння має одне з вирішальних значень для випрівання озимини. За більш високої температури більш інтенсивно витрачаються питомі речовини на дихання рослин (особливо цукру). Таким чином, чим вища мінімальна температура на глибині вузла під потужним снігом, тим більша буває зрідженість озимих культур. Міра зрідженості залежить від розвитку озимих восени перед припиненням

вегетації та виду самих культур. Озиме жито має більшу стійкість до випрівання, ніж озима пшениця.

В.О. Мойсейчик визначила статистичні залежності зрідженості озимої пшениці ( $U$ ) від мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см ( $t_3$ ) та кущистості посівів восени ( $K$ ):

$$U = 59,07 + 6,82t_3 + 0,22t_3^2 - 5,14K + 0,40K^2 \quad (5.34)$$

Такі ж рівняння визначені В.В. Шавкуною для озимого жита для більшості вирощуваних сортів:

$$U = 7,039t_3 + 0,093t_3^2 - 27,514K + 4,796K^2 + 93,106 \quad (5.35)$$

При розрахунках випрівання необхідно знати не тільки зрідженість посівів, але і кількість стебел, які збереглися, тому що найчастіше врожайність культур зменшується внаслідок загибелі осінніх більш продуктивних стебел. Розрахунок кількості стебел, що збереглися, виконується за рівнянням (5.35) і починається в наступну декаду після встановлення на полі снігу висотою 30 см і більше.

Площа поля, на якій буде спостерігатись пошкодження або загибель рослин і стебел внаслідок випрівання, розраховується аналогічно площі вимерзання або за залежностями площі ( $y$  % загальної площі) з снігом більше 30 см від середньої висоти снігу за снігозйомкою (рис. 5.15.).

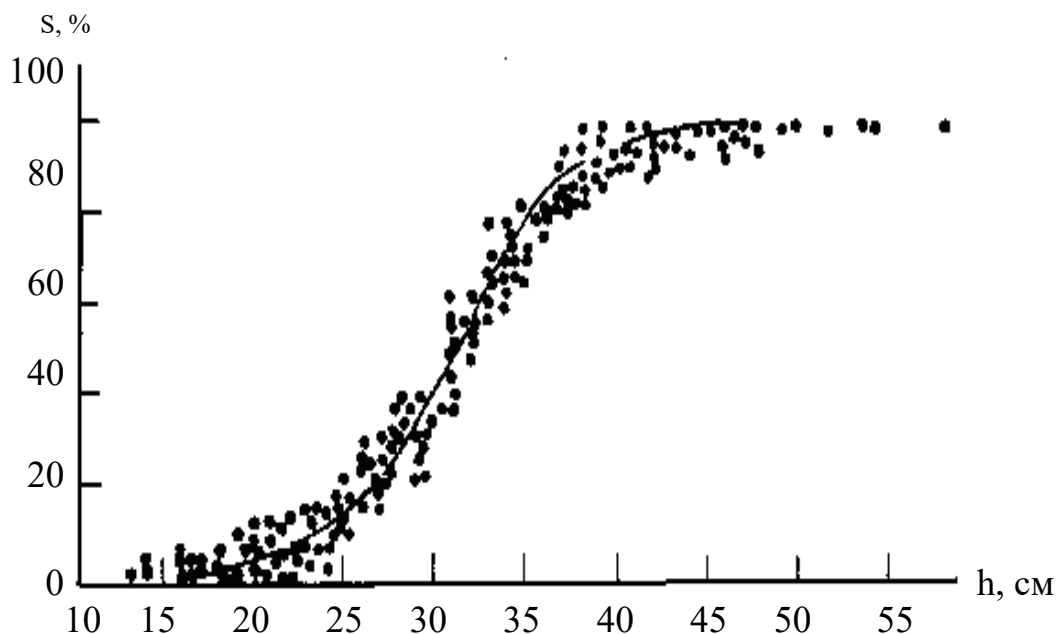


Рис. 5.15 – Зміна площі (%) з товщиною снігу більше 30 см при різній середній товщині за снігозйомкою.



Загальна тривалість періоду із снігом більше 30 см розраховується за рівнянням (5.33).

Таблиця 5.38– Залежність зрідженості (%) озимого жита при випріванні від мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см та куцистості посівів восени (К)

К	Мінімальна температура ґрунту на глибині 3 см							
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8
1	63	57	50	44	38	27	26	13
2	50	47	42 <sub>3</sub>	31	25	19	14	0
3	47	40	40	27	21	15	10	0
4	53	46	40	39	27	21	16	2
5	68	62	55	49	43	37	31	18

З наведених рівнянь і залежностей стає зрозумілим, що і вимерзання і випрівання не спостерігаються за температури ґрунту на глибині вузла куциння у межах -7,0 – -8,0 °С. При підвищенні температури буде спостерігатись випрівання рослин, при зниженні температури буде спостерігатись вимерзання рослин.

**Випрівання багаторічних сіяних трав.** Багаторічні сіяні трави внаслідок тривалого перебування під товстим шаром снігу теж випривають. Найчастіше це спостерігається у північних й північно-східних областях нечорноземної зони Росії. Інколи – у північних і північно-західних районах України (дуже рідко). Досить рідко явище випрівання сіяних трав спостерігається у центральних чорноземних областях.

Дослідженнями Г.І. Страшної встановлено, що площа пошкодження і загибель багаторічних сіяних трав внаслідок випрівання значною мірою залежить від середньої по області суми мінімальних температур ґрунту на глибині 3 см до 20 лютого, середньої по області мінімальної температури ґрунту за зиму, середньої глибини промерзання ґрунту та кількості декад з товщиною снігу 20 см і більше (рис. 5.16) [67, 70].

В цілому очікувані по області площі з поганим станом трав ( $S_B$ ) навесні внаслідок випрівання розраховуються також за рівнянням:

$$S_B = 0,024 \sum t_3 + 1,781 \sum t_3^2 + 38,62 = 0,79; \quad (5.36)$$

$$P_{SB} = 7\%; \quad n = 34$$

де  $t_3$  – середня по області сума мінімальних температур ґрунту на глибині 3 см за зимові декади до 20 лютого, °С;



від тривалості та глибини затоплення рослин, вологості й глибини промерзання ґрунту, температури талої води [72].

Таблиця 5.39 – Оцінка умов перезимівлі конюшини при випріванні в центральних областях ЄЧ

Сума мінімальних за зимові декади температур ґрунту на глибині 3 см, °С	Тривалість залягання снігового покриву висотою $\geq 20$ см, декади	Зрідженість посівів, %	Умови
-40 і нижче	<5	5 – 10	Добрі
-30...-10	6 – 11	11 – 39	Задовільні
Вище -10	12 – 15	40 – 60	Погані

Встановлено, що затоплення рослин водою восени і взимку менш небезпечне, ніж навесні, коли рослини ослаблені вийшли із зимового покою. При затопленні рослин на неповну їх висоту (верхня частина знаходиться над водою) зрідженість посівів буде менше, однак вона значно зростає при повному затопленні рослин, а також із збільшенням тривалості періоду застою води й підвищенням її температури. Стійкість озимих до вимокання представлені в табл. 5.40.

Таблиця 5.40 – Стійкість озимих культур до затоплення в осінньо – зимовий та весняний періоди (за Є.Д. Остаплюком)

Період проведення дослідів	Тривалість затоплення, дні	Кількість живих рослин, %		
		пшениці	жита	ячменю
Фаза двох листків	6	89,3	67,2	54,6
Закінчення осінньої вегетації	8	93,4	73,6	69,4
Після другої фази загартування	8	100	100	84,7
Відновлення вегетації	4	78,6	42,4	36,6
Початок виходу у трубку	3	82,7	39,4	30,6

Зрідженість озимих ( $u$ ) внаслідок вимокання у низьких місцях рельєфу (%) визначається за тривалістю періоду повного затоплення ( $n$ ) рослин та середньою за цей період температурою води ( $t_{\text{в}}$ ):

$$U = 3,50n + 5,20t_{\text{в}} - 22,62 \quad (5.38)$$

Рівняння дійсне при  $n =$  від 5 до 35 днів,  $t_{\text{в}}$  – від 0 до 5° С.

За рівнянням (3.40) розраховується зрідженість посівів з першого дня затоплення. Якщо фактичні спостереження за затопленням відсутні, то початок періоду затоплення ( $y$ ) розраховується за датою стійкого переходу температури повітря через 0 °С навесні ( $x$ ) за рівнянням:

$$U = 0,97x + 5,5 \quad (5.39)$$

Закінчення періоду затоплення талими водами ( $y$ ) за відсутності прямих спостережень розраховується за датою повного відтанення ґрунту ( $x$ ):

$$U = 0,88x + 10,4 \quad (5.40)$$

Рівняння використовується, якщо глибина промерзання ґрунту становить не менше 30 см і не більше 80 см. При підрахунках в рівняння (5.39 та 5.40) підставляється кількість днів від першого січня.

Слід зазначити, що спостереження за температурою талої води у місцях затоплення не проводяться. Тому температуру талої води розраховують за рівнянням

$$T_{\text{в}} = 0,80T - 0,24 \quad , \quad (5.41)$$

де  $T_{\text{в}}$  – середня температура повітря за період затоплення рослин, °С.

Крім зазначених вище факторів, на кількість загиблих від вимокання рослин також впливають міра зволоження ґрунту восени перед початком зими та кількість опадів за зиму. За поганого зволоження ґрунту восени і малої кількості опадів взимку талі води швидко проникають в нижні шари ґрунту і застою води не спостерігається. Встановлено, що вимокання посівів практично не спостерігається, якщо за зиму випало менше 230 мм опадів. Тому кількісна оцінка агрометеорологічних умов, що спричиняють пошкодження від вимокання, виконується лише у тому випадку, коли з 1

вересня до переходу температури повітря через 0 °С навесні випало більше 230 мм опадів.

Площа із загиблими від вимокання рослинами ( $S_g$ ) розраховується за даними зрідженості посівів ( $u$ ) від вимокання за рівнянням:

$$S_g = 0,37u + 0,04 \quad (5.42)$$

Таким чином, за даними метеорологічних величин визначається не тільки зрідженість посівів, а і площа із цією зрідженістю. Повна загибель від вимокання явище досить рідкісне і найчастіше зустрічається в понижених місцях рельєфу. Але врожайність посівів, пошкоджених від вимокання, значно менша від врожайності здорових рослин[72].

*Зимове нагрівання та висушування.* В деяких районах взимку і навесні озимі культури можуть потерпати від нестачі вологи, особливо при відсутності снігу. За дослідженнями В.О. Мойсейчик, взимку при замерзлому ґрунті, температурі повітря близько 0 °С та безхмарному небі в різних частинах рослин створюються значні градієнти температури. Це призводить до посилення випаровування води листям та їх висиханню. Таке явище називається *зимовою засухою*. За дослідженнями І.І. Туманова вміст води в рослинних зменшується з 88 % до 26 % впродовж 15 днів. Особливо страждають від цього слабкі, погано розвинені посіви озимої пшениці. Зимова засуха часто спричиняє випирання та видування рослин.

Страждають від зимової засухи не тільки озимі зернові культури, а і плодові. В ясні, теплі дні підсилена транспірація та витрата великої кількості вологи спричиняє пошкодження і загибель плодових культур і ягідників.

Дослідження Г.Г. Білобородової показали, що за виникнення зимової засухи найбільше страждають гілля і стовбур південної частини дерева. Л.К. Констянтинов вказував, що кора дерева на південній стороні отримує сонячної радіації в два – три рази більше, на північній стороні.

Максимальне нагрівання дерев в зимово-весняний період спостерігається в ясні дні, повній відсутності вітру і високої відбивальної здібності снігу. Нагрів дерев залежить від товщини стовбура. Найбільш сильно нагріваються стовбури дерев діаметром 35 – 50 мм. Більш товсті стовбури прогріваються менше.

Кількісна залежність між погодними умовами взимку і станом рослин виражається рівнянням для стійких до висушування сортів яблуні

$$Y = 0,244 - 0,045x - 0,002^2, \quad (5.43)$$

для смородини

$$Y = 56.22 - 0,24x - 0,01 x^2, \quad (5.44)$$

де  $У$  – обводнення однолітніх гілок смородини (%) і міра пошкодження (бали) яблуні на кінець лютого;  
 $x$  – середня випаровуваність, мм за січень-лютий.

### *Контрольні запитання*

- 1. Які причини сприяють випріванню озимих культур?*
- 2. За яких умов спостерігається вимокання озимих культур?*
- 3. Від чого залежить тривалість залягання снігу висотою 30 см і більше?*
- 4. Як розраховується період голодування рослин?*
- 5. Які фази випрівання ви знаєте?*
- 6. За якої тривалості залягання снігу більше 30 см складаються несприятливі умови для перезимівлі озимих культур?*
- 7. Як визначається температура талої води?*
- 8. Як розраховується зрідженість посівів від вимокання?*
- 9. Як розраховується зрідженість озимих від випрівання?*
- 10. Що сприяє зимовому нагріванню та висушуванню рослин?*

### **5.2 8 Шкідники і хвороби**

У процесі сільськогосподарського виробництва руйнуються історичні відносини в біоценозах й зв'язки рослинних і тваринних організмів. При цьому створюються умови для масового розповсюдження і розселення шкідників і хвороб, а також бур'янів.

Розповсюдження шкідників сільськогосподарських культур знаходиться у прямій залежності від умов навколишнього середовища і екологічного пристосування видів.

За даними Продовольчої і сільськогосподарської організації (ФАО) ООН від сільськогосподарських шкідників і хвороб щорічно губиться 25 ...40 % потенційного світового урожаю продовольчих культур.

Усі сільськогосподарські рослини пошкоджуються багатьма видами комах, гризунів, моллюсків та ін. Найбільшої шкоди завдають комахи, які складають основну масу шкідників, відзначаються значною плодючістю, пересуванням на значні відстані та заселенням великих площ. Численні експерименти [73 - 75] показали, що основні чинники зовнішнього середовища, які визначають стан і розмноження шкідників, а також ефективність боротьби з ними – це агрометеорологічні умови (температура і вологість повітря та ґрунту, інтенсивність і спектральний склад світла, тривалість світлового дня у різні періоди розвитку шкідників).

Агрометеорологічна оцінка умов розвитку шкідників сільськогосподарських культур. Кількість комах визначається метеорологічними умовами у такі основні періоди їхнього життя:

- 1) розмноження;
- 2) годівля, тобто період накопичення резервних речовин;
- 3) зимування, коли може спостерігатися погіршення їх стану та загибель;
- 4) відновний період.

Для визначення впливу окремих факторів середовища на комах розрізняють різні пороги, які обумовлюють існування того чи іншого виду:

- мінімум – значення чинника, нижче якого дана фаза розвитку особини існувати не може;
- психіум – значення чинника, за якого комаха знаходиться у стані пригнічення;
- оптимум – значення чинника, що забезпечує найбільш сприятливі умови життя;
- максимум – значення чинника, вище якого комаха гине.

Критичні значення мінімуму та максимуму, які спричиняють загибель особини, називаються фатальними [73].

Відношення комах до тепла в основному характеризується двома показниками: порогом розвитку  $V$  і сумою ефективних температур ( $\Sigma t_{ef}$ ).

*Порогом розвитку* називаються температурні межі, нижче й вище яких розвиток шкідника припиняється. У різних комах поріг розвитку й сума ефективних температур специфічні й неоднакові для різних фаз розвитку різних поколінь. Дружелюбовою Т.С і Макаровою Л.О. встановлені термічні показники розвитку деяких шкідливих комах, табл. 5.40.

Розвиток комах при змінній температурі добового і сезонного ритмів прискорює темпи їх зростання та розвитку. Швидкість розвитку окремих особин визначається за формулою

$$V = 1/n \cdot 100, \quad (5.45)$$

де –  $V$  – швидкість розвитку за добу, виражена у % від загальної тривалості періоду розвитку;

$n$  – тривалість періоду розвитку (кількість діб).

Для оцінки впливу умов зволоження на розвиток комах використовують такі показники як опади, вологість повітря і ґрунту.

Інтегральним показником впливу температури та опадів може бути гідротермічний коефіцієнт (ГТК), що розраховується за методами Г.Т.Селянинова, І.А.Рубцова. Значення ГТК Селянинова від 1,0 до 1,5 характеризує оптимальне зволоження; понад 1,6 – надмірне; менше 1,0 – недостатнє, менше 0,5 – слабке.

Найбільш поширеними шкідниками є луговий метелик, колорадський жук, озима совка, шкідлива черепашка та ін.

Таблиця 5.41- Термічні показники розвитку деяких шкідливих комах (Дружелюбова Т.С., Макарова Л.О.)

Вид комах шкідника	Фаза розвитку	Температура, °С			
		мінімум	оптимум	Σ температур, °С	Т°С переохолодження
Капустяна білянка	Яйце	9,0	-	98	-
	Гусінь	7,0	-	389	-
	Лялечка	8,0	-	189	-
	Імаго	16,0	-	24	-7,3
	Генерація	9,0	23	700	-
Совка-гамма	Яйце	6,0	25-28	56	-
	Гусінь	8,0	22-30	290	До – 12
	Лялечка	10,0	25	127	-4...-18
	Генерація	10,0	-	470	Лялечка – 8
Капустяна совка	Яйце	10,0	16-25	60	-
	Гусінь	9,0	16-30	400	-
	Лялечка	10,0	19-21	240	-
Луговий метелик	Яйце	11,2	20	30-60	-
	Гусінь	9,6	32,7	200	-23
	Лялечка	12-13	28	-	-
	Генерація	-	-	460	-
Шкідлива черепашка	Личинки	-	25-28	До	-
	Імаго	10,0	22-24	окрилення 300-350	-
Кукурудзяний метелик	Яйце	9,5	22-30	70	-
	Гусінь	9,2	28-30	435	-25
	Лялечка	10,0	20-28	142	-6,2
	Імаго	7,0	-	64	-
Яблунева плодожорка	Яйце	9,4	25-28	95	-
	Гусінь	8,3	-	430	-23
	Лялечка	9,6	15-30	150	-
	Генерація	9,0	-	675	-



*Озима совка* – масовий шкідник усіх овочевих і пропашних культур. В роки інтенсивного розвитку вона активно розселяється на посіви озимих культур і зріджує їх на 30 - 50 %.

Озима совка досить теплолюбний й вологолюбний шкідник. Вона відзначається високим біотичним потенціалом і за короткий час може швидко розповсюдитись на великій території, утворюючи осередки із середньою густрою до 20 ...40 гусені на 1 м<sup>2</sup>. Тепла, помірно волога погода з температурою повітря вище 15 °С та ГТК = 0,9...1,9 сприяє швидкому накопиченню сум ефективних температур близько 200 ... 210 °С, що достатньо для вильоту перезимуваних метеликів. Доросла гусінь витримує температуру до – 11 °С. За вегетаційний період та в залежності від умов розвитку озима совка може мати від одного до трьох поколінь.

Оптимальною температурою для розвитку гусені і накопичення жирових запасів є середньодобова температура близько 19 ...25 °С. За такої температури потенційна плодючість метеликів сягає до 1,0...1,5 тис. яєць на одну особину. Прохолодна погода з температурою повітря нижча за 16 °С та значними опадами і жарка погода з температурою вища за за 25 °С зменшує плодючість самок до 100...150 яєць. Температура повітря вище 30 °С прискорює загибель гусені від вірусної інфекції. Негативно діє і надмірна вологість. При ГТК більше 2,5 збільшується смертність лялечок від грибкової інфекції. Низька вологозабезпеченість посівів і висока температура сприяють висиханню вже відкладених яєць. Встановлена залежність швидкості розвитку трьох географічних популяцій гусені озимої совки від температури (рис. 5.17).

Розвиток озимої совки закінчується при накопиченні сум температур вище 10 °С = 1000 °С.

*Сарана.* Фахівці налічують біля 10 тис. видів саранових, які розселені на п'яти материках. Добре вивчені добові міграції саранових, які пов'язані з динамікою температури навколишнього середовища. За даними Т.С. Дружелюбової і Л.О. Макарової в нічні години при температурі 10...15 °С личинки сарани сидять на поверхні ґрунту або рослин, після сходу Сонця і підвищення температури повітря до 15...20 °С личинки активізуються і пересуваються в бік більш теплого місця. При температурі 25...30 °С вони знову завимрають, але продовжують живлення. При температурі повітря вищій за 45 °С личинки впадають в тимчасове теплове оціпеніння. Для більшості районів сприятливими для розвитку сарани є роки із сумами температур вищій за 10 °С 2500...3000 °С, з річною кількістю опадів 150...200 мм та ГТК 0,3...0,5.

Найбільшої шкоди сільському господарству завдають стадні форми – перелітної азійської сарани та італійського пруса.

Температура й інтенсивність сонячної радіації відіграють основну роль в житті саранових, тоді як волога повітря і ґрунту для цих комах

мають значно менше значення. Помірна чисельність і рівень шкоди від сарани відзначається за річної суми опадів 200...250 мм і суми температур 2250...2500 °С.

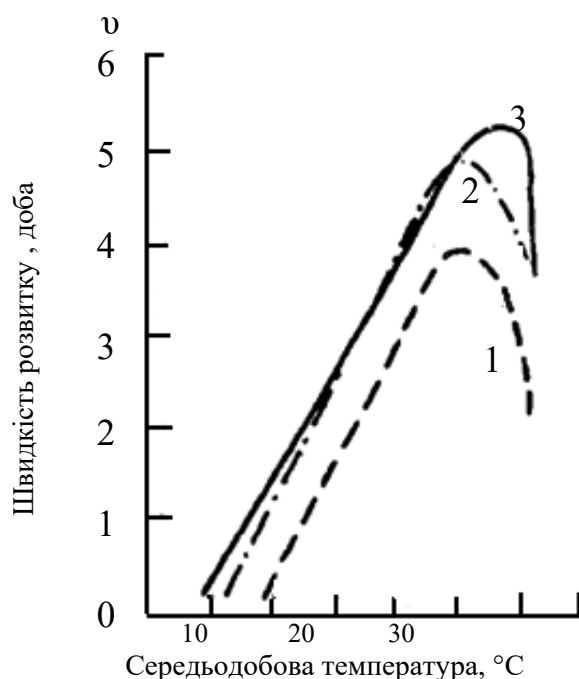


Рис. 5.17 – Залежність швидкості розвитку гусениці озимої совки від температури. Популяції: 1- північна, 2 – українська, 3 – середньоазійська.

Для прогнозу початку відродження сарани (вихід личинок) Г.М. Винокуров запропонував формулу

$$N = A / (T - T_1) \cdot b, \quad (5.46)$$

- де  $N$  - кількість діб, за які пройде відродження личинок саранових;
- $A$  – сума температур, необхідна для розвитку ембріонів, які перезимували (градусогодини);
- $T$  – температура ґрунту, °С;
- $T_1$  – нижня межа розвитку, °С;
- $b$  – кількість годин з температурою вище нижньої межі розвитку.

*Шкідлива черепашка.* Цей шкідник висмоктує клітинний сок із молодих пагонів зернових культур, що спричиняє їх вянення та уповільнення росту, внаслідок чого значно зменшується урожай і якість зерна. Розповсюджена шкідлива черепашка в степових районах Європи та Азії.

Одним із головних факторів, який зумовлює особливості поведінки і розповсюдження комах, є температура навколишнього середовища. За

даними Л.О. Макарової і Г.М. Дороніної температурні межі життя шкідливої черепашки знаходяться в інтервалі від – 10 до 47 °С, рухлива активність - від 6...8 до 40 °С. Встановлені суми ефективних температур для різних фаз розвитку клопа. На (рис. 5.18) наведено графік температурних умов популяції шкідливої черепашки [74,75].

Життєвий цикл шкідливої черепашки поділяється на два етапи: 1 – активний, який включає періоди прильоту клопів, які перезимували, відкладення яєць, розвиток личинок, живлення клопів нового покоління; 2 – пасивний, який включає періоди – відльоту, зимівлі і відновлювання. Період відльоту починається із масового відльоту черепашки на місяць зимівлі а закінчується під час стійкого переходу температури повітря через 10 °С в бік зниження температури.

Зимівля – це холодне оціпеніння клопів протікає при від'ємних температурах і закінчується прогріванням лісової підстилки до 6...7 °С. В третій період у перезимуваних жуків починаються відновлюватись обмінні процеси. Він продовжується до переходу температури повітря через 12... 15 °С у бік підвищення.

Терміни прильоту клопів на посіви зернових культур залежать від кількості «критичних» декад за зиму, висоти снігу в лютому – березні і ГТК місяця перед вильотом. Критичними вважаються декади з середньою температурою повітря нижча за -7 °С і висотою снігу не вище значень рівня декадної температури. Такі умови сприяють вимерзанню шкідника.

Після теплої, малосніжної зими (менше 3 критичних декад) і вологої весни з ГТК = 1,1 – 2,0 масовий виліт черепашки відбувається за стійкого переходу середньодобової температури повітря через 12...13 °С. За несприятливих умов перезимівлі і сухої або надмірно вологої весни (ГТК становить 0,7...1,0 або більше 2) масовий виліт черепашки відбувається при 13 ...14 °С.

Вплив температури повітря зберігається і в період розмноження. За середньодобової температури близької до 15 °С самка відкладає у 2...2,5 рази менше яєць, ніж за температури 23...25 °С. За теплої і сухої погоди (ГТК менший від 0,7) створюються сприятливі умови для потенційної плодючості і збереження яєць. В теплу, суху весну тривалість яйцекладки становить 20...25 днів, а кількість відкладених яєць становить не менше 65 – 70 % від загальної кількості. Це забезпечує високий коефіцієнт розпліднення шкідника та нарощування його чисельності.

Холодна, дощова погода під час льоту і розпліднення шкідника (ГТК більший за 1,0) сприяє значному зменшенню плодючості. Тривалість яйцекладки збільшується до 40...50 днів, а загальна кількість яєць не перевищує 20% від можливої кількості. В таких умовах спостерігається масова загибель перших кладок, а нове покоління формується здебільшого за рахунок яєць, відкладених у більш пізні терміни.

Сприятливі умови для розвитку личинок спостерігаються при температурі повітря за період відторгнення до окрилення вище 19,5 °С. Оптимальні умови складаються за температури повітря 20,5 °С. В таких умовах личинки розвиваються впродовж 35...40 днів і більша кількість особин встигає окрилитись до початку масового збирання хлібів. Несприятливі умов для шкідливої черепашки складаються за середньої температури періоду відторгнення – окрилення нижчої від 18,5 °С. В таких умовах до моменту збирання хлібів розвиток завершує не більше 30 – 40 % популяції, а серед зимуючих клопів переважають особини з поганим фізіологічним станом, що спричиняє велику загибель їх в перші місяці пасивного періоду життя [73, 74].

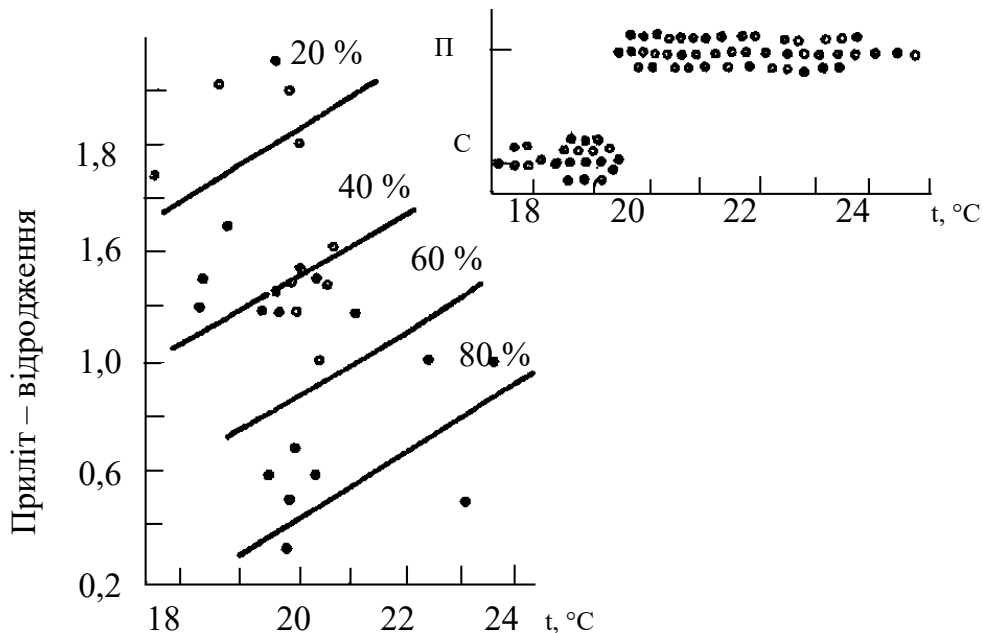


Рис. 5.18 – Залежність стану популяцій шкідливої черепашки від температурних умов періоду «відродження – окрилення». А – рівень чисельності; Б – кількість особин (%), окрилених до початку масового збирання зернових культур; П – підйом чисельності; С – спад.

Вимерзання зимуючих клопів у ґрунті на глибині 2...3 см відбувається за середньої температури нижчої від -7 °С і невеликому сніговому покриві.

Л.О.Макаровою і Г.М. Дороніною встановлене критичне співвідношення між середніми значеннями температури повітря і висотою снігу для шкідливої черепашки (рис. 5.19).

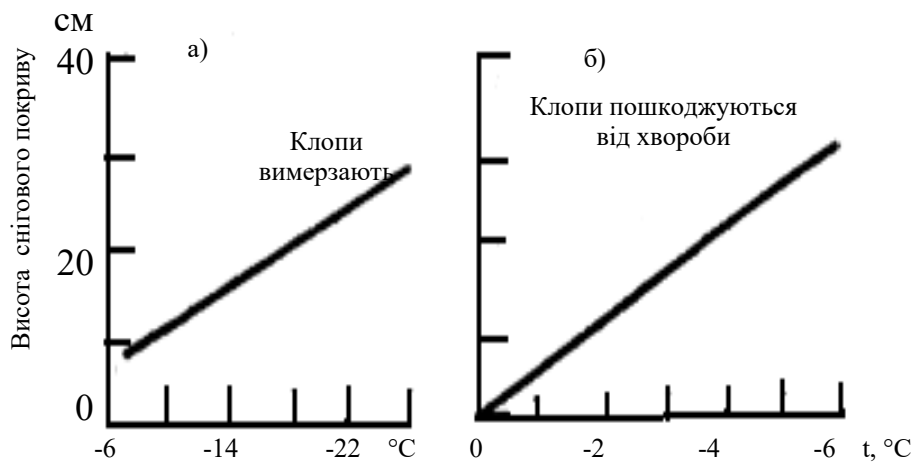


Рис. 5.19 – Критичне співвідношення між середніми декадними значеннями температури повітря і висотою снігу для шкідливої черепашки: А – вимерзання клопів; Б – загибель клопів від хвороб.

Крім того, Л.О.Макарова і Г.М. Дороніна виділили зони динаміки чисельності шкідливої черепашки (рис.5.20).

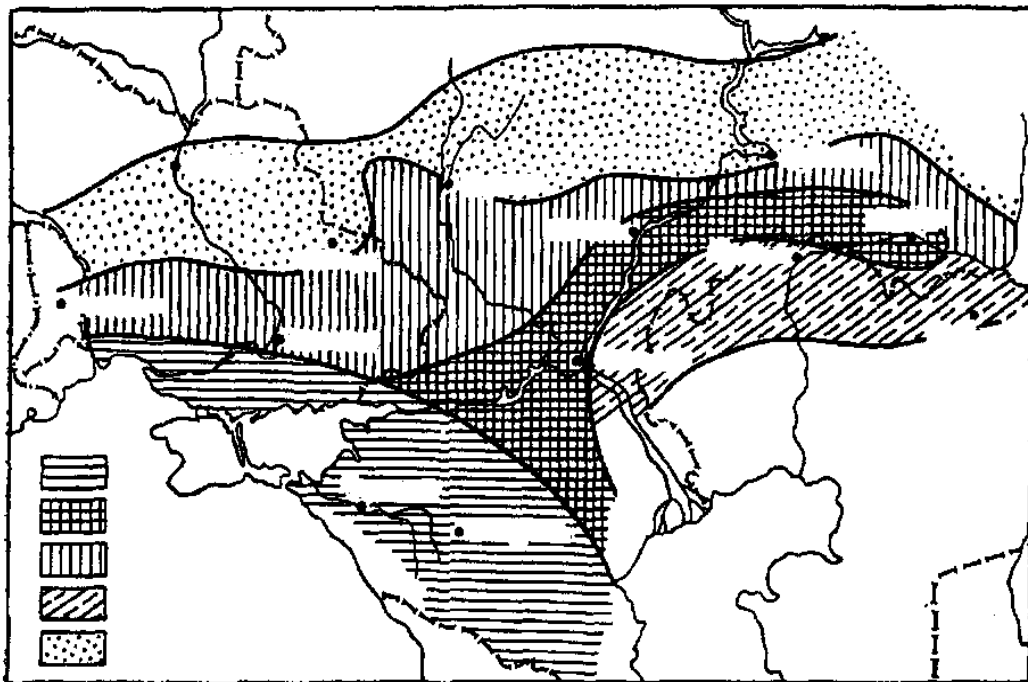


Рис. 5.20 – Зони динаміки чисельності шкідливої черепашки:

- 1- постійно висока чисельність; 2 – періодичне масове розповсюдження; 3 – часті зростання чисельності; 4 – періодичні зростання чисельності; 5 – нестійка чисельність.

**Луговий метелик.** *Луговий метелик* – багатоїдний шкідник овочевих, пропашних культур, багаторічних трав і пасовищної рослинності. Його чисельність різко змінюється як в окремі роки, так і за окремими генераціями. В залежності від клімату місцевості та погодних умов поточного року лучний метелик має від 1 до 4 поколінь і відрізняється неоднаковими темпами розвитку на різних полях.

Основний ареал його розповсюдження – степові та лісостепові райони. Він теплолюбний, гігрофільний і морозостійкий. Динаміка чисельності визначається плодючістю шкідника та погодними умовами періоду масового льоту метеликів.

І.Я. Поляковим, Г.М. Дороніною та Л.О. Макаровою [74, 75] в результаті багаторічних досліджень в різних регіонах встановлено, що характер його поведінки та розповсюдження залежить головним чином від стану кліматичних факторів. Вирішальне значення при цьому мають ті фактори середовища, які визначають рівень плодючості шкідника – умови тепло- і вологозабезпеченості. Поканики тепло- та вологозабезпеченості місцевості визначають характер розповсюдження метелика, швидкість його розвитку, інтенсивність вильоту метеликів, виживання потомства та ін. Вивчення впливу тепло – та вологозабезпеченості на розвиток лучного метелика дозволило отримати кількісні зв'язки стану популяцій метелика з показниками цих величин. Ці зв'язки дозволяють завчасно передбачати тенденцію зміни популяцій лучного метелика у наступному році або сезоні.

**Колорадський жук** відомий в багатьох країнах світу як шкідник картоплі та пасльонових культур. В Україні колорадський жук розповсюджений у всіх зонах і завдає значних збитків картоплеводам. За вегетаційний період дає 2 - 4 покоління. Особливо шкідливі дорослі жуки й личинки III і IV поколінь.

Зимує у фазі дорослого жука у ґрунті на глибині 10 - 50 см. Час виходу навесні дуже розтягнутий. Повний вихід збігається з установленням середньодобової температури близької 10 °С [76].

Період від виходу жуків з ґрунту до початку відкладання яєць (період зрілості) визначається з наведеного далі рівняння залежно від середньої за цей період температури повітря ( $t$ ) і строків виходу жука з ґрунту (різниця в годинах між максимальною тривалістю дня 21 червня та тривалістю дня на дату виходу жука з ґрунту ( $\Delta \tau$ )) :

$$y = 94,6 + 0,221 t^2 - 8,738 t + 4,15\Delta\tau, \quad S_y = \pm 3,4 \text{ дня} . \quad (5.47)$$

Швидкість розвитку яєць, личинок і лялечок колорадського жука визначається в основному температурою повітря. Найсприятливіша

температура для проходження цих фаз розвитку близько 20-26°C, при якій спостерігається найменша тривалість розвитку покоління – 29 днів.

Було встановлено [75], що залежність тривалості розвитку яєць, личинок та лялечок і в цілому всього весняного покоління характеризується рівнянням параболі другого порядку та може визначатись за даними табл. 5.42.

В.В.Вольвач запропонував екологічний коефіцієнт розмноження  $K$ , який відображає зв'язок чисельності колорадського жука з метеорологічними умовами,

$$K = \frac{\sum_{i=1}^b P_{\partial}(x_i)[100 - \mu_1(c_i)] \cdot [100 - \mu_2(z_i)]}{100}, \quad (5.48)$$

де  $P_{\partial}(x_i)$  – величина продуктивної плодючості (сума яєць на одну самку);  
 межі  $a$  та  $b$  – відповідно початок і кінець фази відкладання яєць;  
 $\mu_1$  – відсоток загибелі особин за період активної життєдіяльності ( $O_v - I_m$ );  $\mu_2$  – процент загибелі особин за період зимівлі;  
 $x_i, c_i, z_i$  – характеристики, що відображають вплив метеорологічних умов;  
 $\lambda$  – статевий індекс, який показує співвідношення статей у популяції.

$$P_{\partial}(x_i) = 4,87t + 15,7\tau - 4,771\tau^2 - 131,3, \quad (5.49)$$

Таблиця 5.42 – Рівняння зв'язку вигляду  $y=at^2-bt+c$  та його статистичні характеристики для основних фаз і періодів розвитку колорадського жука

Фази і періоди розвитку	Коефіцієнти рівнянь зв'язку			$R$	$\pm S_y$ , дні	Температура, °C
	$A$	$-b$	$C$			
Яйцекладка ( $O_v$ )	0,109	-4,92	61,4	0,80	1,9	12-26
Личинки ( $L_1-L_4$ )	0,135	-6,51	918	0,78	2,7	13-25
Лялечки ( $P$ )	0,188	-8,96	117,6	0,95	2,8	13-25
Від яйцекладки до:						
$L_2=(O_v - L_2)$	0,171	-7,68	95,3	0,80	2,4	13-25
$L_3=(O_v - L_3)$	0,204	-9,09	113,3	0,80	2,7	14-25
$L_4=(O_v - L_4)$	0,213	-9,77	126,6	0,80	3,1	14-25
$P_p=(O_v - P_p)$	0,470	-20,20	236,8	0,84	3,2	14-25
$I_m=(O_v - I_m)$	0,378	-18,54	253,7	0,92	4,0	14-25

$R$  – коефіцієнт множинної регресії.

де  $t$  – температура повітря за  $i$ -ту декаду; °С,  
 $\tau$  – тривалість дня на початок  $i$ -ї декади, год.

$$\mu_1 = 34,54 \ln Q + 20 \ln P - 141,0, \quad (5.50)$$

де  $Q$  – осереднена тривалість повної генерації, дні  
 $P$  – сума опадів за осереднений період ( $O_v - Y_m$ ), мм.

$$\mu_2 = 74 - 5,6 (t - 17,3), \quad (5.51)$$

де  $t$  – середня температура періоду додаткового живлення жуків, у межах від 14,0 до 20,5° С.

Значення  $K=1,0$  вказує на те, що чисельність шкідників не змінилась і залишилась на тому ж рівні. Значення  $K>0$  вказує на сприятливі умови для збільшення чисельності.  $K<0$  вказує на несприятливі умови, які зменшують чисельність жука. Встановлено, що в районах, де середнє багаторічне значення  $K=2,2\dots 2,8$ , необхідних хімічних обробок потребує близько 25% посівної площі картоплі.

Екологічний коефіцієнт розмноження розраховується за формулою (5.46). Плодючість жука обчислюється подекадно за період від масового відкладання яєць до дати переходу температури повітря через 12°С восени. Сумарна плідність буде декадною сумою відкладених яєць. Замість формули можна користуватися номограмою.

Індекс, що відображає відношення кількості самців  $m$  і самок  $f$  у популяції

$$\lambda = f / (m + f). \quad (5.52)$$

Згідно з літературними даними колорадському жуку відповідає співвідношення 1 : 1, тобто  $\lambda$  береться рівним 0,5.

Розрахувати тривалість періоду зрілості жуків, в залежності від показників окрім рівняння можна за табл. 5.43 – 5.45.

Таблиця 5.43 – Залежність тривалості періоду зрілості жуків, що перезимували (дні), від температури  $t_c$  та показника строку їх виходу  $\Delta\tau$

$\Delta\tau$	$t_c, ^\circ\text{C}$							
	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9



Кінець табл. 5.43								
0	18	15	13	11	10	9	8	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,2	19	16	14	12	11	10	9	8
0,4	20	17	15	13	12	11	10	9
0,6	21	18	16	14	12	11	11	10
0,8	22	19	17	15	13	12	12	11
1,0	23	20	17	16	14	13	12	12
1,2	23	21	18	16	15	14	13	13
1,4	24	21	19	17	16	15	14	14
1,6	25	22	20	18	17	16	15	15
1,8	26	23	21	19	18	17	16	15
2,0	27	24	22	20	18	17	17	16
2,2	28	25	22	21	19	18	17	17
2,4	29	26	23	21	20	19	18	18
2,6	30	27	24	22	21	20	19	19

Таблиця 5.44 – Тривалість розвитку колорадського жука (дні) залежно від температури повітря

Фаза та період розвитку	Температура, °C													
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Відкладання яєць $O_v$	18	16	14	12	11	9	8	7	7	6	6	6	6	6
Личинки $L_I - P_P$	-	30	27	25	22	20	18	17	16	15	14	13	13	13
Лялечки $P$	-	33	29	25	22	20	28	16	14	12	11	11	10	11
Від відкладання яєць до:														
$L_{II}(O_v - L_{II})$	-	25	21	19	16	14	12	11	10	10	9	9	10	10
$L_{III}(O_v - L_{III})$	-	-	26	23	20	18	16	14	13	12	12	12	12	13
$L_{IV}(O_v - L_{IV})$	-	-	33	28	25	22	20	18	17	16	15	15	14	15
$P_P(O_v - P_P)$	-	-	41	36	32	28	25	23	21	20	18	18	18	18
$I_m(O_v - I_m)$	-	-	69	60	53	48	44	40	36	33	31	30	29	29

Таблиця 5.45– Залежність тривалості періоду зрілості жуків літньої генерації (дні) від температури  $t_c$  і тривалості дня  $\tau$

$\tau$ , год	$t_c$ °C								
	17	18	19	20	21	22	23	24	25
14,2	19	19	18	18	17	17	17	16	15
14,5	18	18	17	17	16	16	15	15	14
14,8	17	16	16	15	15	14	14	13	13
15,2	15	15	14	14	13	13	13	12	12
15,5	14	14	13	13	12	12	11	11	10
15,8	13	12	12	11	11	10	10	9	9
16,2	12	11	11	10	10	9	9	8	8
16,5	10	10	9	9	8	8	7	7	6
16,8	9	8	8	8	7	7	6	6	6

Окрім шкідників впродовж вегетаційного періоду сільськогосподарські рослини пошкоджуються *хворобами*. В посушливих регіонах втрати урожаю зернових пов'язані з розвитком таких хвороб: іржа, пилова і пухирчата головня, коренева гниль і ін. В районах з помірним кліматом з великою кількістю орпадів переважають хвороби: фузаріози, снігова пліснява, мучниста роса і ін.

За даними Л.О. Макарової, І.І Мінкевича [73], основними факторами навколишнього середовища, які визначають появу та розповсюдження хвороб є тепло- і вологозабезпеченість середовища. Ці фактори діють у сукупності., і зміна одного з них сприяє зміні реакції патогена на рівень іншого. Інші фактори (світло, вітер, атмосферний тиск і ін.) у більшості випадків тільки вносять корективи до дії основних факторів і тільки в деяких випадках у певно визначений час розвитку патогена можуть відігравати самостійну роль .

*Тепло.* Одним із основних факторів появи і розповсюдження хвороб є температура повітря.

Вплив температури повітря на агресивність грибів особливо проявляється у момент зараження рослин, тобто в момент проростання спор. Проростання спор паразитичних грибів можливе при температурі від 0 до 5 і від 30 до 35 °C. Окремі види паразитичних грибів мають цілком визначені межі температури. Так, нижня межа проростання спор іржі становить 1...2 °C, грибів, які спричиняють гниття коріння пшениці, пирикуляріоз рису, фітофтороз картолі – відповідно 5...6 °C, 6 °C і близько 8 °C. Оптимальна температура для проростання спор кожного виду захворювання також різна для різних захворювань (табл. 5.46).

Температура середовища регулює швидкість і час проростання спор, а також впливає на швидкість розвитку захворювання та на здатність рослин до сприйняття його.

З підвищенням температури посилюється стійкість хлібних злаків до жовтої іржі. Слід зазначити, що бурою іржею пошкоджуються ті рослини, які зазнали дії знижених температур. Навпаки, стійкість пшениці до зараження лінійною іржею збільшується при зниженні температур до 15 °С і нижче і зменшується при підвищенні температури до 20...22 °С.

Ступінь розвитку хвороби залежить від того, в якій фазі розвитку знаходяться сільськогосподарські культури. Якщо зараження співпадає з фазою розвитку, сприятливою для поширення хвороби, то рослини пошкоджуються значно швидше.

Температурні умови навколишнього середовища визначають родючість патогена – кількість інфекційного початку і тривалість його дії.

У більшості видів грибів спороутворення буває можливим тільки при визначеній вологості навколишнього середовища або за присутності крапельної вологи і високої відносної вологості повітря.

*Волога.* На всіх етапах на розвиток грибів впливає вологість навколишнього середовища. В цілому вміст вологи у навколишньому середовищі визначає збереження життєздатності патогенів.

Зволоження середовища впливає на темпи розвитку мікроорганізмів і заражених ними рослин і цим самим регулює тривалість сумісності їх критичних періодів.

Таблиця 5.46– Температурні показники розвитку деяких збудників захворювання рослин

Стадія розвитку збудника хвороби	Температура, °С		
	нижня межа	оптимум	верхня межа
1	2	3	4
<i>Лінійна іржа пшениці</i>			
Проростання спор	2	21...23	26...31
Зараження рослин	10	23...25	30
Розвиток в тканинах рослин	2	20	-
<i>Бура іржа пшениці</i>			
Проростання спор	2	20	32
Розвиток в тканинах рослин	2	25	35
<i>Жовта іржа пшениці</i>			
Проростання спор	1	9...13	23
Зараження рослин	5	15...20	26

Кінець табл. 5.45

1	2	3	4
Розвиток в тканинах рослин	3	12...15	20
<i>Гельмінтоспорозна коренева гниль пшениці</i>			
Проростання спор	6	22...28	36
Розвиток в тканинах рослин	8-9	18...25	26
Спороносіння	5	22...26	20
<i>Пилова головня пшениці</i>			
Проростання спор	4-5	22...30	-
Розвиток спор	5	16...18	25...30
<i>Фузаріоз колосу пшениці</i>			
Розвиток спор	7...10	25...30	37...38
Спороносіння	Менше 10	24...26	до 40
<i>Мільдю винограду</i>			
Проростання спор	-	10...16	-
Розвиток в тканинах рослин	8	25	33
<i>Фітофтороз картоплі</i>			
Проростання спор	6...8	10...15	20
Утворення росткових трубочок	4	25	30

Вирішальне значення вологість має лише впродовж порівняно короткого періоду – від початку проростання спор до проникнення патогена в рослину. Для більшості фітопатогенних грибів зараження рослин стає можливим лише за високої вологості середовища їх мешкання.

В умовах недостатньої вологозабезпеченості зараження рослин і накопичення інфекції або зовсім припиняється, або відбувається дуже повільно. При цьому важливе не тільки зволоження повітря, а і зволоження ґрунту.

Для більшості грибів рясне зрошення ґрунту шкідливе, через те що це пов'язано з погіршенням аерації ґрунту, інтенсивним розвитком грибів – антагоністів та прискореним проходженням критичного для зараження періоду розвитку рослини – господаря. Тому для розвитку пилової та твердої головної вівса, пшениці, кукурудзи, сорго необхідна вологість ґрунту 30 %. При 60 % вологості проростання спор уповільнюється, а при 80 % - припиняється.

Проростання спор деяких грибів майже не залежить від вологості середовища. До таких грибів відносяться спори мукоросяних.

В засушливих районах з відносною вологістю нижчою ніж 50 % проростання конідій і зараження рослин відбувається в нічні часи, коли вологість повітря зростає до 75 – 80 % впродовж 4 – 7 годин.

Таким чином, для зараження рослин і розвитку хвороби необхідною умовою є підвищена вологозабезпеченість середовища. При цьому важливо також, щоб волога знаходилась на рослинах якомога довше у крапельному стані.

Після зараження рослини і проникнення патогена в її тканини вологість на розвиток хвороби не впливає. Знову зростає важливість зволоження на час закінчення інкубаційного періоду, який закінчується спороношенням. Утворення спор у більшості грибів відбувається тільки в умовах високої вологості, особливо це стосується переносноспоривих грибів.

Значення фактора вологості на розвиток хвороб визначається температурними умовами навколишнього середовища. При високій температурі велика кількість заражених рослин спостерігається в умовах підвищеної вологості.

Вплив на розвиток хвороб інших факторів середовища визначається тільки на окремих етапах розвитку. Серед інших факторів важливе значення мають світло та вітер [73].

*Світло.* Світло впливає на інфекційний процес ще до початку зараження рослин. За реакцією на світловий фактор відзначаються дві фази: перша – проростання спор, протікає незалежно від умов освітленості; друга – після проростання спор відбувається тільки при підвищеній освітленості. Також впливає на проходження другої фази інтенсивність освітлення і його тривалість.

Оскільки більшість грибів живе за рахунок продуктів фотосинтезу, то наявність світла для них обов'язкова. Найбільше пошкоджуються тканини і органи рослин з підвищеною енергією фотосинтезу.

*Вітер.* Вітер сприяє розповсюдженню захворювань шляхом переносу спор. Вміст спор у повітрі та їх розсіювання мають чітко виражений сезонний і денний хід. Найбільша кількість спор відзначається влітку і восени.

*Пилова головня.* Волога і тепла погода в період цвітіння ярої пшениці і ячменю сприяє зараженню рослин і проникненню гриба пилової головні в зерно. Шкідливість пилової головні збільшується при просуванні на схід. Прохолодна з підвищеною вологістю погода весни і початку літа сприяє зараженню ярих посівів. Найбільше зараження відзначається при сумі опадів за період від дати початку колосіння від 30 до 90 мм.

*Снігова пліснява.* Пошкодження посівів спостерігається скрізь, де зернові висіваються восени. Ця хвороба найбільше поширюється в роки з раннім настанням зими, з високим сніговим покривом і великою тривалістю його залягання та розтягнутим періодом танення снігу навесні.

В Україні за інтенсивністю пошкодження озимих посівів сніговою пліснявою та частотою появи виділено два райони: 1 – райони слабкої прояви – південні райони України, де хвороба проявляється і розвивається рідко (1-2 рази в 10 років);

2 – райони помірної прояви. В цих районах (лісова і лісотепова зони) рослини можуть пошкоджуватись щорічно але слабкою мірою.

*Коренева гниль.* Захворювання рослин проявляється у вигляді побуріння коріння підземного міжвузля, вузла кушіння у озимої та ярої пшениці. Гриб кореневої гнилі сприяє загибелі сходів, щуплості колосу, відставанню в рості рослин. Проява кореневої гнилі визначається умовами накопичення в ґрунті спор в умовах тривалого післязбирального періоду з температурами вище 10 °С і зволоженням орного шару ґрунту вище 15 мм. Температурні умови навколишнього середовища визначають родючість патогена – кількість інфекційного початку і тривалість його дії.

Для оцінки можливості виникнення кореневої гнилі запропоновані характеристики зон шкідливості на основі відношення запасів продуктивної вологи в орному шарі в період «сходи – кушіння» до запасів вологи метрового шару в період «цвітіння – молочна стиглість» (табл.5.47).

У більшості видів грибів спороутворення буває можливим тільки при визначеній вологості навколишнього середовища або за присутності крапельної вологи і високої відносної вологості повітря.

*Фітофтороз.* Це найбільш поширена хвороба культур із сімейства пасльонових (картоплі, томатів, баклажанів, перцю і ін.). Фітофтороз розвивається при температурі від 10 °С до 30 °С і відносній вологості більшій за 70 %.

Таблиця 5.47 – Середні багаторічні характеристики шкідливості кореневої гнилі ярої пшениці

Середні багаторічні запаси вологи, мм	Кількість років із запасами вологи меншими ніж		Показник динаміки вологи	Імовірність сильної шкідливості хвороби
	60 мм	40 мм		
Більше 80	2...3	0...5	Менше 0,4	20...30
60...80	4...5	1...2	0,4...0,5	40...50
40... 60	6...7	3...5	0,5...0,6	60...80
20...40	8...9	6...7	Більше 0,6	90...100

Оптимальними умовами для його розвитку є температури 10...25 °С і відносна вологість 95...100 %. Появі фітофторозу сприяє хмарна з невеликими опадами погода в сполученні з високою температурою повітря.

## Контрольні запитання

1. Які умови навколишнього середовища сприятливі для розвитку шкідників?
2. Які шкідники пошкоджують зернові культури і які п-пропашні?
3. Ареал розповсюдження шкідливої черепашки.
4. Від чого залежить кількість шкідника за вегетаційний період?
5. За яких умов взимку шкідники гинуть?
6. Які межі температурного оптимуму для лучного метелика?
7. Скільки генерацій колорадського жука буває за вегетаційний період?
8. Як розрахувати плодючість самки лугового метелика?
9. Як визначається індекс співвідношення кількості самців та самок колорадського жука?
10. Як розраховується загибель колорадського жука?
11. Які види хвороб мають найбільше розповсюдження?
12. Як впливають фактори навколишнього середовища на розвиток хвороб рослин?
13. Які умови сприяють появі хвороб?
14. Який температурний оптимум для розвитку хвороб?
15. Як впливає вологість повітря на розповсюдження хвороб?
16. Які рослини пошкоджує коренева гниль, та які умови її розвитку?

## 5.3 Ерозія ґрунтів

### 5.3.1 Вітрова ерозія

Руйнування ґрунту під дією вітру носить назву *вітрової ерозії - дефляції* – пилових або чорних бур. Саме розмаїття назв свідчить про грізність стихійних сил природи.

Пилова буря взимку та навесні 1969 р. охопила степову і лісостепову зони України, увесь Північний Кавказ, Центрально-Чорноземний район Росії. Сотні мільйонів тонн чорноземного ґрунту було піднято в повітря, перенесено на великі відстані. Чорноземний пил випав грязьовими дощами в Скандинавії, Західній Європі, Великій Британії. Сила вітру досягала 43 – 50 м/с. Вітер виривав з корінням дерева, перевертав і котив по полю машини, автобуси. Хмари пилу закрили небо, і було темно. В зоні інтенсивної дії чорної бурі ґрунт було видуто на 5 – 15 см. Посіви озимих на мільйонах гектарів загинули від видування, були занесені дрібноземом. Лісосмуги, вкрившись пилом, перетворились на земляні вали висотою 3 – 3.5 м. У населених пунктах наноси досягли дахів будинків. Пил

пробивався всередину будівель, квартир, шугав у повітрі, покриваючи все на своєму шляху; робив неможливими навіть хірургічні операції [ 77,79].

Подібні грізні бурі — явище не часте, спостерігати їх можна один раз у 10 – 20 років і пов'язані вони з періодами найвищої активності випромінювання Сонця. Менш сильні пилові бурі спостерігаються в степовій зоні один раз на 3 – 4 роки.

Поряд з інтенсивною вітровою ерозією проявляється і нормальна, або місцева, вітрова ерозія. Місцева вітрова ерозія діє повільно; вона не призводить до значних руйнувань, а втрати від неї компенсуються процесом ґрунтоутворення.

Інтенсивної вітрової ерозії насамперед зазнають рівнинні території, не захищені полезахисними лісосмугами, ґрунтозахисною агротехнікою, а також вітроударні схили. Найбільше ґрунту видувається на полях, не захищених рослинністю та її відмерлими рештками, а також зайнятих зябом чи погано розкущеними озимими. Влітку вітрова ерозія може проявлятися на парових полях.

Небезпека від вітрової ерозії буває не лише для ґрунту, а й для посівів. Особливо часто пошкоджуються вразливі весняні сходи буряків, соняшнику, кукурудзи. Вдаряючись з великою силою об поверхню рослин, піщинки пошкоджують їх. Під час пилових бур відносна вологість повітря падає до 10 – 20 %. Рослини висихають, втрачають тургор, в'януть і повністю гинуть. З цієї причини в окремі роки цукрові буряки пересівають на сотнях тисяч гектарів.

Посіви пошкоджуються і гинуть також внаслідок здування ґрунту та оголення вузлів кущення та корневих систем. Нерідко рослина, що погано вкорінилась, видувається разом з ґрунтом. Найнезахищенішими від видування та пошкоджень є посіви на наовітряних вітроударних схилах і вузьких вододілах [78 – 80].

Там, де сила вітру послаблюється, відбувається відкладання видутого ґрунту. Такими місцями можуть бути окремі ділянки полів з добре розвинутим шатром озимих культур, багаторічних трав; завітряні схили, береги улоговин, балок, ярів та рік. Засипання посівів призводить до зниження врожаю та його загибелі. Бувають випадки, особливо в південних степах, коли видутий дрібнозем відкладається у вигляді шлейфів на дорогах і галявинах лісових насаджень. Найчастіше інтенсивна вітрова ерозія спостерігається у квітні – на початку травня. Але в окремі роки вона буває і взимку, якщо мають місце сильні вітри та накопичились недостатні запаси вологи в ґрунті. Наприклад, у 1960, 1969, та у 2012 сильні пилові бурі були в січні-лютому. Разом зі снігом з незахищеного зябу здувалась значна кількість ґрунту.

Багаторазові прояви вітрової ерозії знижують родючість ґрунтів, а при їх легкому гранулометричному складі призводять до повного знесення



родючого шару та утворення малопродуктивних сильно еродованих земель.

Руйнування ґрунту вітром являє собою фізичний процес, що відбувається при взаємодії повітряною потоку з поверхнею ґрунту. Інтенсивність цього процесу залежить від швидкості вітру та стану поверхні ґрунту.

На висоті 0.2 – 0.4 м від поверхні ґрунту (штилевий шар) швидкість потоку повітря практично дорівнює нулю. Зі збільшенням висоти вона стрімко зростає.

Швидкість вітру, за якої починається рух ерозійно небезпечних фракцій ґрунту, називається *критичною* або *пороговою*. Для ґрунтів важкого гранулометричного складу характерні більш високі порогові швидкості вітру, табл. 5.48.

Таблиця 5.48 – Критична швидкість вітру для ґрунтів лісостепової і степової зон України

Ґрунт	Критична швидкість вітру, м/с	
	в аеродинамічній трубі, $M \pm m$	на висоті 10 м у вільній атмосфері
Чорнозем типовий середньо суглинковий	7.9±0.15	14.9
Чорнозем звичайний карбонатний легкоглинистий	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 легкоглинистий	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 важкоглинистий	5.0	9.4
Солонець кірковий важко глинистий	4.6	8.7
Боловий дрібний пісок	3.5	6.6

Ступінь дії повітряного потоку на частки ґрунту визначається їх розміром масою. Мікроагрегати та елементарні ґрунтові частинки 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 частинок, найбільш агресивних в ерозійному відношенні (розмір від 0.1 до 0.5 мм).

Оскільки повітря біля поверхні частинки обертається разом з нею, вище частинки виникає парціальний вакуум, а під ним повітря стискується. Обидві ці зміни тиску намагаються підняти частинку, що підстрибує у повітря майже вертикально, але інерція горизонтального руху примушує її підніматися під кутом 75 – 90°. Частинки піднімаються на висоту 15 – 30 см, а інколи на 60 і навіть 90 см. З підняттям у повітря обертання навколо осі сповільнюється, і частинка надходить у шари зі значно більшою швидкістю вітру. Втративши таким чином вертикальний імпульс, частинка 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 частинок й агрегатів, яка зумовлює руйнування ґрунту, засікання, видування, засипання та загибель рослин, а також загибель комах, птахів і дрібних диких тварин.

О. І. Бараєв, Є. Ф. Госсен [77] вважають вітрову ерозію лавиноподібним активним процесом, що має велику руйнівну силу. Якщо пилоповітряний потік з поля, яке зазнає ерозії, перекидається на сусідні поля, вони теж починають еродувати під дією часток ґрунту, що містяться в повітряному потоці. Лише пізнавши сутність походження, механізм дії і принципи, що породжують вітрову ерозію, можна успішно вести боротьбу з нею.

М. К. Шикуча встановив, що порогова швидкість вітру, при якій починається пилова буря, залежить від виду ґрунту, його структурності, гумусованості, гранулометричного складу, а також від пори року. Для конкретного ґрунту порогова швидкість вітру залежить від дефіциту насичення повітря [82]. Для Донбасу вона виражається рівнянням регресії

$$V_{кр} = 21,2 - 0,45 D, \quad (5.53)$$

де  $V_{кр}$  – критична швидкість вітру, м/с;

$D$  – дефіцит насичення вологою повітря, гПа ( $16 \sim 10^5$  Па);

0,45 – коефіцієнт регресії;

21,2 – безрозмірна величина, яка визначена при розрахунках.

Між порогом швидкості вітру і дефіцитом насичення повітря існує зворотний зв'язок з коефіцієнтом кореляції  $r$ , який дорівнює  $-0,95$ . Можна визначити, за якої швидкості вітру починається пилова буря, через дефіцит насичення, що важливо для прогнозування пилових бур

$$\ddot{A} = \frac{21,2 - V_{\text{ед}}}{0,45}, \quad (5.54)$$

Як видно, при дефіциті насичення вологою повітря  $D = 0$  критична швидкість вітру дорівнює 21,2 м/с. При  $D = 5$  гПа  $V_{\text{кр}} = 18,9$  м/с; при  $D = 15$  гПа  $V_{\text{кр}} = 14,3$  м/с; при  $D = 25$  гПа  $V_{\text{кр}} = 9,7$  м/с; при  $D = 35$  гПа  $V_{\text{кр}} = 5,1$  м/с.

До чинників, що визначають розвиток дефляції ґрунтів, відносять: погоду і клімат, рельєф місцевості, властивості ґрунтів, характер рослинного покриву та господарську діяльність людини. Потенційну небезпеку прояву дефляції ґрунтів визначають за рівнянням

$$\text{ПНД} = f(K \cdot \Gamma \cdot P \cdot \Gamma p \cdot D), \quad (5.55)$$

де  $K$  – кліматичні умови;

$\Gamma$  – вплив протидефляційних властивостей ґрунтів;

$P$  – вплив елементів рельєфу;

$\Gamma p$  – ґрунтозахисна роль рослинності;

$D$  – вплив господарської діяльності людини.

Між цими чинниками існує тісний зв'язок. Але щоб відповідними заходами подолати чи зменшити несприятливий вплив тих природних чинників, що створюють найбільшу небезпеку виникнення і розвитку дефляції, слід добре розуміти роль кожного з них.

К. С. Кальянов поділяє чинники дефляції на дві групи: фізико-географічні та соціально-економічні. Обидві ці групи слід урахувати при розробці системи протидефляційних заходів і сільськогосподарському освоєнні нових територій (рис. 5.22) [81].



Рис. 5.22 - Основні чинники розвитку дефляції ґрунтів (за С.К. Кальяновим)

Найважливішим чинником дефляції ґрунтів є вітровий режим, який характеризується швидкістю, напрямком та повторюваністю вітрів. Вітер являє собою переміщення повітряних мас у горизонтальному напрямку, що обумовлено нерівномірним розподілом атмосферного тиску над поверхнею землі. Потoki повітря рухаються із областей відносно високого тиску до областей відносно низького тиску. Швидкість повітряного потоку прямо пропорційна різниці цих тисків.

Швидкість вітру вимірюють у метрах за секунду, кілометрах за секунду або у балах за шкалою Бофорта, табл. 5.49.

Вітри з сильними коливаннями швидкості (20 м/с і більше) називають *поривистими*, або *шквальними*. Вітер вважається *помірним*, якщо його швидкість становить 5—8 м/с, *сильним* — понад 14, *штормовим* — понад 20-25, *буревійним* — понад 30 м/с.

Особливо велику роль у розвитку процесів дефляції відіграє швидкість вітру біля поверхні землі. Саме вона зумовлює руйнування, переміщення і підняття в повітря частинок ґрунту. Мінімальна (критична) швидкість вітру на висоті 10 – 15 см, необхідна для відриву і переміщення частинок ґрунту, залежить від багатьох чинників і коливається від 3 до 9 м/с, залежно від типу ґрунту, вологості, стану поверхні поля [77, 81, 82].

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. 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 зумовлено раннім сніготаненням, інтенсивним підвищенням температури, відсутністю суцільного трав'яного покриву.

Влітку сильні шквалисті вітри тривалістю від 2 до 10 - 12 год 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. У степовій зоні України найбільш дефляційно небезпечні вітри дмуть в східному та південно-східному напрямках.

На прояв дефляції ґрунтів істотно впливає режим випадання опадів. Звичайно, опади знижують дефляцію. Зволоження ґрунту підсилює зчеплення між собою його частинок і розвиток рослин, які своїми кореневими системами скріплюють ґрунт, захищаючи його від видування. Але зливові опади на сухий ґрунт, не вкритий рослинністю, а також поперемінне зволоження та висушування створюють умови для розвитку дефляції.

У відповідності із зволоженням території змінюється інтенсивність процесів дефляції. За даними М.І. Долгілевича, в природних зонах України кількість днів з пиловими бурями закономірно зростає з півночі на південь (рис. 5.22), а кількість атмосферних опадів в цьому ж напрямку зменшується від 700 – 750 мм на півночі до 300 – 350 мм на півдні.

Температура і вологість повітря посередньо впливають на дефляцію. Висока температура і низька вологість повітря у весняно-літній період зумовлюють інтенсивне випаровування вологи із поверхні ґрунту, що підсилює процеси дефляції. У періоди ранньої весни і пізньої осені чергування плюсових і мінусових температур протягом доби супроводжується почерговим промерзанням і відтаненням ґрунту, що призводить до зниження його протидефляційної стійкості.

Крупні геоморфологічні структури (широкі депресії чи їх поєднання з невеликими орографічними перешкодами на шляху вітру), в яких при певному напрямку вітру постійно спостерігається зростання його

швидкості, що супроводжується руйнуванням ґрунту, були названі Є.І. Рябовим *вітровими коридорами*.

Таблиця 5.49 – Шкала Бофорда

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 вбік. 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 хвильками
6-8	4	Помірний	Колихається сухе гілля дерев
9-10	5	Свіжий	Колихаються стовбури невеликих дерев. Свистить у вухах
11-13	6	Сильний	Вітер колихає дерева. Гудуть телефонні дроти. На гребенях хвиль з'являються баранці
14-17	7	Різкий	Колихаються стовбури великих дерев. На воді з'являються пінисті 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	Буревій	Вітер спричинює катастрофічні руйнування, руйнує будинки, перекидає кам'яні стіни

На території України найбільші вітрові коридори розташовані в районах Донецького кряжу та Причорноморської низовини. У вітрових коридорах швидкість вітру зростає в 1,5 – 2,5 раза у порівнянні з оточуючими їх рівнинними територіями, а при пилових бурях досягає 40 – 60 м/с.

Вплив *мезорельєфу* на процеси дефляції залежить від розмірів та форми його елементів. Насамперед дефляції зазнають вітроударні опуклі схили, на яких підсилюється вплив повітряного потоку на поверхню ґрунту, на завітряних увігнутих схилах та в зниженнях швидкість вітру зменшується і відбувається акумуляція дрібнозему, видутого з підвищених елементів рельєфу.

Саме це і є причина того, що порядок розподілу дефляційних ґрунтів на схилі принципово відрізняється від розміщення на схилі ґрунтів різного ступеня змиття: збільшення ступеня змиття ґрунту відмічається вниз по схилу, а ступеня дефляції — при русі вгору вздовж навітряного схилу.

*Ґрунтові умови.* Райони з вітровою ерозією мають поширення на різних типах ґрунтів. Виникнення та розвиток дефляції істотно залежить від фізичних властивостей ґрунтів, насамперед їх гранулометричного складу і структури. В природному стані найбільше зазнають дефляції ґрунти легкого гранулометричного складу, які містять багато частинок розміром 0.1 – 0.5 мм і мало дрібнозему, здатного зв'язувати частинки в мікроагрегати і макроагрегати.

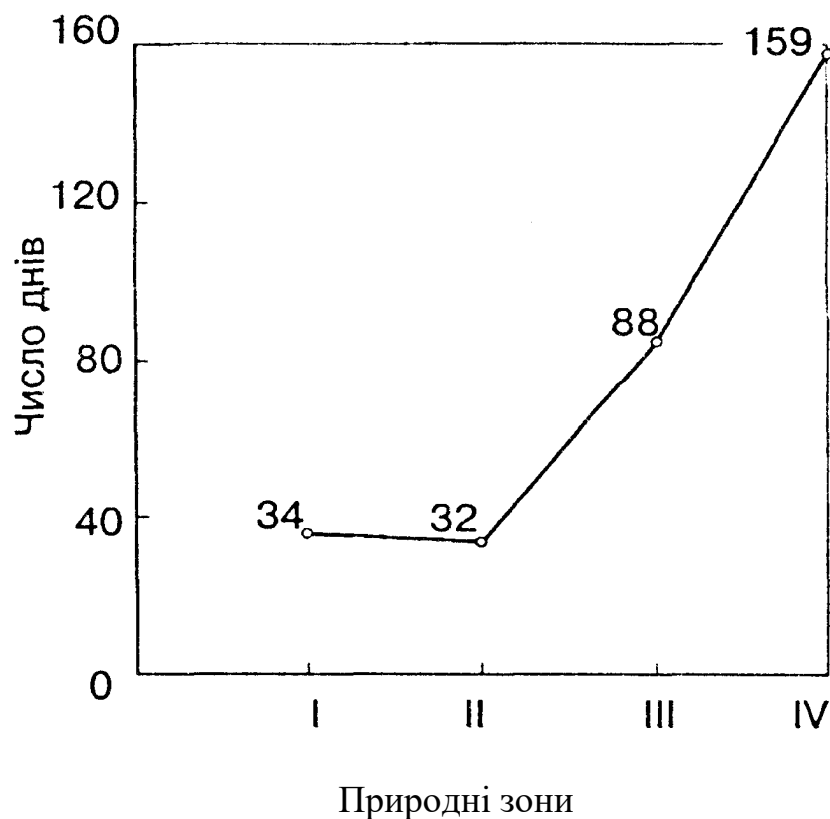


Рис. 5.23 — Кількість днів з пиловими бурями в природних зонах України (за М. І. Долгілевичем): I — Полісся; II — Лісостеп; III — Степ; IV — Сухий Степ

Важкі ґрунти теж легко дефляціюють. Вони містять багато глинистих частинок, здатних утворювати агрегати з високою механічною стійкістю.

Однак внаслідок свого генезису важкі ґрунти характеризуються дрібногрудочкуватозернистою структурою, яка хоча і є агрономічно цінною, проте має низьку протидефляційну стійкість.

Для оцінки здатності агрегатів ґрунтів зв'язуватися за їх гранулометричним складом Є.І. Шиятий та О.Б. Лавровський [80, 81] розробили емпіричну залежність:

$$S_t = 34,7 + 0,9x_1 + 0,3x_2 + -0,4x_3, \quad (5.56)$$

де  $S_t$  — показник здатності ґрунту до зв'язування, %;

$x_1$  — вміст мулу, %;

$x_2$  — вміст дрібнозернистого піску (0,05—0,25 мм), %;

$x_3$  — вміст грубозернистого піску (сума механічних елементів розміром від 0,25 до 3 мм), %.

У відповідності з цією залежністю всі ґрунти за їх вразливістю до вітрової ерозії поділені на шість груп (табл. 5.50).

За спостереженнями О.Є. Дяченка, А.Г. Гаель, Л.Ф. Смирнової, П.С. Захарова та інших дослідників, дефляція на різних за гранулометричним складом ґрунтах починається при такій швидкості вітру, м/с: піщаний — менше 3; супіщаний — 3-4; легкосуглинковий — 4-5; важкосуглинковий — 5-7; глинистий — 7-9 [79].

Таблиця 5.50 – Потенціал небезпеки дефляції (за Є.І.Шиятим)

Група	Показник зв'язності грудочок ґрунту, %	Різновидності гранулометричного складу, що входять до групи
I	Понад 65	Глини важкі, середні та частина легких
II	55-65	Глини легкі, суглинки важкі та середні
III	45-55	Суглинки важкі, середні і частина легких
IV	30-45	глин
V	15-30	Суглинки важкі, середні та легкі
VI	Менше 15	Суглинки середні, легкі та супіски Супіски, піски

Стійкість ґрунтів до вітрової ерозії значною мірою залежить від їх структурного складу. Дуже піддаються дефляції розпорошені та безструктурні ґрунти, Ступінь вразливості поверхні ґрунту до вітрової ерозії визначається співвідношенням великих і дрібних структурних окремоностей. Дослідження Е. Ф. Госсена показали, що стійкість до вітрової ерозії різко зростає у ґрунтових агрегатів розміром понад 1 мм .



Тому агрегати, дрібніші за 1 мм, було названо *дефляційно небезпечними*, а розміром понад 1 мм — *ерозійно стійкими*. Добра оструктуреність ґрунту є непоганим захистом від видування дефляційно небезпечних частинок і агрегатів.

Якщо в шарі ґрунту 0—5 см міститься більше 60 % агрегатів розміром понад 1 мм, то поверхня цього ґрунту є дефляційно стійкою. При вмісті таких агрегатів 50 % поверхня ґрунту вважається помірно стійкою до дефляції, оскільки при сильних вітрах (понад 17—20 м/с) з неї відчужується до 4—6 т/га ґрунту.

О. Б. Лавровський розробив методику визначення вразливості ґрунтів до дефляції. В її основу покладено показник схильності до руйнування вітростійких агрегатів, який інтегрує найважливіші властивості ґрунту — гранулометричний склад, вміст гумусу та карбонатів кальцію, табл. 5.50.

Основними критеріями протидефляційної стійкості органогенних ґрунтів є ступінь розкладу торфу, глибина шару, його ботанічний склад.

Таблиця 5.51 – Порогова швидкість вітру для агрегатів різного розміру чорнозему південного карбонатного легкосуглинкового

Розмір агрегатів, мм	Швидкість потоку повітря, м/с	Вологість агрегатів, %
Менше 0.25	3.8	6.1
0.25-0.5	5.3	7.4
0.5-1	6.6	7.6
1-2	11.2	6.5
2-3	12.1	7.0
3-5	17.6	6.8

До *слабодефляційно небезпечних* належать торф'яно-болотні ґрунти на середньоглибоких (1 - 2 м) і глибоких (понад 2 м) слаборозкладених (до 30 %) дерев'янистих, очеретяно-дерев'янистих та осоково-дерев'янистих торфах.

До *середньодефляційно небезпечних* належать торф'яно-болотні ґрунти на середньоглибоких та глибоких середньо розкладених (30 – 50 %) дерев'янисто-очеретяних, осоково-очеретяних, осоково-мохових та мохових торфах; торф'яно-болотні ґрунти на неглибоких (0,5 – 1 м) слабо- та середньо розкладених дерев'янистих, очеретяно-дерев'янистих та осоково-дерев'янистих торфах.

*Сильнодефляційно небезпечними* є торф'яно-болотні ґрунти на неглибоких сильно розкладених мохових і осокових торфах; торф'яно-глейові ґрунти (глибина торфу 30 – 50 см); торф'яно-глейові ґрунти (глибина торфу менша за 30 см).

Якщо поверхня ґрунту оголена і пересохла, то ґрунтові частинки і агрегати, менші від 1 мм, можуть легко пересуватися під впливом потоків вітру. Такі умови створюються при знищенні рослинності, а також внаслідок неправильної агротехніки на орних землях та нерегульованого випасання худоби на пасовищах.

Добре розвинений покрив природної чи культурної рослинності зменшує швидкість вітру в приземному шарі, а також втрати вологи через випаровування, захищає ґрунт від турбулентного тертя потоків повітря. Навіть піщані ґрунти, вкриті густою трав'янистою, а тим більше чагарниковою рослинністю, не зазнають дефляції.

Найкраще захищають ґрунт від дефляції багаторічні трави, озимі та зимуючі культури у фазі кущіння; значно слабше протистоять вітровій ерозії ранні ярі, а зовсім слабо — пізні ярі культури. При вирощуванні сільськогосподарських культур поверхня ґрунту періодично залишається оголеною і легко піддається дефляції.

За даними О.Б. Лавровського, при існуючих сівозмінах і технологіях вирощування культур проективне покриття ґрунту в небезпечні періоди (для дефляції) становить всього 20-35 % і лише в липні-серпні воно досягає задовільного рівня (70-80 %).

Збирання врожаю і обробіток ґрунту знищують рослинний покрив, і поверхня залишається відкритою для руйнівної дії вітру. Найбеззахиснішими стають ті поля, на яких обробіток ґрунту здійснюється плугами з полицями. Внаслідок такого обробітку рослинні рештки повністю загортаються в ґрунт а його поверхня на тривалий час залишається оголеною. При вирощуванні ярих культур цей період триває 150-180 діб, а на парових полях - 280-320 і більше діб. Отже, на сільськогосподарських угіддях головне завдання щодо ослаблення процесів дефляції полягає у створенні грудкуватої поверхні ґрунту та збереженні на ній якомога більшої кількості рослинних решток, котрі, як і живі рослини, оберігають ґрунт від видування.

О.Г. Бараєв, О.М. Каштанов, М.М. Заславський, Є.І. Шиятий та інші дослідники вважають, що лише при наявності стерні на поверхні ґрунту можна створити надійну перепону вітрові. Чим більше поукісних і пожнивних решток на поверхні поля, тим вища вітростійкість ґрунту.

Густа трав'яниста рослинність оберігає ґрунт від дефляції, але найбільш надійно його захищають дерева чи чагарники. Дерев'яниста рослинність вносить істотні зміни в загальну природну ситуацію степових агроландшафтів і справляє на неї меліоративний вплив. Господарська діяльність людини щодо дефляції може проявитися у двох напрямках. Людина, зберігаючи трав'янисту, чагарникову, дерев'янисту рослинність, а також вирощуючи сільськогосподарські культури і використовуючи ґрунтозахисні технології, може повністю зупинити або довести до мінімально допустимого рівня процеси дефляції ґрунтів, і навпаки,

знищуючи рослинність, нераціонально вирощуючи сільськогосподарські культури, спричинити підсилення дефляції.

Знищення рослинності і нераціональне вирощування сільськогосподарських культур призвело до того, що дефляція охопила територію освоєних цілинних земель у Північному Казахстані та в Російській Федерації (в регіоні Західного Сибіру — на площі 45 млн. га). За даними Ф.Т. Моргуна, невідповідність системи землеробства ґрунтово-кліматичним умовам Північного Казахстану призвела до руйнування природної структури ґрунту, її розпорошення та катастрофічної дефляції. У 1962 р. в цьому регіоні зазнали дефляції площі понад 1.5 млн. га, а в 1965 р. — 5 млн. га.

### 5.3.2 Водна ерозія

**Водна ерозія** набула поширення на зрошуваних землях у вигляді площинного змиву і намиву ґрунту, розмиву поливних борозен. Найбільша площа змитих ґрунтів припадає на Луганську, Вінницьку, Дніпропетровську, Одеську області, де цей показник сягає 53–66 % від загальної площі ріллі. Крім того, що зменшується родючість ґрунтів, водною ерозією завдається шкоди сінокосам і пасовиськам, замулюються річки, псуються гідротехнічні споруди. Водну ерозію підсилюють: · вирубування лісів, знищення трав'яного покриву, розорювання схилів; · неглибока оранка; велика кількість опадів; неправильна меліорація. Вітрову ерозію підсилюють: розорювання піщаних і супіщаних ґрунтів; вирощування на одній території протягом декількох років одних і тих самих культур; неправильна меліорація.

Наслідки ерозії: 1. Втрата значної кількості гумусу, поживних речовин, зниження енергетичного потенціалу ґрунту. Наприклад, у темно-сірих опідзолених ґрунтах слабо- і середньо змитих (Київщина), порівняно з незмитими, вміст гумусу зменшився на 0.2 і 0.3 %, а запаси у метровому шарі – на 30 і 50 т/га відповідно.

2. замулювання водойм,
3. запорошування доріг
4. погіршення кліматичних умов (пил у повітрі)
5. зниження урожаю с/г культур та погіршення його якості, необхідність застосування на них підвищених норм висіву сільськогосподарських культур через те, що частина насіння змивається, а друга частина не сходить
6. збільшення ресурсів на обробіток еродованих земель через підвищення питомого опору ґрунту і коротших гонів.

7. підвищення вартості продукції. Щорічні втрати продукції рослинництва від ерозії перевищують 12 млн.т зернових одиниць, а збиток сягає 10 млрд доларів за рік.

Доведено, що із змиванням кожного сантиметра гумусового горизонту потенційна врожайність зерна знижується на 0.5–2.0 ц/га. Так, зниження урожайності досягає: на

В залежності від причини виникнення ерозія ґрунтів буває *водною, вітровою, або дефляцією, іригаційною, пасовищною, агротехнічною.*

У зв'язку з інтенсивним розвитком зрошення на схилових землях розвивається ерозія, що носить назву *іригаційної*. Надмірне випасання природних кормових угідь зумовлює розвиток *пасовищної ерозії*. При цьому розбивається дернина, ґрунт переміщується по схилу під копитами тварин, а це призводить до підсилення як водної, так і вітрової ерозії.

*Агротехнічна ерозія* — зміщення ґрунту вниз по схилу при оранці. На схилах крутістю понад 4° під час роботи лемехів плуга в бік вододілу відбувається неповне відкидання скиби, а при роботі лемехів плуга в бік підніжжя схилу – зміщення скиби донизу, яке є адекватним змиву ґрунту об'ємом 12 м<sup>3</sup>/га. Внаслідок цього на коротких стрімких схилах у привододільних їх частинах з'являється еродований ґрунт, а біля підніжжя, навпаки, – "намитий", тобто наораний, ґрунт. Принцип цього явища застосовується і при влаштуванні "наорних" терас, що знижує змив ґрунту і забезпечує екологічну стійкість агроландшафтів. Такі тераси широко використовуються в Карпатах та інших гірських районах [1, 2].

Появі водної ерозії сприяють великі розміри полів, введення чистих парів, використання потужної сільськогосподарської техніки. Водна ерозія ґрунтів є головним деградаційним процесом у сучасних агроландшафтах, який завдає величезної екологічної та економічної шкоди в багатьох країнах світу, у тому числі і в Україні [8].

*Водна ерозія – це сукупність процесів руйнування ґрунту, формування наносів під впливом води і деградації ландшафту.* З факторів, що спричиняють ерозію ґрунту, виділяють *природні, сільськогосподарські й ландшафтні*. Серед природних факторів розрізняють поверхневий, струмковий і підґрунтовий змиви ґрунту. Поверхнєве змивання досягає 15 т/га і більше, струмкове викликає утворення каналів глибиною 15 см і завширшки 55 см. До сільськогосподарських і ландшафтних факторів належать розміщення робочих ділянок і культур по класах схилів, впорядкування польових доріг.

Процес водної ерозії ґрунту складається з руйнування ґрунту краплями дощу або потоками води, що сформувалися на поверхні схилу в процесі випадання природного або штучного дощу та при таненні снігу, транспортуванні ґрунтових часток і агрегатів (які одержують при цьому

статус схилових наносів) і їхнього відкладення (седиментації) на деякій відстані від місця наносоутворення .

Вирішальне значення в процесі водної ерозії відіграє формування поверхневого стоку і його гідравлічні характеристики. Однак при зливовій ерозії, яка відіграє провідну роль в ерозійному знищенні ґрунтів Лісостепу і особливо Степу України, руйнування ґрунтових агрегатів, відділення їх від основної маси ґрунту починається ще до виникнення поверхневого стікання внаслідок динамічної дії крапель дощу на поверхню ґрунту.

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 [79]..

За визначенням М.М. Заславського залежно від характеру дії на ґрунт стічної води виділяють два підтипи водної ерозії: *площинний змив* ґрунту і *лінійний розмив* (яружна ерозія).

Площинна ерозія проявляється у поступовому, віддалену непомітному, більш-менш рівномірному видаленню з поверхні схилу дрібноземного 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 обробіткою 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 [80].

Для потреб практики рекомендується користуватися шкалою інтенсивності ерозії ґрунтів запропоновану Д.М. Шиколою, табл.5.51 [83].

Порівнюючи масштаби сучасних ерозійних процесів з цією шкалою, можна дійти висновку, що на більшій частині території України втрати ресурсів родючості головним чином спричинює ерозія: інтенсивність змиву в багатьох регіонах досягає 30 - 40 т/га за рік, а в багатоводні роки

на посівах просапних культур, посіяних вздовж схилу, може становити 150 - 300 т/га і більше.

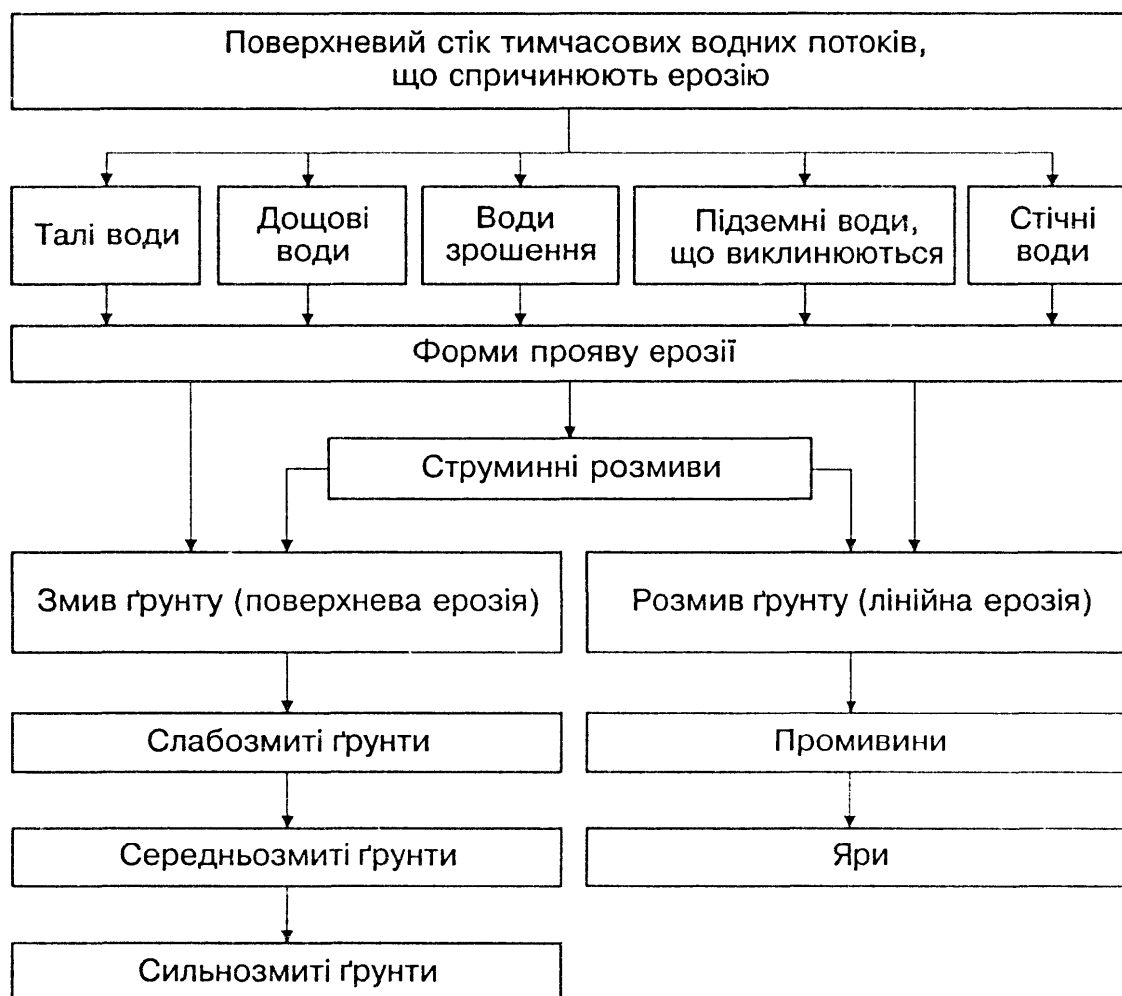


Рис.5.24 – Класифікація ерозії ґрунтів (за М. М. Заславським)

Таблиця 5.52– Шкала оцінки інтенсивності ерозії (за Д.М. Шикуюлою)

Інтенсивність втрат ґрунту, т/га за рік	Оцінка ерозії
Менша за швидкість ґрунтоутворення, що становить 2—3 т/га за рік	Ерозії немає
Більша за швидкість ґрунтоутворення, але менша за:	Слабка ерозія
3 - 6	Середня ерозія
6 - 12	Сильна ерозія
12 - 24	Дуже сильна ерозія
24 - 60	Катастрофічна ерозія
Понад 60	

*Причини виникнення і розвитку осередків ерозії.* Кожен осередок ерозії має безпосередні причини свого виникнення і розвитку. Розробка протиерозійних заходів не може бути ефективною без встановлення конкретних причин ерозії. Усунення цих причин веде до затухання осередків ерозії. Причини виникнення осередків ерозії можуть бути *природними і антропогенними*. Однак природні причини розвитку ерозії, як правило, не призводять до утворення осередків ерозії та еродованих ґрунтів. Останні формуються лише при накладанні на природні антропогенних чинників ерозії.

Виникнення і розвиток ерозійних процесів зумовлюються як природними умовами, так і господарською діяльністю людини. До *природних чинників*, які визначають інтенсивність прояву водної ерозії, належать: клімат, рельєф, властивості ґрунтів материнських і підстильних порід, а також характер рослинного покриву.

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 й 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.

Щорічно повторюване підсилення (на південних) і гальмування (на північних експозиціях схилів) ерозії призводить до утворення відповідного поздовжнього профілю схилів. Південні схили, звичайно, більш стрімкі і мають поздовжньо-пряму або поздовжньо-увігнуту форму;

- *крутість схилів* впливає на інтенсивність ерозії через підвищення швидкості стікання води. Залежність між крутістю схилів та інтенсивністю ерозії носить експоненційний характер, до того ж показник стікання, як правило, перевищує одиницю. Рослинних решток, які захищають структуру ґрунту від руйнівних ударів дощових крапель нема. Мульча із рослинних решток перешкоджає утворенню ґрунтової кірки, зменшує швидкість стікання талих і дощових вод, що ослаблює ерозію. Перехід до обробітку ґрунту без обертання скиби у 2 – 4 рази зменшує змив ґрунту;

- *перевантаження просапними культурами ділянок, розташованих на крутосхилах*. Часті розпушування ґрунту в міжряддях просапних культур і

слабка захисна дія рослин спричинюють інтенсивний прояв ерозійних процесів;

- *формування мікрозападин на поверхні схилів.* У природних біогеоценозах таких процесів не існує. Вони пов'язані з господарською діяльністю людини. Формування западин на поверхні схилу обумовлює концентрування стоку і прояв ерозійних процесів, характерних для поперечно-увігнутих схилів. Особливо значної інтенсивності ерозія досягає при наявності западин на поздовжньо-опуклих схилах. По берегах западин формуються середньо- та сильноеродовані ґрунти через підсилення змиву зсувом ґрунту в бік западин під час його обробітку. По дну западин нерідко утворюються великі донні розмиви; - велике скупчення снігу поблизу природних і штучних перешкод і в зниженнях. Полезахисні лісосмуги, огорожі, щити, підвітряні схили збирають біля себе великі кучугури снігу. Запізніле танення цього снігу, а також надходження талих вод на відталі схили є важливою причиною виникнення осередків інтенсивної ерозії [83].

Вищезгадані чинники виникнення і розвитку осередків ерозії можуть охоплювати одне поле, а також поширюватись на сусідні поля, що впливає на розвиток ерозії на цих полях.

Потенційна небезпека прояву ерозійних процесів визначається за емпіричним рівнянням

$$ПНЕ = f(K \cdot P \cdot Г \cdot Гр \cdot Рс \cdot Гв), \quad (5.57)$$

де *ПНЕ* — потенційна небезпека ерозії;

*K* — кліматичні умови;

*P* — умови рельєфу;

*Г* — геологічні умови;

*Гр* — ґрунтові умови;

*Рс* — ґрунтозахисна роль рослинності;

*Гв* — господарське використання земель.

*Кліматичний* чинник ерозії характеризується варіабельністю своїх складових частин. На розвиток ерозійних процесів безпосередній вплив мають: сумарна (річна) кількість опадів, їх вид, тривалість, інтенсивність і час випадання.

Від сили вітру залежать перерозподіл снігу і напрямок руху зливових хмар. На інтенсивність ерозії у весняний період істотно впливає висота снігового покриву та швидкість танення снігу.

На території України запаси снігової води зменшуються у напрямку з північного заходу на південний схід. Висота снігового покриву в поліській зоні може становити 60-70 см і більше, в степовій – лише 5-10 см. Однак ерозійна сила снігової води визначається не лише її запасами, а насамперед інтенсивністю сніготанення, яка залежить від температури повітря і



наростає з північного заходу на південний схід. На схилах південних експозицій сніг тоне швидше, а на північних – повільніше.

Ерозія, яка виникає внаслідок стоку талих вод, охоплює одночасно великі площі, що спричиняє зниження водопроникності ґрунту. Ґрунт запливає, і формується поверхневий стік, у складі якого розрізняють рідкий і твердий стоки.

Зливам властиві періодичність випадання і пульсаційний характер інтенсивності. Злизова ерозія одночасно проявляється на дуже обмеженій території і далеко не кожен рік на одній і тій же площі. Проте сильна злива, що випадає раз у 3-5 років, здатна за кілька хвилин призвести до такого руйнування ґрунту, якого можна чекати від стоку талих вод за 10 – 15 років [82].

Навіть невеликий об'єм стоку, зумовленого зливою, має виключно високу мутність.

Оцінку ерозійної роботи дощів проводять за шаром опадів, що випали протягом певного часу, і за показником сили дощу, який розраховують за формулою

$$\Delta = i\sqrt{t}, \quad (5.58)$$

де  $\Delta$  - сила дощу;  $i$  - його інтенсивність, мм/хв;

$t$  - тривалість дощу, хв.

Еродований вплив крапель дощу на ґрунт визначається його кінетичною енергією. Кінетична енергія шару дощу  $X$  мм на  $1 \text{ м}^2$  площі (питома кінетична енергія) залежить від маси крапель дощу і швидкості їхнього падіння і визначається за формулою Г.І. Швєбса [81].

$$E_X = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot X \sum_{i=1}^z n_i v_{k_i}^2, \quad (5.59)$$

де  $E_X$  – питома кінетична енергія дощу, Дж/м<sup>2</sup>;

$v_{k_i}$  – швидкість падіння краплі  $i$ -ої групи, см/с;

$n_i$  – частка шару опадів, яка формується краплями однакового розміру;

$z$  – кількість виділених груп крапель однакового розміру.

При цьому

$$n_i = \frac{N_i P_{k_i}}{\gamma V_{\hat{a}}}, \quad (5.58)$$

де  $P_{k_i}$  – вага краплі  $i$ -ої групи, г;

$N_i$  – кількість крапель в  $i$ -й групі крапель;

$\gamma$  – об'ємна маса води, г/см<sup>3</sup>;

$V_{\hat{a}}$  – об'єм води, см<sup>3</sup>, сформований шаром опадів  $X$  мм на площі  $1 \text{ м}^2$ , см<sup>3</sup>.

Важливою енергетичною характеристикою дощу є *питома потужність* – величина роботи крапель на 1 м<sup>2</sup> поверхні за 1 с

$$M_r = 8,35 \cdot 10^{-7} r \sum_{i=1}^z n_i v_{k_i}^2, \quad (5.60)$$

де  $M_r$  – питома потужність опадів, Вт/м<sup>2</sup> з інтенсивністю випадання  $r$ , мм/хв.

Відповідно до класифікації В.В. Сластіхіна, невеликий змив ґрунту спостерігається вже при силі дощу 1 - 1,3, а якщо вона зростає до 5 - 7, то відбуваються сильний змив і розмив ґрунту, табл.5.52[79,80].

При випаданні злив поверхневий стік води по схилу має три стадії. У перші хвилини після початку дощу відбуваються вбирання води ґрунтом і руйнування ґрунтових агрегатів внаслідок ударів дощових крапель.

Якщо на шляху водного потоку трапляються перепади по висоті, то інтенсивність розмиву ґрунту збільшується.

Вже при висоті 5 см швидкість вільно падаючої води досягає 1 м/с, чого цілком досить для руйнування суглинків і щільних глин, при висоті перепаду 10 см ця швидкість зростає до 1.5 м/с, при цьому вже можуть розмиватися дуже щільні ґрунтоутворювальні породи. Таким чином виникає розмив ґрунту – початкова стадія лінійної ерозії.

Найбільш ерозійно небезпечними є дощі шаром понад 60 мм, що тривають від 2 до 5 год. Їх максимальна інтенсивність перевищує 1.2 – 2 мм/хв, а ерозійний індекс коливається від 10.7 до 35,5. Чим вища енергія зливових добових опадів 10відсоткової забезпеченості та їх сумарна кінетична енергія, тим більша ерозійна небезпека опадів [81].

Таблиця 5.53 - Класифікація дощів (за В.В. Сластіхіним)

Тип	Сила, бал	Післядія
Дрібний	До 1	Стоку немає, можлива невелика точкова ерозія ґрунту
Звичайний	1-3	Слабкий стік, невеликий змив ґрунту
Помірнозливовий	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 річках, надзвичайно сильні змиви та розмиви ґрунту, активізація зсувів

Енергія зливових добових опадів змінюється від 1.1 до 1.3 кДж/м<sup>2</sup>, сумарна кінетична енергія зливових опадів за теплий період становить менше ніж 1.5 кДж/м<sup>2</sup> у зоні Сухого Степу і понад 4.0 кДж/м<sup>2</sup> у Карпатській гірській місцевості, табл. 5.53.

Ерозія розбризкування викликає підйом великої кількості ґрунтових часток. При невеликому зливовому дощі ( $Q = 9,2$  мм,  $I_{\max} = 2$  мм/хв.) з поверхні суглинкового чорнозему з площі 1 га на висоту 10 см піднімається 770 кг ґрунтових часток, на висоту 20 см – 310 кг, на висоту 60 см – 5 кг. При сильних зливах у повітря піднімаються сотні тон ґрунту на гектар. Однак цей підйом варто розглядати як «уявний», тому що фактично всі частки, підняті в повітря, випадають на землю на відстань до 1,5 м від місця викиду.

Г.І. Швєбсом за наслідками впливу природних опадів на оголений ґрунт виділені такі категорії:

I – інтенсивність випадання менша ніж 0,004 мм/хв, питома потужність дорівнює  $M_i < 2,4 \cdot 10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup> ( $< 25$  м·см/(с·м<sup>2</sup>)) – сприяють агрегації ґрунту, розбризкування ґрунту не роблять;

II – інтенсивність випадання 0,004–0,25 мм/хв, питома потужність  $M_i$  дорівнює  $2,4 \cdot 10^{-4}$ – $1,2 \cdot 10^{-1}$  Вт/м<sup>2</sup> (25–1200 см/(с·м<sup>2</sup>)) – ерозійна діяльність незначна, але має місце слабка дезагрегація частинок ґрунту;

III – інтенсивність випадання 0,25–1,6 мм/хв, питома потужність  $M_i$  дорівнює 0,12–0,88 Вт/м<sup>2</sup> (1200–9000 м·см/(с·м<sup>2</sup>)) – значне руйнування і розбризкування ґрунту, дезагрегація частинок ґрунту пропорційно  $M_i$  і обернено пропорційно квадрату шару опадів;

IV – інтенсивність випадання більше 1,6 мм/хв,  $M_i > 0,88$  Вт/м<sup>2</sup> ( $> 9000$  м·см/(с·м<sup>2</sup>)) – значне руйнування і розбризкування ґрунту, зменшення водопроникності ґрунту.

Окремо слід відзначити великий вплив крапель дощу на водний потік. Зокрема, відомо, що краплі дощу «збуджують» у потоці додаткову турбулентність і капілярні хвилі, які істотно збільшують транспортуючу здатність схилових потоків. Експериментальними дослідженнями встановлено, що якщо усунути вплив дощових крапель на схиловий потік малої глибини (до 1–2 см), його транспортуюча здатність зменшується в десятки разів. Особливо значне зменшення змиву ґрунту спостерігається при ввилученні впливу великих за розміром крапель на водний потік.

Середньорічний поверхневий стік також залежить від умов ґрунтово-кліматичної зони. В лісостеповій зоні він становить 50–70 мм і більше, в північному і центральному районах степової зони – 30–50, в південному – 10–30 мм. У географічному плані інтенсивність зливної ерозії зменшується у напрямку з півдня на північ із заходу на схід [81, 84].

**Рельєф.** Важливу роль у формуванні ерозійних процесів відіграє рельєф. Рельєф – це сукупність горизонтальних і вертикальних форм земної поверхні, різних за розмірами, походженням, віком та історією

розвитку. Складають рельєф позитивні і негативні його форми, представлені підвищеннями і западинами. Рельєф місцевості є носієм ерозійної енергії території. Він може істотною мірою визначати кількість та інтенсивність атмосферних опадів, об'єм і швидкість стоку, вологість і водопроникність ґрунтів, тепловий баланс поверхні тощо [84, 86].

Найважливішими морфологічними характеристиками рельєфу, які впливають на інтенсивність ерозійних процесів, є глибина місцевих базисів ерозії, розчленованість території яружно-балковою мережею, величина балкових водозборів, довжина, крутизна, експозиція та форма схилів.

Підвищення і гірські схили еродовані сильніше, ніж рівнинні території. Особливо помітно ерозійні процеси відбуваються на Донецькому кряжі, Приазовській та Придніпровській височинах, Подільському плато, в передгірських та гірських районах Карпат і Криму. Значно слабше проявляються ерозійні процеси на рівнинах Полісся, Придніпровській та Приазовській низовинах. В табл.5.54 та на (рис. 5.25) наводяться найбільш ерозійні явища дощів.

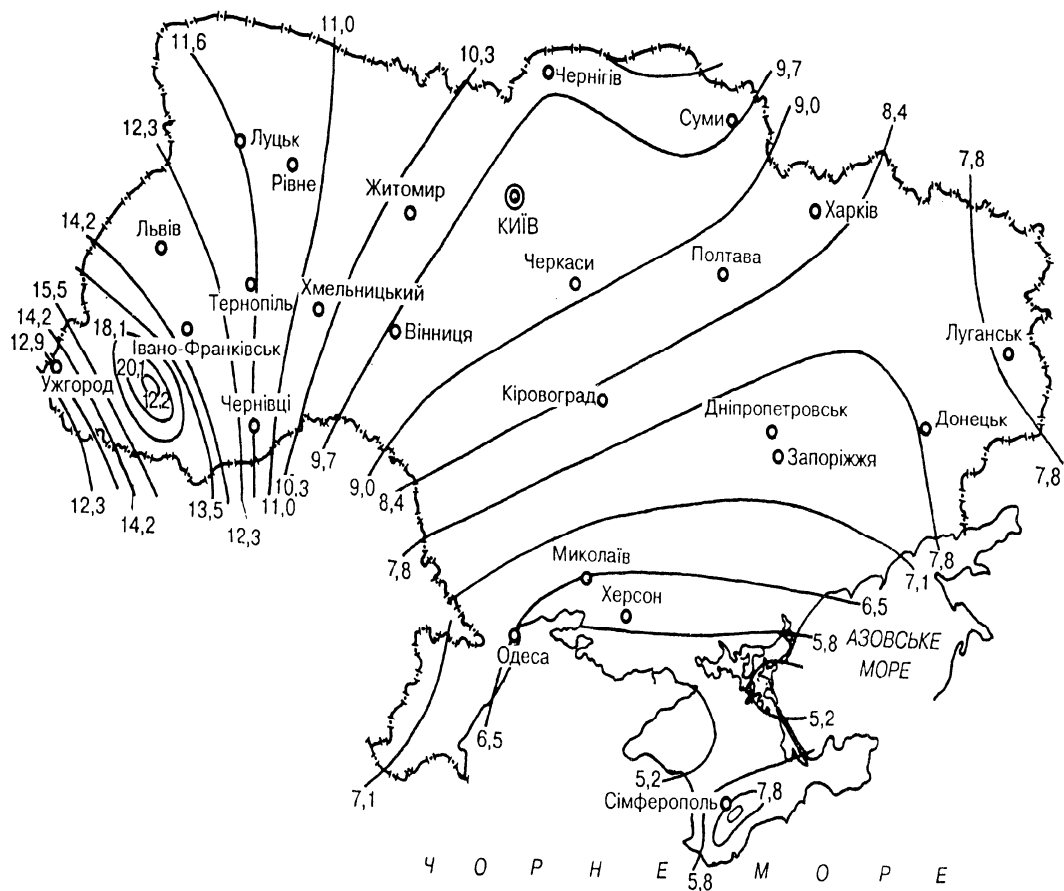


Рисунок 5.25 - Карта ерозійних індексів дощів території України (Інститут охорони ґрунтів)

Таблиця 5.54 - Характеристика найбільш ерозійно небезпечних дощів у лісостеповій зоні України

Метеостанція	Дата	Тривалість		Кількість опадів, мм	Інтенсивність, мм/хв		Тривалість максимальної інтенсивності, хв	Ерозійний індекс
		год	хв		Середня	максимальна		
Київ (ГАО НАН України)	02.08.74	1	45	41,5	0,40	1,62	10	11,8
Яготин	22.07.80	3	05	39,2	0,21	1,83	10	13,0
Фастів	29.07.73	1	03	47,0	0,75	2,00	3	13,9
Жашків	28.06.78	8	00	55,7	0,12	1,32	10	13,2
	26.05.79	3	47	69,3	0,31	1,48	10	12,6
ім. Т.Г. Шевченка	09.07.72	1	29	54,9	0,62	2,12	20	23,0
"Вінниця"	18.07.72	2	00	95,5	0,80	2,70	10	33,2
	07.07.75	5	40	60,9	0,18	1,00	10	15,1
Могилів- Подільський	11.06.73	1	58	46,6	0,39	1,09	8	10,9
	27.05.75	9	50	115,9	0,20	1,10	10	35,5
	02.09.76	5	40	60,9	0,18	1,00	10	10,7
Світловодськ	21.07.71	10	05	62,9	0,10	1,23	10	15,6
	18.07.72	4	32	62,8	0,23	1,03	10	13,2
Гадяч	24.05.71	2	28	66,8	0,45	0,92	10	11,1
	21.05.72	2	45	62,4	0,38	3,00	10	29,7
	03.07.73	5	40	71,0	0,21	1,40	10	17,1
Полтава	23.07.71	10	40	79,0	0,12	0,78	10	11,1

Примітка. Місячні і річні ерозійні індекси дощових опадів визначають додаванням індексів кожного дощу шаром 10 мм і більше. ГАО — Головна астрономічна обсерваторія.

конкретного

Форма водозбору також впливає на інтенсивність розвитку водної ерозії. Виділяють три форми водозборів: пряму, розсіювальну і акумулювальну. Найважливішими морфологічними характеристиками рельєфу, які впливають на інтенсивність ерозійних процесів, є глибина місцевих базисів ерозії, розчленованість території яружно-балковою мережею, величина балкових водозборів, довжина, крутизна, експозиція та форма схилів.

При *прямій формі водозбору* стік переважно розосереджено стікає вниз по схилу. Концентрування його може відбуватися, але незначне.

*Розсіювальна* форма водозборів більш безпечна. Маса стоку розсіюється по схилу і концентрування його майже не відбувається.

*Акумулювальна* форма водозбору сприяє концентруванню маси стоку у вузькому руслі і утворенню промивин і ярів.

Елементами водозбору є вододіли, схили і гідрографічна мережа. Лінія, що з'єднує найвищі точки і відокремлює водозбірну площу однієї ділянки гідрографічної мережі від іншої, називається *лінією вододілу*.

Процесам ерозії найбільшою мірою сприяють поперечно-увігнуті та поздовжньо-опуклі схили (табл. 5.55).

Поперечно- і поздовжньо-опуклі (розсіювальні) схили не сприяють розвитку інтенсивних ерозійних процесів. Акумулятивна (поперечно-увігнута) форма схилів, навпаки, є однією з причин змиву й розмиву ґрунтів.

Таблиця 5.55- Вплив довжини схилу на змив ґрунту

Довжина схилу опуклого профілю, м	Крутість, град.	Змив ґрунту, м <sup>3</sup> /га
0-250	0-1,5	0-6,4
251-275	2,5	7,4
276-300	3,5	13,5
301-325	5,0	26,8
326-350	7,0	36,2
351-375	11,0	50,8

Схили з прямим поздовжнім профілем займають проміжне місце і називаються *нейтральними*.

Найбільш вираженою опуклістю профілю відзначаються схили південної та південно-західної експозицій, а також схили, що прилягають до крутих берегів річкових долин.

*Форма схилу* залежить від властивостей ґрунту, ґрунтоутворювальної і підстильної породи. На породах, що легко розмиваються, найчастіше

формується схили прямої та опуклої форм, а на породах, що важко розмиваються, – увігнутої.

*Довжина схилу* — це відстань між вододілом і брівкою постійного чи тимчасового водотоку. Збільшення довжини схилу з опуклим профілем сприяє накопиченню великої маси води (під час сніготанення чи зливи) та концентруванню її в нижній частині схилу, у зв'язку з чим підсилюється руйнівна енергія потоку. В той же час у разі увігнутого профілю змив по довжині схилу нерідко не лише не зростає, а й послаблюється, тому що продукти ерозії в нижній частині схилу починають випадати із водного потоку, що зносить їх, відкладаючись на поверхні схилу [86].

Необхідною умовою для формування стоку є нахил поверхні. Крутість схилів – одна з основних умов розвитку ерозійних процесів.

Крутість схилів визначається відношенням різниці висот двох точок схилу до горизонтальної проекції цієї частини схилу:

$$I = \frac{\Delta h}{b}, \text{ або } I = \operatorname{tg} \alpha, \quad (5.61)$$

де  $I$  - крутість схилу;  $\Delta h$  - різниця висот двох точок схилу;

$b$  - проекція довжини схилу на горизонтальну поверхню;

$\alpha$  - кут між лінією, що проходить через дві точки схилу, і горизонтальною площиною.

Ерозійні процеси починають розвиватись при крутості схилу  $0.5 - 2^\circ$ . Збільшення цієї величини підвищує швидкість стікання поверхневих вод і збільшує змив ґрунту [79].

Однак прямої залежності між інтенсивністю ерозії та крутістю схилів не спостерігається, тому що на цей процес істотно впливають інші чинники.

Небезпека прояву водної ерозії визначається і експозицією схилу, особливо під час танення снігу. Інтенсивність ерозійних процесів залежить від довжини, ширини, площі, експозиції та профілю схилу (рис.5.26) [83].

Для оцінки небезпеки розвитку лінійної ерозії велике значення мають глибина місцевих базисів ерозії та розчленованість території яружно-балковою і гідрографічною мережею.

Глибина місцевих базисів ерозії визначає енергетичну силу води на схилах. Чим більша ця глибина, тим більша енергетична сила опадів і тим більшого руйнування зазнає ґрунт.

*Ґрунтові та геологічні умови виникнення ерозії.* Протиерозійна стійкість ґрунтів визначається їх гранулометричним і хімічним складом, фізико-хімічними властивостями та фізичним станом. Гранулометричний склад ґрунтів і порід дуже впливає на можливість агрегування ґрунту і на водопроникність.

Водопроникність певних типів ґрунтів значною мірою залежить від характеру їх використання.

Найвищих значень вона досягає на цілині, під лісом; значно нижчих – на ріллі, найнижчих – на пасовищах. Водопроникність окремих типів і підтипів у межах одного угіддя прямо пропорційна вмісту гумусу в ґрунті, тому що це сприяє утворенню водотривкості структури, табл. 5.55.

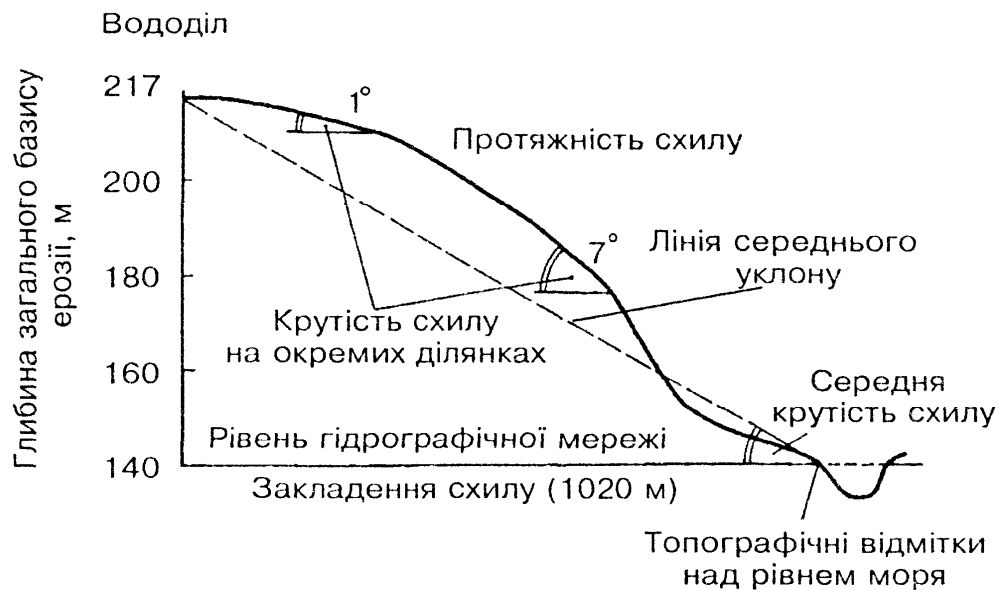


Рис. 5.26 – Схематичний розріз схилу і його морфометричні показники (за М. К. Шикулою)

Найбільш стійкими до змиву є чорноземи звичайні та типові на важкосуглинкових і глинистих лесових суглинках. Найстійкішими до змиву є ґрунти на грубопилуватих лесах, елювії – делювії щільних порід. Підсилення опідзоленості та зростання ступеня еродованості знижує протиерозійну стійкість ґрунтів.

Зниження протиерозійної стійкості ґрунтів на південь і на північ від лісостепової зони зумовлено зменшенням вмісту гумусу, появою одновалентних катіонів у складі ґрунтового вбирного комплексу (ГВК).

Одновалентні катіони ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ) спричинюють диспергацію колоїдів ґрунту, що призводить до руйнування структурних агрегатів та зниження водопроникності. При насиченні кальцієм опір ґрунту до розмивання водою істотно зростає, тому що гумати кальцію сприяють утворенню водотривких агрегатів.



Таблиця 5.56- Водопроникність різних типів ґрунтів, мм/хв

Ґрунти	Угіддя		
	Рілля	Пасовище	Ліс
Дерново - підзолисті	0,62	0,62	1,80
Світло-сірі лісові	0,17	-	0,48
Сірі лісові	0,84	0,75	3,52
Темно-сірі лісові	1,59	-	4,74
Чорноземи вилужені	1,73	0,55	4,04
Чорноземи типові	2,11	0,70	2,80
Чорноземи звичайні	1,98	0,80	2,80
Чорноземи південні	1,36	0,92	-
Темно-каштанові	1,17	0,84	-
Каштанові	0,84	-	-

Істотно впливають на протиерозійну стійкість ґрунту його щільність і вологість під час випадання опадів.

При збільшенні щільності поверхневого шару ґрунту водопроникність зменшується, відповідно зростають стік і змив ґрунту.

Ґрунти, що мають пори, насичені вологою, не можуть швидко поглинати опади. Тому зливи, які випадають на ґрунти, насичені вологою, звичайно мають вищий коефіцієнт стоку, ніж зливи, що випадають на слабозволожені ґрунти. Це явище характерне і для весняного сніготанення.

Таким чином, поєднання фізичних, фізико-хімічних та агрофізичних властивостей ґрунтів зумовлює певну їх протиерозійну стійкість, яка являє собою здатність протидіяти розмивній дії води. В табл.1. 7 наведено дані про протиерозійну стійкість ґрунту, визначену за допомогою штучного дощування. Ці дані свідчать про те, що, чим вищий рівень потенційної родючості ґрунту, тим вищою є його протиерозійна стійкість.

Численними дослідженнями встановлено, що найбільшу протиерозійну стійкість мають чорноземні ґрунти, значно меншу – сірі лісові, а найменшу – дерново-підзолисті ґрунти.

Вразливість до ерозії сірих лісових ґрунтів істотно залежить від їх підтипів та різновидностей. За еродованістю світло-сірі лісові ґрунти близькі до дерново-підзолистих, темно-сірі – до чорноземів. Проміжне місце займають сірі лісові ґрунти (еродованість 1.8 – 2.9 т/га). Найстійкішими до змиву є глинисті важко суглинкові різновидності сірих лісових ґрунтів, а найменш стійкими – легкосуглинкові, супіщані та піщані.

Чорноземи являють собою найбільш стійкі до ерозії ґрунти, їх еродованість коливається від 1.2 до 2.3 т/га. Мінімальна еродованість властива чорноземам звичайним і вилуженим важко суглинкового та глинистого гранулометричного складу. Проміжне положення займають

чорноземи опідзолені, типові й південні (1.2 – 1.4 т/га). Більш висока еродованість характерна для чорноземів легкосуглинкового (особливо грубопилуватого) гранулометричного складу (1.6 – 2.3 т/га) [86].

Каштанові групи вразливіші до ерозії, ніж чорноземи. Залежно від вмісту в них гумусу та гранулометричного складу їх еродованість змінюється від 2.1 до 3.5 т/га.

На розвиток яружної ерозії значний вплив має і характер підстильних порід. Дуже нестійкими до розмиву є грубо пилуваті леси. Райони з крупно пилуватими лесами розчленовані густою й глибокою мережею ярів. Стійкішими до розмиву є важко суглинкові та глинисті за складом лесовані суглинки, слабо стійкими – щільні карбонатні та безкарбонатні відклади. Проте яри тут неглибокі. Щільна порода, що виходить на поверхню, нерідко служить місцевим базисом ерозії.

В Україні найбільш надійною методикою щодо визначення протиерозійної стійкості є методика Г.І. Швєбса. Як "показник здатності ґрунту протистояти водно-ерозійному руйнуванню використовується величина, зворотна протиерозійній стійкості ґрунтів - її *змиваємість*, причому у вигляді «*відносної змиваємість ґрунту*» ( $J_{\kappa}$ ) та «*часткової характеристики відносної змиваємість ґрунту*» (Відносна змиваємість характеризує протиерозійні властивості ґрунту в теплий період року і використовується в канонічній (Швєбс, 1974) і модифікованій моделі зливогого змиву ґрунту (Світличний, 1995) [83].

На основі методики Г.І. Швєбса в різних регіонах України, Молдови, у ряді областей Російської Федерації в 70-90-ті роки ХХ сторіччя були проведені серії досліджень з визначення протиерозійної стійкості ґрунту. Нині сформований досить великий банк даних значень  $u_d$  і  $u$  для основних генетичних типів (підтипів) ґрунтів Лісостепу і Степу Східноєвропейської рівнини, зокрема України (різних типів чорноземів і каштанових ґрунтів, а також сірих лісових ґрунтів), і визначені їхні середні значення, табл. 5.57. До того ж визначений вплив на протиерозійну стійкість ґрунтів ступеня еродованості ґрунтів.

Таблиця 5.57 – Параметри протиерозійної стійкості ґрунтів Лісостепу і Степу України (Г.І.Швєбс, В.І. Ігошин)

Тип, підтип ґрунту	Параметри	
Темносірі та сірі лісові	1,2 – 1,3	1,3 – 2,0
Чорноземи типові та звичайні	1,0 – 1,2	1,0 - 1,2
Чорноземи південні, вилужені та опідзолені	1,3 – 1,8	1,1 - 1,4
Темно каштанові та каштанові	2,0 – 2,2	2,3 - 2,5

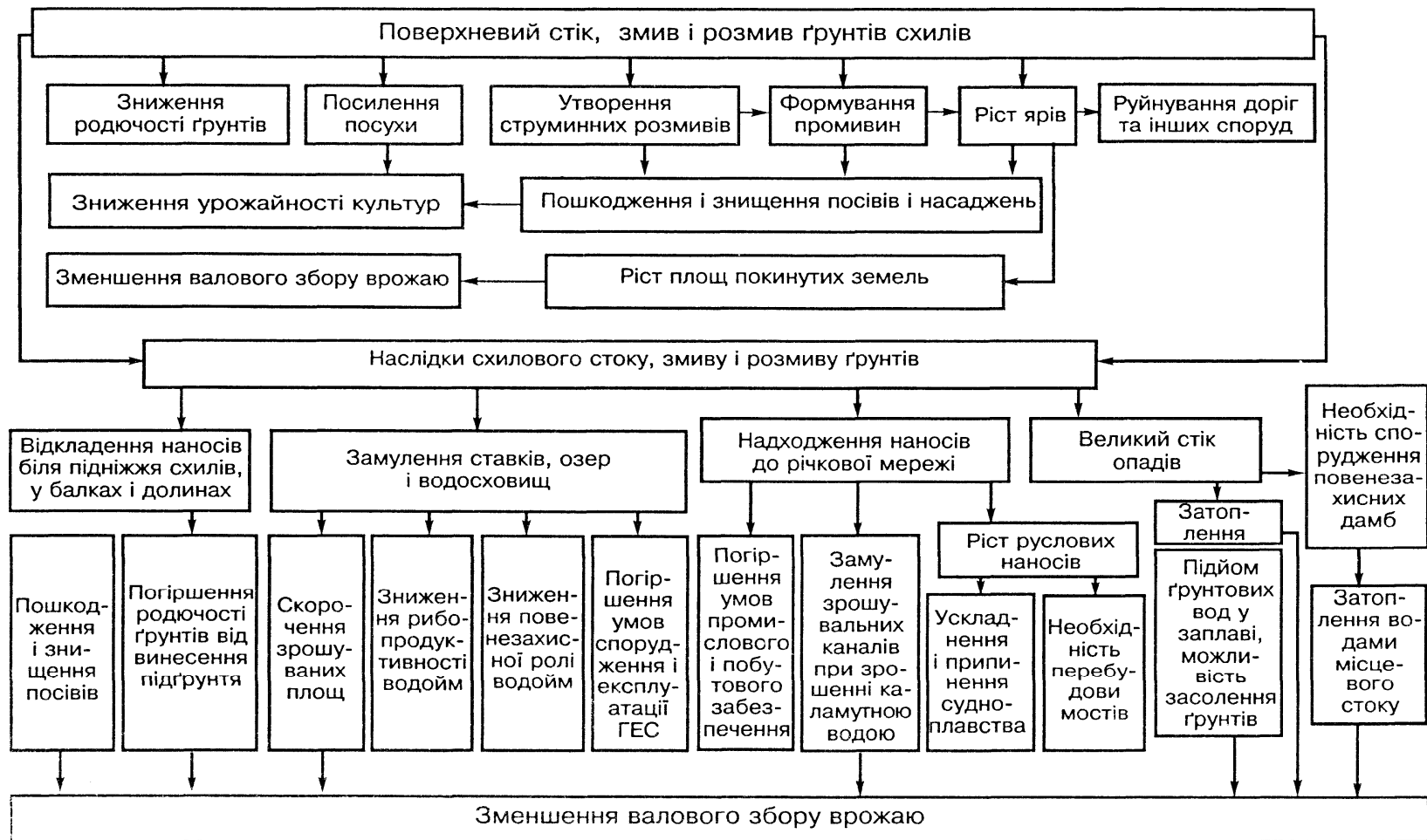


Рис.5.27 – Різнобічні наслідки водної ерозії (за М.М. Заславським, 1983)



Рис. 5.28 – Наслідки дефляції ґрунтів (Капінос і Панасенко, 1989)

Ці результати показують, що на рівні генетичного ґрунтового типу (підтипу) існує певна географічна закономірність для ґрунтів суглинкового гранулометричного складу. Найбільшу протиерозійну стійкість мають чорноземні ґрунти Лісостепу і Північного Степу (звичайні і типові чорноземи). Інші чорноземні ґрунти (карбонатні) [81].

Високий рівень культури землеробства, раціональне ґрунтозахисне землекористування дозволяють забезпечити ефективний захист ґрунтів від дефляції. Розробка акад. О.І. Бараєвим ґрунтозахисної системи землеробства і впровадження її в степових районах Північного Казахстану та Західного Сибіру (Російська Федерація) зупинили процеси дефляції на площі 26.7 млн. га. В наш час розроблено і вдосконалюються зональні ґрунтозахисні, енерго- та ресурсозберігаючі системи землеробства для різних зон і підзон України. В кожному землеробському регіоні повинна функціонувати своя ґрунтозахисна система землеробства, пристосована до місцевих умов.

Процеси водної та вітрової ерозії — головний канал втрати родючості, справжнє екологічне і соціальне лихо, тому в господарській діяльності слід керуватися такими принципами:

- водну ерозію та дефляцію легше попередити, ніж боротися з їх наслідками;

- в природі немає ґрунтів, абсолютно стійких до водної ерозії та дефляції;

- водна ерозія та дефляція, як складні природні процеси, потребують комплексних заходів щодо їх усунення;

- ґрунтозахисні комплекси повинні бути регіональними та екологічно обґрунтованими.

Під час дощування прояв іригаційної ерозії має свої закономірності, які нагадують ті, які характерні для ерозії від злив, з тією лише різницею, що людина здатна регламентувати як інтенсивність, так і тривалість штучного дощу, не допускаючи виникнення іригаційної ерозії.

М.С. Кузнецов зазначає, що під час дощування ерозія виникає внаслідок подачі води з інтенсивністю, яка перевищує вбирну здатність ґрунту.

Під час поливу дощуванням є можливість регламентувати величину крапель та інтенсивність дощу. Чим більші краплі, тим вища швидкість їх падіння і кінетична енергія (рис. 5.28).

Краплі діаметром 5 мм мають швидкість падіння 9 м/с, діаметром 1 мм — 4 м/с. Дощ шаром 50 мм за 2 год піднімає у повітря бризками близько 200 т/га ґрунту [81].

В степових ґрунтах на глибині 70-120 см утворився горизонт з високим вмістом водорозчинних солей. Через великі норми зрошення цей горизонт промокає, солі розчиняються, по капілярах підтягуються до

поверхні ґрунту, де волога випаровується, і покривають ґрунти білим вицвітом.

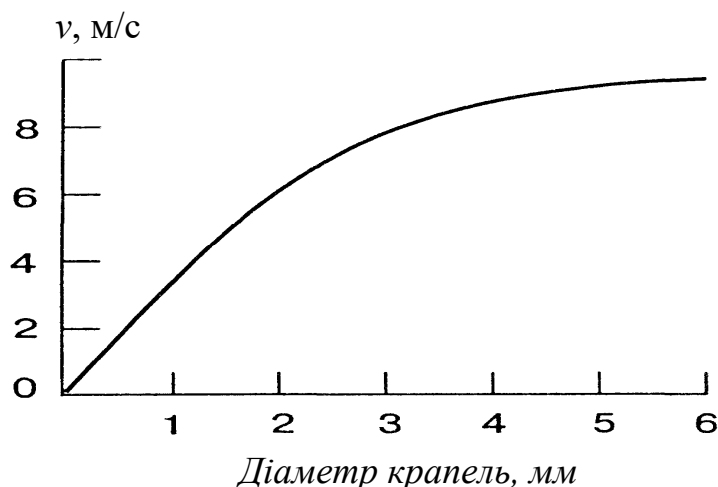


Рис. 5.29 – Залежність урівноваженої швидкості падіння крапель дощу від їх розміру (за Г.І. Швобсом).

Це явище називають *вторинним засоленням*, а ґрунти з високим вмістом солей в орному шарі - *засоленими ґрунтами*. Вони мають низький рівень потенційної та ефективної родючості, потребують *хімічної і гідротехнічної меліорації* [79, 81].

Надмірні норми зрошення зумовлюють підняття підґрунтових вод, підтоплення і вторинне засолення. У разі підтоплення будують дренажну систему, найчастіше вертикальний дренаж, що дає можливість значно знизити рівень підґрунтових вод. Однак виникає інша проблема, що порушує екологічну рівновагу: куди скидати дренажні води, які насичені розчинними солями.

У практиці дренажні води скидають у водні джерела зрошення, а солі потрапляють у ґрунт зі зрошувальною водою. У верхів'ях р. Амудар'я (Середня Азія), наприклад, мінералізація води становить  $0.3 - 0.5$  г/д<sup>3</sup>, в нижній течії внаслідок скидання в ріку мінералізованих дренажних вод вона досягає  $5 - 6$  г/д<sup>3</sup>. Вода стає непридатною для зрошення.

Отже, іригація супроводжується такими негативними явищами як іригаційна ерозія, підтоплення, засолення, осолонцювання, агрофізична деградація ґрунтів. Крім того, вона потребує значних капіталовкладень. Тому там, де є можливість, слід шукати альтернативу зрошенню. Такою альтернативою в степовій зоні можуть бути заходи "сухого" землеробства. Характер *рослинного покриву* істотно впливає на процеси ерозії. До біологічних чинників ерозії відносять здатність рослин та їх відмерлих решток протидіяти руйнівній дії води на ґрунт. Чим густіші посіви і більша біомаса врожаю, тим вища ґрунтозахисна ефективність сільськогосподарських культур.

Культурний стан поверхні ґрунту — це стеблостій рослин, покрив у вигляді мульчі з відмерлих решток, які амортизують енергетичну силу дощу, а також створюють шорсткість поверхні ґрунту, що зменшує швидкість стікання води.

Розбивання дернини і руйнування ґрунту худобою одні вчені (в зоні інтенсивного прояву водної ерозії) відносять до водної ерозії, інші (в зоні значної вітрової ерозії) — до дефляції. Але вибивання дернини можна віднести і до окремого (самостійного) чинника деградації ґрунтів — *пасовищної ерозії*. Цей різновид ерозії має свої закономірності розвитку. Разом з тим він здатний дуже підсилюватися водною чи вітровою ерозією.

Під час випасання худоби на схилових землях тварини ногами розбивають дернину і зміщують частину ґрунту вниз по схилу. Внаслідок цього на схилах утворюються худобопрогінні стежки, мікротераси, позбавлені рослинності. Дернина трав має високу ґрунтозахисну ефективність, тому її знищення різко зменшує протиерозійну захищеність схилів. На них швидко розвиваються водорієни та яри. Пасовища різко знижують свою продуктивність, забезпечуючи лише 2 – 5 ц/га сіна низької якості.

Пасовищна ерозія, підсилена водною і вітровою ерозією, здатна перетворити природні кормові угіддя на схилах у пасовищний збій, вигони з надзвичайно низькою продуктивністю. Поверхня схилів стає зруйнованою водорієнами та ярами. Такі угіддя потребують докорінної меліорації, ремонту земель [79, 80].

На гірських схилах внаслідок пасовищної ерозії землі цілком втрачають дрібнозем, перетворюючись на кам'янисті пустелі. У байрачних лісах пасовищна ерозія призводить до вибивання дернини, підсилення водної ерозії, утворення водоріїв і ярів.

Важливу ґрунтозахисну роль відіграє коріння рослин. Подібно арматурі корені переплітають ґрунт і підвищують його опір до змиву та розмиву. Проникаючи в глибокі горизонти, залишаючись в них після відмирання, корені рослин збільшують пористість, структурність та водопроникність ґрунту, що підвищує його родючість та протиерозійну стійкість.

О. П. Вервейко розрахував коефіцієнти ерозійної небезпеки культур у порівнянні з чорним паром. Багато хто з ерозіоністів не погодився з такою постановкою питання. Будь-яка рослинність захищає ґрунт від ерозії: культури густого посіву — більшою, просапні — меншою мірою. Найефективніше захищають ґрунт багаторічні трави. У зв'язку з цим М.М. Заславський коефіцієнти ерозійної небезпеки О.П. Вервейко перетворив на коефіцієнти протиерозійної ефективності, табл. 5.58 [4].

Таблиця 5.58 – Показники ерозійної небезпеки і протиерозійної ефективності сільськогосподарських культур та агрофонів

Культура, агрофон	Коефіцієнт ерозійної небезпеки, за О.П. Верейком	Коефіцієнт протиерозійної ефективності, за М.М. Заславським
Чорний пар	1	0
Зайнятий пар (вико — овес)	0,50	0,50
Кукурудза:		
на зелений корм	0,75	0,25
з соєю або горохом	0,50	0,50
на силос	0,60	0,40
на зерно	0,85	0,15
Цукрові буряки	0,85	0,15
Картопля	0,75	0,25
Соняшник	0,75	0,25
Ярі зернові	0,50	0,50
Горох	0,35	0,65
Озимі зернові	0,30	0,70
Багаторічні трави:		
першого року	0,08	0,92
другого року	0,03	0,97
третього року	0,01	0,99

О.Г. Тараріко, зіставивши проективне покриття основних сільськогосподарських культур з розподілом сумарних ерозійних індексів дощів по фізико-географічних провінціях лісостепової зони України, встановив, що досить добре протиерозійне покриття ґрунту створюють зернові культури – озима пшениця, ячмінь. Найбільш ерозійно небезпечними культурами є просапні – картопля, кукурудза та зерно [81, 82].

Цукрові буряки з квітня по червень мають низький коефіцієнт протиерозійної ефективності, а в наступні місяці завдяки наростанню листової поверхні він істотно зростає на досить тривалий період (до жовтня). Горох, маючи високі значення проективного покриття до липня, вже починаючи з цього ж місяця, залишає поверхню поля відкритою. А саме цей період є найбільш ерозійно небезпечним.



Ґрунтозахисна ефективність сільськогосподарських культур та агрофонів залежить від крутості схилів: зі збільшенням крутості вона зменшується.

Не лише живі, а й мертві рослини захищають ґрунт від ерозії. На цьому ґрунтується спосіб захисту ґрунтів від ерозії мульчуванням соломою та іншими пожнивними рештками. Мульча гасить енергетичну силу дощових крапель, зменшує стік, попереджує інтенсивні втрати вологи через випаровування.

Солом'яна січка дозою 2 т/га на схилі крутістю 2° знижувала стік у 19 разів, а змив ґрунту — у 80 разів. На схилі 5° стік було зменшено в 6 разів, а змив ґрунту — майже у 118 разів. На схилі в 7° стік було зменшено в 4.8 рази, а змив ґрунту — в 200 разів. Застосування більш високих доз мульчі майже повністю гасить стік опадів і змив ґрунту на всіх досліджуваних схилах.

Протиерозійна роль рослин широко використовується в ґрунтозахисному землеробстві — ґрунтозахисні сівозміни, смугове розміщення культур, застосування на ерозійно небезпечних ділянках культур суцільного посіву, застосування буферних смуг на парових полях і в садах, засівання багаторічними травами змитих і розмитих ділянок.

Докорінне і поверхнєве поліпшення пасовищ теж використовується для боротьби з водною ерозією на схилах. Тій же меті служать полезахисні та водорегулювальні лісосмуги, насадження на ярах, пісках, землях, непридатних для сільськогосподарського використання [79].

*Господарська діяльність людини* дуже впливає на природні чинники ерозії, істотно змінює їх. Еродовані ґрунти і є продукт нераціонального землеробства, перевантаження пасовищ і т. п. Розоравши цілинні степи, знищивши лісову рослинність на великих площах, людина оголила поверхню ґрунту, позбавила її захисного рослинного покриву, зменшивши таким чином стійкість ґрунту до змиву й розмиву.

Впровадження протиерозійних заходів послабило дію ерозійних процесів, однак не зупинило їх. На сьогодні ми маємо розорані крутосхили, вибиті, порізані водоріями та ярами пасовища, заплави розорані до самісіньких берегів рік, зникли через замулення малі річки. Україна має найвищу в Європі розораність території (57.5 %) та відсоток сільськогосподарських угідь (72.3 %). Це і призвело до того, що 30.7 % всіх земель нашої країни різною мірою зруйновано ерозією. Відсоток сільськогосподарських угідь знизився за останні 8 – 10 років приблизно на 10 %, але все ж залишається занадто високим. Зменшення площі цих угідь скоріше пов'язане з поглибленням економічної кризи і падінням сільськогосподарського виробництва, ніж з впровадженням ґрунтоохоронних заходів, таких, як заліснення, засівання тощо.

Дія антропогенних чинників ерозії проявляється через природні чинники, що, як правило, стимулюють і підсилюють їх. Було б, однак,

невірно думати, що господарська діяльність людини може лише спричинювати розвиток ерозійних процесів. Спрямованою агротехнікою, регулюванням рослинного покриву, протиерозійною організацією території людина здатна зупинити ерозію, значно підвищити родючість еродованих земель. На це може і повинна бути спрямована діяльність людини як основний на чинник припинення дії ерозійних процесів.

**Охорона ґрунтів.** Завдання охорони ґрунтів полягають у втіленні в життя науково обґрунтованої системи організаційно-господарських, агротехнічних лісомеліоративних та гідротехнічних заходів, спрямованих на раціональне використання земельних ресурсів, збереження й підвищення родючості ґрунтів, відтворення їхньої продуктивності з метою найкращого використання всіх біологічних можливостей наземних екосистем. Ефективність цих заходів залежить від глибини якісних змін у ґрунтовому покриві, спричинених стихійним або антропоїчним впливом, а також від фізико-географічних і насамперед ґрунтово-кліматичних умов.

Організаційно-господарські заходи передбачають вирощування на крутосхилах лісів, які їх надійно захищають, або садів. Вздовж водних артерій виділяються спеціальні захисні ліси водорегулюючого значення. На схилах з малопотужним ґрунтом, що легко руйнується, не можна вирощувати просапні культури, не допускається випас худоби на легких, слабо закріплених дерниною ґрунтах.

Агротехнічні заходи визначаються видом ерозії ґрунтів і типом ландшафту. Так, на землях, які зазнають водної ерозії, оранку, сівбу, культивуацію ґрунту проводять поперек схилу. Така оранка зменшує в 3-4 і більше раз поверхневий стік.

Ефективним способом боротьби з водною ерозією є розміщення борозен і рядів рослин під прямим кутом до поверхневого стоку. З цією метою в умовах слабо-розсіченого рельєфу застосовують контурний обробіток ґрунту. Добрі протиерозійні результати дають ґрунтозахисні сівоzmіни, розміщення сільськогосподарських культур смугами, поперек схилу, залуження ґрунтів на схилах. Дуже еродовані землі треба переводити з орних на луки.<sup>[1]</sup>

У районах поширення вітрової ерозії застосовують ґрунтозахисні сівоzmіни, розміщують смугами посіви й пари, висівають буферні смуги з багаторічних трав, проводять снігозатримання, безвідвальний обробіток ґрунту із залишенням стерні на поверхні полів, залуження еродованих земель. Істотне значення для боротьби з вітровою ерозією має поліпшення структури ґрунту.

Для боротьби з водною або вітровою ерозіями з успіхом застосовують мульчування ґрунтів. Матеріалом для мульчі може бути стерня, післязбиральні рештки, стружка, тирса, спеціальний папір, пласмасова плівка тощо.

У гірських районах протиерозійні заходи полягають у терасуванні схилів, їх залуженні (в посушливих районах), будівництві протисельових споруд, регулюванні випасання худоби. Особливе значення має збереження лісових фітоценозів, вирощування мішаних насаджень, практикування вибіркових і насіннево-лісосічних рубок лісу.

**Боротьба з ерозією.** Крім водної та вітрової ерозії, іноді на схилах різної крутості спостерігається спливна ерозія. Ґрунтовий покрив перенасичений ґрунтовими або талими водами, може поступово або й раптово спливати, внаслідок чого зносяться його родючі шари. Пізніше це може призвести до яружної ерозії.

Останнім часом у деяких районах зрошування спостерігається іригаційна ерозія від зрошування ґрунту напуском води й, зокрема, від його дощування. Неправильне зрошування може призвести до засолювання ґрунтів. Ґрунтові води піднімаються до поверхні. Після випаровування води розчинні солі, що містяться в ній, залишаються в приповерхневих шарах, що зумовлює їх засолення. Щоб запобігти цим явищам, треба проводити хімічний аналіз вод і відповідно визначати спосіб зрошування.

Агролісомеліоративні заходи мають важливе значення для поліпшення мікрокліматичних умов, снігозатримання та боротьби з вітровою ерозією. На роль полезахисного лісорозведення в боротьбі із посухою та ерозійними процесами вказував ще В. В. Докучаєв. За радянський період у країні створено систему полезахисних лісових смуг, яка захищає посіви від суховіїв і чорних бур, поліпшує водний режим ґрунтів і запобігає ерозії. Урожайність зернових на захищених смугами полів підвищується на 2-3 ц/га.

Щоб зменшити руйнівну дію зливових і талих вод на полях, що прилягають до балок і ярів, створюють прибалкові і прияружні лісові смуги. Яружні системи заліснюються кущовими породами, які своїм корінням захищають ґрунт від подальшого розмивання.

Гідротехнічні споруди для боротьби з ерозією ґрунтів застосовують у тих випадках, коли інші заходи не дають належного ефекту. Вони створюються в комплексі з протиерозійними насадженнями. Для перехоплення зливових вод споруджуються спеціальні колектори, які відводять поверхневий стік. У руслах річок, де швидка течія води руйнує береги, використовують берегозакріплюючі бетонні плити, блоки тощо.

**Збитки від водної та вітрової ерозії.** За історичний період на земній кулі внаслідок процесів деградації ґрунтів безповоротно втрачено близько 2 млрд га продуктивних сільськогосподарських земель, що в 1.3 рази перевищує сучасну площу орних земель. Останнім часом щороку втрачається від 5 до 21 млн га ріллі, що в 2.5 рази перевищує середньорічні втрати за останні 300 років. Розораність сільськогосподарських угідь, наприклад, у Франції становить 48, у США — 25 %. Гостро стоїть

проблема водної ерозії та дефляції ґрунтів в Україні. Надмірна розораність земель — одна з головних причин розвитку процесів ерозії ґрунтів.

В Україні з площі 42 млн га сільськогосподарських угідь зазнає дії водної ерозії 10.6 млн га, на 15 млн га поширена дефляція. Територія близько 1.6 млн га охоплена одночасною дією як водної, так і вітрової ерозії. Незважаючи на економічну кризу і падіння сільськогосподарського виробництва, ерозія прогресує зі швидкістю 100—120 тис га за рік. Це пов'язано також із зменшенням у 90-х роках обсягів впровадження протиерозійних заходів, виходом з ладу раніше створених гідротехнічних споруд і лісонасаджень. Територіальне розширення змитих ґрунтів за 1961—1995 рр. становило 2.4 млн га, у тому числі за 1991—1995 рр. — 0.4 млн га. Зросла еродованість ґрунтів: слабо еродованих — з 19.3 % у 1961 р. до 24.7 % у 1990 і 25.6 % у 1995 р.; середньо і сильнозмитих — відповідно з 6.3 до 8.1—8.8 %. У Кіровоградській, Луганській, Миколаївській, Хмельницькій і Харківській областях площа еродованих земель зросла з 1961 по 1995 р. на 12—18 %, у Львівській, Запорізькій, Донецькій, Херсонській і Чернівецькій областях — на 21—27 %.

Водна ерозія проявляється у всіх зонах країни на схилах крутістю понад 0.5°. У середньому з 1 га схилових земель змивається до 15 т родючого шару ґрунту, у Вінницькій, Закарпатській, Івано-Франківській, Львівській, Тернопільській та Харківській областях — 23–27 т. На посівах просапних культур, розміщених на схилах понад 3°, змив ґрунту зростає до 30–50 т/га. У Богуславському р-ні Київської обл. у 1988 р. був випадок, коли змив ґрунту перевищив 1600 т/га.

Вчені нараховують всього понад 30 статей збитків від ерозії (рис. 3.23, 3.24), які можуть проявитися різною мірою залежно від ґрунтово-кліматичної зони та інтенсивності сільськогосподарського виробництва. За даними М.І. Долгілевича, у степовій зоні України в середньому за рік видувається 21.5 млн т дрібнозему, з яким виноситься 39.5 тис. т фосфору, а в екстремальному 1969 р. було винесено 356 млн т дрібнозему, 667 тис. т азоту і 392 тис. т фосфору, що відповідає 1/2 внесених у ґрунт азотних та 1/3 — фосфорних добрив.

За останні десятиріччя дефляція ґрунтів охопила і територію Полісся, спричиняючи руйнування осушених торфовищ і мінеральних переосушених земель, а також переміщення пісків на грядових формах рельєфу, навіть вкритих лісовою рослинністю. Втрати дрібнозему на Поліссі становлять 2–5 т/га за рік. Вони відбуваються тривалий час у разі невисокої швидкості вітру.

На осушених торфовищах внаслідок систематичної полицевої оранки та низького рівня підґрунтових вод дефляція й мінералізація зменшують глибину шару торфу в середньому на 4.5 см за рік, в окремі роки — на 7.5 см. Під час пилових бур оголюються висіяне насіння та корені рослин,

що призводить до різкого зниження врожаю. Осушувальні системи засипаються продуктами дефляції, виходять з ладу.

*Протиерозійні заходи.* Нині вченими і спеціалістами виробництва сформульовані загальні принципи протиерозійних ґрунтозахисних заходів, в яких обчислені зональні особливості регіонів і переважання того чи іншого виду ерозії. У районах прояву одночасно водної й вітрової ерозії особливо велике значення має безполицевий обробіток ґрунту, мульчування, сівба впоперек схилів, смугові посіви культур, регулювання випасу і поліпшення пасовищ, насадження лісових смуг, заліснення вітроударних схилів, застосування полімерів-структуроутворювачів та інших препаратів, що підвищують стійкість ґрунтів проти руйнування водою і вітром.

У районах з еродованими ґрунтами одночасно із захисними заходами треба вживати заходів, що спрямовані на підвищення родючості зруйнованих ґрунтів: підвищені норми органічних і мінеральних добрив, залуження ділянок тощо.

Встановлено, що збереження на поверхні ґрунту рослинних решток при застосуванні ґрунтозахисного обробітку – найбільш простий і доступний метод для запобігання як вітрової (зниження швидкості вітру), так і водній (зменшення руйнівної дії опадів) ерозії.

Розглянемо більш детально елементи протиерозійної системи. Мета протиерозійних заходів при перевазі водної ерозії – створення умов, що перешкоджають формуванню струмків на верхніх елементах схилу. Якщо цього не можна досягти наявними засобами, необхідно передбачати „перехоплення” стоку води на задалегідь розрахованому геоморфологічному рівні для того, щоб винесення дрібнозему не перевищувало допустимі межі змиву.

У нашій країні заведена така класифікація категорій змитості: слабозмиті ґрунти (втрати від ерозії гумусу в шарі 0 – 50 см становлять 10 – 20 %), середньозмиті (20 – 50 %) і сильнозмиті (понад 50 %). Найбільш ефективними підходами до вирішення питання охорони ґрунтів є визначення допустимих втрат ґрунту, виявлення найбільш суттєвих факторів розвитку ерозії. Допустимі межі змиву для ґрунтів чорноземного типу – від 3 до 5 т/га. Однак вважається, що для умов України допустимий змив не повинен перевищувати 0,2 – 0,5 т/га, тому що навіть така втрата не в усіх випадках компенсується підвищенням ґрунтової родючості. Ґрунтозахисний комплекс на схилових землях являє собою систему взаємопов'язаних організаційно-господарських, агротехнічних, луко-, лісо- і гідромеліоративних заходів. Його здійснення повинно забезпечити одночасне вживання на території господарства заходів, що знімуть усі природні й господарські негативні фактори і дадуть можливість підвищувати родючість ґрунтів [79, 80].

Протиерозійну організацію території визначають: склад, співвідношення сільськогосподарських угідь і заходи по підвищенню їх продуктивності; типи і види сівозмін; прийоми підвищення родючості ґрунтів; кількість, межі і розміщення виробничих ділянок, сівозмін, гідротехнічних споруд, лісосмуг; об'єкти ґрунтозахисних робіт; спеціалізація господарства і його виробничих підрозділів.

Змиті ґрунти розміщені на схилах смугами різної ширини, при крутизні до 3° переважають незмиті й слабозмиті ґрунти, при 3 – 5° – слабо- і середньозмиті, а при схилі понад 5° – сильнозмиті.

Смугове розміщення еродованих земель на схилах потребує диференційованого підходу до розробки та розміщення сівозмін, спорудження меж сівозмін, полів, лінійних меж тощо.

Розподіл схилу на дві – три ділянки створює найкращі умови для застосування диференційованої системи обробітку ґрунту, використання добрив, боротьби з бур'янами, шкідниками і хворобами з урахуванням біології культур, ступеня змитості ґрунту і крутизни схилу. На цій підставі розроблені принципи ґрунтозахисної системи землеробства. На незмитих і слабозмитих ґрунтах схилів крутизною до 3° розміщують зерно-просапні сівозміни з чистим паром, багаторічними травами, зернобобовими, просапними і зерновими культурами. На слабо- і середньозмитих ґрунтах при схилі 3 – 5° рекомендується розміщувати зерно-трав'яні сівозміни, на середньо- і сильнозмитих ґрунтах схилів крутизною понад 5° – ґрунтозахисні сівозміни з багаторічними травами і зерновими культурами.

Згідно спостережень у Степу України, смугове розміщення культур сприяє підвищенню екологічної стабільності агробіоценозів. Зосередження ботанічної різноманітності культур на невеликій території сприяє зниженню чисельності багатьох шкідників, а значить і скорочуються обсяги застосування інсектицидів. Так, у посівах при чергуванні багаторічних трав (люцерни), озимої пшениці і кукурудзи 100-метровими смугами впоперек схилу чисельність шкідників була значно нижчою, ніж на цих же культурах у поруч розміщеній польовій сівозміні.

Наприклад, на 1 м<sup>2</sup> у смугах озимої пшениці личинок клопа-черепашки було 0,5, а в польовій сівозміні – 2,4. Зараженість яйцями черепашок у смугових посівах виявилася, навпаки, більш високою – 42,8 % при 12,4 % у польовій сівозміні. Злакових попелиць на 100 рослин у польовій сівозміні налічувалося 2830, а в ґрунтозахисній – 640 особин, афідофагів – 3,2 і 1,8, зараженість ними досягла 31 і 76,9 % відповідно. На кукурудзі при смуговому вирощуванні заселеність кукурудзяним метеликом становила 9 %, а в польовій сівозміні – 24,8 %; зараженість яйцями шкідника – 39,4 і 17,6 %, гусеницями – 32,4 і 4,6 % відповідно.

Протиерозійна організація території дає можливість зменшити змив на 50 %, додаткове смугове розміщення культур – на 70 %, а поєднання земляних валів з контурним обробітком ґрунту – на 90 % [84,85).

## 5.4 Забруднення ґрунтів

### 5.4.1 Забруднення ґрунтів мінеральними добривами

Вплив різних чинників на врожайність сільськогосподарських культур за оцінками спеціалістів США, оцінюється так: добрива – 41%; гербіциди – 15–20%; властивості ґрунту – 15%; гібридне насіння – 8%; зрошення – 5%; інші фактори – 11–16% .

Мінеральні добрива набули поширення наприкінці ХІХст. До того часу, в основному, застосовували органічні добрива, попіл, природні туки. У дореволюційній Росії тукову промисловість було представлено невеликими суперфосфатними заводами; азотних і калійних добрив практично не виробляли. 1913р. було виготовлено 17 тис т мінеральних добрив, що за рівнем забезпеченості ріллі становило 0,21 кгNPK [86-89].

В цілому рівень застосування мінеральних добрив коливався і залежав від економічних та екологічних вимог. Нині у США вносять 208 кг/га, Німеччині – 238, Великобританії – 365, Франції – 277 кг/га NPK. Перше місце у світі з виробництва і використання мінеральних добрив посідає Китай: виробляє – 27 582 тис т, а використовує – 36 500 тис т.кг/га

Динаміка застосування мінеральних добрив в Україні збігається з основними світовими тенденціями. За періоди з 1966–1970 рр. по 1986–1990 рр. обсяг внесення мінеральних добрив зріс у 3,2 рази, а починаючи з 1992 р. у зв'язку з економічними труднощами він зменшився у 2,2 рази, що не відповідає науково обґрунтованій потребі, і неминуче призводить до зниження родючості ґрунтів і продуктивності сільськогосподарських культур [89].

Нестача мінеральних добрив з одного боку, і використання неякісних високобаластних видів, з іншого, потребують розв'язання комплексної проблеми: забезпечити сільське господарство України достатньою кількістю мінеральних добрив і попередити можливі негативні наслідки їхнього застосування заборонаю використання низькоякісних видів [90, 91].

У сучасних умовах для отримання якісної продукції рослинництва і тваринництва у сільськогосподарському виробництві застосовуються технології, які передбачають використання хімічних елементів. Однак, за надлишкових концентрацій шкідливі елементи і хімічні сполуки з ґрунту потрапляють у рослини, зерно, корми, а отже, у продукцію тваринництва.

З агроекологічної точки зору, важливими для оцінки можливої негативної дії мінеральних добрив на довкілля є: кількісний та якісний склад мінеральних добрив, у тому числі домішок; особливості впливу на ґрунтовий комплекс і, в тому числі на кислотно-основні властивості ґрунтового розчину; процеси вилуження та міграції біогенних елементів та

токсикантів; активність мікробіологічних та біохімічних процесів у ґрунті; вплив на якість сільськогосподарської продукції.

Мінеральні добрива – це екзогенні хімічні сполуки, для оцінки їхнього впливу на природне середовище та людину використовують загальноприйняті методи.

Рівень небезпечного впливу мінерального добрива на ґрунтову систему визначають такі основні фактори [92,93].

- якісний склад добрива – вміст біохімічно активних і педохімічно активних речовин, які здатні негативно впливати на агроєкосистему;
- кількість потенційно небезпечних речовин, що буде надходити з добривом до ґрунтової системи. Цей показник буде залежати, як від вмісту небезпечних речовин у добриві, так і від дози та періодичності застосування добрива;
- ґрунтово-кліматичні умови застосування добрива, які можуть сприяти проявленню негативних властивостей добрива або, навпаки, зменшувати його негативний вплив на агроєкосистему [88].

За своїм складом мінеральні добрива поділяють на прості (містять лише один компонент із головних елементів живлення) і комплексні (містять не менше двох головних елементів живлення). Прості мінеральні добрива, залежно від елемента живлення, поділяють на азотні, фосфорні, калійні, магнієві, сірчані тощо, а комплексні – на складні, складно-змішані і змішані. За характером безпосередньої дії на ґрунт і рослини мінеральні добрива класифікують як фізіологічне й біологічно кислі, хімічно й фізіологічне лужні та фізіологічно нейтральні. Всі вони підвищують урожайність але можуть бути шкідливими. О.Ф. Смаглієм розроблена класифікація забруднювачів за ступенем небезпеки (табл.5.59) [87].

Таблиця 5.59 - Класи забруднювачів за ступенем небезпеки

Клас	Токсичність	Хімічні речовини
1	Дуже небезпечні	Миш'як, кадмій, ртуть, селен, свинець, фтор, бензопірен
2	Помірно небезпечні	Бор, кобальт, нікель, молібден, мідь, хром
3	Мало небезпечні	Барій, ванадій, вольфрам, марганець, стронцій, ацетофенол

Азотні добрива. Велике значення має оптимальна система азотного живлення рослин. Надмірна концентрація рухомого азоту (понад 6 – 8 мг/кг ґрунту) може призводити до підвищення вмісту нітратів у рослинах, що погіршує якість урожаю. Азотні добрива в багатьох випадках



підкислюють або підлужують ґрунтовий розчин, що є результатом їхньої фізіологічної кислотності або лужності. Прикладом фізіологічне кислих добрив є традиційні азотні добрива – аміачна селітра ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) та сульфат амонію ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), фізіологічне лужних – натрієва селітра ( $\text{NaNO}_3$ ). У разі біологічного окислення азоту сульфату амонію в ґрунті (нітрифікація) утворюється азотна кислота і вивільняється сірчана.

Загальна характеристика токсичної дії азотних добрив полягає у негативному впливі, пов'язаному, насамперед, з наявністю нітратного азоту. Підпорогова концентрація нітратів у воді, що визначають за органолептичним показником – 400 мг/л, підпорогова концентрація  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , яка не впливає на санітарний режим водоймища – 10 мг/л, максимальна концентрація  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , яка при постійному впливі не призводить до порушень біохімічних процесів – 2 мг/л.

Найнебезпечніші для споживання нітрати. Азот з усіх форм, в яких він існує в ґрунті, може переходити в нітритну та нітратну форми під впливом бактерій *Nitrosomonas* та *Nitrobacter*. Нітрати дуже рухливі в ґрунті, майже не абсорбуються ґрунтовим вбирним комплексом і можуть вимиватись у поверхневі та інфільтруватись у ґрунтові води.

Рослини поглинають азот у різних формах: нітратній, нітритній, аміачній, вільній молекулярній. Однак у синтезі амінокислот під час взаємодії з органічними кислотами може брати участь лише аміак  $\text{NH}_3$ . Вільний амоній у рослинах накопичується в обмеженій кількості. Збільшення його спричиняє отруєння рослин. Нітрати і нітрити при збільшенні кількості на рослини не впливають.

Вміст нітратів у рослинах залежить від видових і сортових особливостей, часу збирання врожаю та ін. Нітрати – це солі азотної кислоти, які є природними сполуками, добре розчиняються у воді, а при нагріванні можуть переходити у нітрити з виділенням кисню. Нітрати входять в склад мінеральних добрив і є натуральним компонентом харчових продуктів рослинного походження. У рослини нітрати надходять з ґрунту. Вміст нітратів у рослинах залежить від видових, сортових особливостей, фаз розвитку, часу збирання. Різні рослини накопичують різну кількість нітратів. За однакових умов найменше накопичують нітрати баклажани, томати, цибуля, більше накопичують салати, капуста, ревінь, петрушка, редька, редиска. За звичайного вирощування зовсім не накопичують нітрати яблука, різні ягоди, вишні, сливи, смородини, агрус. Менше нітратів містять дозрілі рослини. Допустима доза нітратів для людини – 5 мг/кг. Нітрати значно поширені в природі і містяться в ґрунті, воді, рослинах, організмах тварин і людей.

Одним із найважливіших чинників нітратного забруднення продукції є ступінь утилізації нітратів і нітритів у самих рослинах, що визначається інтенсивністю фотосинтетичної діяльності. Головні чинники накопичення нітратів та нітритів:

- рівень освітленості, або забезпечення рослин ФАР;
- тепловий режим ґрунту і фітоценозу;
- водний режим ґрунту;
- забезпеченість рослин елементами живлення та співвідношення між ними;
- кислотність ґрунтового розчину;
- ураження рослин хворобами і шкідниками;
- вчасність виконання польових робіт.

Вагомим чинником підвищеного накопичення нітратів у продукції рослинництва є порушення норм і правил застосування азотних добрив, а саме:

- перевищення норм внесення рекомендованих зональними науково – дослідними установами для відповідних ґрунтово-кліматичних зон;
- віддавання переваги добривам, в яких азот знаходиться у нітратній формі;
- внесення добрив без урахування вмісту в ґрунті мінерального азоту;
- проведення пізніх азотних підживлень;
- надмірно інтенсивний обробіток ґрунту.

Вміст нітратів в рослинах коливається в залежності від біологічних особливостей. Найінтенсивніше поглинають мінеральний азот рослини до цвітіння. У генеративний період запас нітритів вичерпується в міру накопичення сухої речовини. Оскільки у ранньостиглій сортів вміст сухої речовини нижчий і мінерального азоту зв'язується менше, то залишкова кількість нітратів у продукції вища, ніж у пізніх сортів [90].

Нітратний азот не піддається фізико-хімічному та фізичному поглинанню у ґрунтах, зберігає високу активність і за певних умов може вимиватися у ґрунтові води.

Максимально допустимі річні норми азоту мінеральних добрив у різних зонах України: Полісся і Лісостеп – 140, Степ – 180 кг/га поживних речовин (за винятком культурних пасовищ).

Допустима добова доза нітратів для людини, згідно з рекомендаціями ФАО/ВООЗ – 5 мг/кг; летальна – 8–15 г. Зафіксовано гострі отруєння під час роботи в полі з аміачною селітрою – гостру серцеву недостатність, ознаки міокардиту, токсичного нефриту [91-93].

Від доз азотних добрив, насамперед, залежить вміст нітратів в овочевих і кормових культурах. Першим проміжним продуктом відновлення нітратів є нітрити. Рослини звичайно не страждають від надлишку нітратів і нітритів, але ці сполуки доволі токсичні для тварин і людини, особливо нітрити, їхня токсичність у 10 разів вища за нітрати.. Нітрати й нітрити є попередниками потенційних канцерогенів N-нітрозосполук. Епідеміологічними дослідженнями доведено зв'язок між інтенсивністю застосування азотовмісних добрив та рівнем смертності від раку шлунка. Низка експериментальних даних свідчить про канцерогенну

небезпеку малих доз нітратів і нітритів у разі систематичного та тривалого їх надходження до організму.

Дотримання вимог і регламентів застосування азотних добрив, покращення умов існування рослинного організму за рахунок збалансованості факторів життя, дозволить істотно зменшувати накопичування нітратів у рослинній продукції.

Фосфорні добрива. Фосфорні добрива посідають перше місце серед мінеральних за вмістом токсичних домішок, що пов'язано з геологічним походженням та хімічною будовою фосфорних руд. Основними компонентами фосфорних руд, що йдуть на виробництво добрив, є фосфорити (осадового походження) і апатити (вивержені мінерали). Незважаючи на різне геологічне походження апатитів і фосфоритів, у їхній хімічній будові багато спільного. Вони є тризаміщеними кальцієвими солями ортофосфорної кислоти, які супроводжуються фтористим кальцієм, іншими сполуками цього катіону та різноманітними домішками:  $3\text{Ca}_3 \text{XCaX}_2$ , де X може бути у вигляді  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ . Природні фосфатні руди також мають домішки мінералів –  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2 \text{O}_3$  тощо.

За ступенем розчинності фосфорні добрива поділяють на водорозчинні (простий, подвійний, амонізований, збагачений суперфосфати), не розчинні у воді, але розчинні у цитратному розчині або слабких кислотах (преципітат, знефторений фосфат, плавлений фосфат, мартенівський фосфатшлак), важкорозчинні (фосфоритне та кісткове борошно).

Залежно від геологічного походження та географічного положення, фосфорні руди мають різну кількість домішок важких металів (ВМ) та токсичних елементів.

На особливу увагу заслуговують дані щодо вмісту у фосфорних добривах фтору. Фосфатна сировина різних родовищ містить 11 000 – 40 000 г/т фтору, 50–80% фтору, що міститься у фосфоритах, залишається у фосфорних добривах. 1-й тоні елементарного фосфору відповідає у суперфосфаті простому, подвійному та амофосі з Каратау 80, 122 і 165 кг фтору. Найбільша кількість водорозчинного фтору міститься у складних добривах, а у суперфосфаті фтор перебуває, в основному, у вигляді малорозчинних сполук – фторидів кальцію.

Фосфорити можуть бути істотним джерелом надходження у довкілля природно-радіоактивних: урану, торію, радію. Добрива, що містять у своєму складі  $^{238}\text{U}$  і  $^{232}\text{Th}$ , мають також домішки радіоактивних РЬ і Ро, які входять до радіоактивних родин цих елементів та завжди їх супроводжують. РЬ і Ро становлять помітну частку природного радіоактивного фону організму.

При виробництві добрив з фосфорних руд більша частина токсичних елементів переходить у готовий продукт. Токсичні елементи, які надходять у ґрунт з фосфорними добривами, під впливом комплексу факторів беруть

участь у іонообмінних реакціях. Вони утворюють органомінеральні сполуки – гетерополярні, комплексно-гетерополярні солі, сорбційні комплекси тощо, але їхня розчинність, рухомість, міграційна здатність та біодоступність, здебільшого, значно підвищуються, що свідчить про їхню більшу токсикологічну небезпечність.

Фосфорні добрива, здебільшого, мало впливають на зміну кислотно-основних властивостей ґрунтів – вони здатні спричинити лише слабе підкислення (суперфосфати), або дещо знижувати кислотність ґрунту (преципітат, мартенівський шлам, знефторений фосфат, фосфоритне борошно).

Загальний токсичний вплив солей фосфорної кислоти можливий лише за високих доз. Токсичність апатитів, суперфосфату і нітрофосок визначають головним чином домішки сполук фтору. Пил фосфоритів і апатитів може призводити до пневмоконіозу. Доволі багато випадків подразнюючої дії суперфосфату на слизові оболонки і шкіру. Особи, які контактують із суперфосфатом, можуть страждати на дерматити. Потрапляючи в очі, пил суперфосфату спричиняє сильне подразнення і кон'юктивіти. У працюючих тривалий час з фосфорними добривами, виникає астеновегетативний синдром, зміни у периферійній нервовій системі, невралгії та хронічний радикуліт, посилюються хвороби верхніх дихальних шляхів [87].

Калійні добрива. Сировиною для виробництва калійних добрив є природні калійні солі. Усі родовища поділяють на хлоридні й сульфатні. У свою чергу, калійні добрива бувають хлоридними (хлористий калій, змішані солі) та сульфатними (сульфат калію, калімагnezія, калійно-магnezіальний концентрат тощо). За умовами виробництва калійні добрива поділяють на концентровані (продукти промислової переробки калійних руд) – хлористий та сірчанокислий калій, сульфат калію-магнію (калімагnezія), калійно-магнієвий концентрат; сирі калійні солі (розмолоті калійні руди) – каїніт, сильвініт; калійні солі, що одержують змішуванням сирих калійних солей з концентрованими. Умови виробництва визначають якісний і кількісний склад домішок у калійних добривах.

Катіони калію при обмінному поглинанні ґрунтом водночас витісняють із ГВК еквівалентну кількість інших катіонів – водню, алюмінію, кальцію, магнію, марганцю та ін., що відбивається на реакції ґрунтового розчину. За характером дії майже усі калійні добрива хімічно або фізіологічне кислі. Із водного розчину рослини значно інтенсивніше вживають іони  $K^+$ , ніж супутні аніони  $Cl^-$  або  $SO_4^{2-}$ .

З екотоксикологічної точки зору, калійні добрива можуть являти певну небезпеку довікілью не лише тому, що впливають на реакцію ґрунтового середовища, а й тому, що містять у своєму складі доволі значні домішки хлору, натрію, магнію та сульфат-іонів, шкочочинність яких визначена

О.Ф. Смаглієм (табл. 5.59). Так, при внесенні 1 кг Кр в ґрунт водночас надходить 0,9–5,2 кг хлору та 0,2–2,5 кг Na<sub>2</sub> O.

Рухомість ґрунтових катіонів підвищується із внесенням хлористих солей, оскільки жоден з них не утворює з аніоном хлору нерозчинних солей, що є причиною вимивання з ґрунту підвищених кількостей кальцію і магнію.

При значному вмісті у ґрунтовому вбирному комплексі одновалентних катіонів калію та натрію погіршується структура ґрунту; здатність утворювати ґрунтові колоїди у натрію вище, ніж у калію.

Небезпеку можуть являти також токсичні домішки, які містяться у калійних добривах, про що свідчать результати оцінки хлористого калію: Zn– 3,1 мг/кг, Си – 8,7, Ni– 4,3, Pb– 8,7, Cd– 0,25 мг/кг

Таблиця 5.60 – Вміст токсичних домішок у калійних добривах

Добриво	Pb	Cd	Al	Hd	Cr
KCl	6,5	0,2-0,3	1,3–7,7	-	-
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12,0	1,00	0,2	0,075	0,250
Калійна сіль сира 40%-ва	4,0	0,09	2,6	–	–

Одним з основних прийомів ефективного використання калійних добрив є внесення їх під осінню оранку, щоб зменшити в орному шарі кількість хлору та інших супутніх елементів, які під впливом атмосферних опадів вимиваються у глибші шари ґрунту і до яких сільськогосподарські культури, здебільшого, відчують підвищену чутливість. Для одержання високих врожаїв сільськогосподарських культур цей прийом має свої певні позитивні сторони, але негативні для довкілля – відбувається забруднення ґрунтових і поверхневих вод внаслідок горизонтальної та вертикальної міграції токсичних елементів.

Комплексні добрива Комплексні добрива можуть містити доволі високу кількість мікроелементів у тому числі токсичних. Аналіз 100 проб мінеральних добрив різних заводів на вміст 9 елементів: Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, As, Cd показав, що найчистішими є азотні і калійні добрива. На відміну від простих мінеральних добрив, комплексні характеризувалися дещо вищим вмістом токсичних елементів.

За даними Ю. Потатуєвої Складні та комбіновані мінеральні добрива поряд з валовими формами, можуть містити доволі високу кількість рухомих форм токсичних домішок, якісний і кількісний склад яких залежить від вихідної сировини та особливостей технології виготовлення добрив – залізо, манган, хром, нікель(табл. 5.61) [95].

Таблиця 5.61 – Вміст токсичних домішок у складних і комплексних добривах, що вилучається 0,1 N HC мг/кг

Добриво	Fe	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb	Zn	Cd
Нітрофоска	360	68	11,3	6,0	3,3	14,8		0,03
Нітроамофоска	272	18	8,5	0,8	8,8	9,8	0,4	0,20
Амофос	-	-	-	14,0	-	3,3	18,0	2,4
Діамофос	-	-	-	27,0	-	5,0	21,0	0,62

Рідкі комплексні добрива (РКД) – розчини поживних солей, які мають у своєму складі два чи три дефіцитних елементи живлення, а також Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Co. Важливою особливістю РКД є те, що елементи живлення і, так звані, вторинні елементи більш розчинні у воді і тому значно легше змиваються з поверхневими водами, що може призводити до надходження їх у природні води, спричиняючи забруднення і розвиток процесів евтрофікації [88].

Мікродобрива. До складу мікродобрив входять мікроелементи, необхідні для нормального розвитку рослин – B, Zn, Mo, Cu, Co, Mg та ін. Мікродобрива поділяють на борні – борна кислота (17,1– 17,3% B), простий гранульований суперфосфат з бором (0,2% B), подвійний гранульований суперфосфат з бором (0,4% B), борномагнієве добриво (2,3% B і 14% MgO); молібденові – молібдат амонію (52% Mo), суперфосфат простий гранульований з молібденом (0,1% Mo), суперфосфат подвійний гранульований з молібденом (0,2% Mo), відходи електролампової промисловості (50% Mo); мідні – піритні недогарки (0,2% Cu у формі сульфатів, окису, закису, сульфідів), сульфат міді (25% Cu), мідно-калійні (1,0% Cu); цинкові – сульфат цинку (25% Zn), цинкове полімікродобриво; кобальтові – сульфат кобальту (21% Co), хлорид кобальту (2,7% Co).

Для ефективного використання мікродобрив у землеробстві, слід виключити можливість передозування. Якщо для основних макроелементів рівень безпечних концентрацій у ґрунтовому розчині доволі широкий, то для мікроелементів – оптимальний або нешкідливий інтервал концентрацій, доволі вузький. Перевищення необхідних концентрацій може призвести до підвищення вмісту мікроелементів у сільськогосподарській продукції і негативного впливу на довкілля. Мікродобрива рекомендують використовувати лише тоді, коли вміст мікроелементів у рослинах становить: Mn і Zn < 25 мг/кг, Si < 6, B < 10, Mo < 0,2 мг/кг [90].

Вплив мінеральних добрив на кислотно-основні властивості ґрунту.

Мінеральні добрива істотно змінювали фізико-хімічні властивості ґрунту – кислотність, вміст рухомих фракцій гумусу, рухомих алюмінію і заліза, які контролюють рухомість металів, а не їхній вміст.

Підвищений вміст рухомих сполук алюмінію має для рослин істотне значення: за їхньої наявності утворюються важкорозчинні фосфати алюмінію, фосфор яких при старінні і кристалізації осадів стає малодоступним рослинам. Крім того, алюміній токсичний для багатьох рослин; вже при концентрації у розчині 2 мг/л Al спостерігають різке погіршення розвитку кореневої системи, порушується вуглецевий, азотний, фосфатний обмін у рослинах. Вищі концентрації алюмінію призводять до різкого зниження врожаю зернових культур і навіть їхньої загибелі.

Різні види рослин і навіть різні сорти одного виду можуть значно вирізнятися за здатністю вбирати й реагувати на алюміній. У більшості рослин початкові симптоми токсичної дії алюмінію виявляються у кореневій системі. Вважають, що алюміній гальмує надходження поживних речовин до рослин і порушує співвідношення між катіонами та аніонами. Надлишок його негативно впливає на поділ клітин, змінює властивості цитоплазми та клітинних стінок, осаджує нуклеїнові кислоти.

У кислих ґрунтах ( $\text{pH} < 6,5$ ) рухомість таких елементів як Zn, Mn, Cu, Fe, Co, B та ін. значно збільшується. Вплив мінеральних добрив на геохімічні властивості ґрунтів проявляється не стільки у привнесенні низки елементів-забруднювачів, скільки у зміні особливостей міграції окремих груп ВМ, що зумовлює їхню рухомість. Змінюючи реакцію ґрунтового розчину, мінеральні добрива призводять до підвищення рухомості токсичних елементів і опосередковано діють на процеси переходу їх у рослини: зниження рН водної витяжки з 6,5 до 4,0 підвищує забруднення рослин токсичними елементами з 4 до 20 разів. Найактивніше надходження ВМ із ґрунту в рослини відбувається за кислої реакції ґрунтового розчину, що підтверджується результатами досліджень, проведених у тривалих дослідах з Cd, Pb, Ni, Cr, на різних ґрунтових відмінностях. Вапнування і внесення у ґрунт інших природних сорбентів дає змогу активно впливати на ці процеси

Серед традиційних мінеральних добрив, які можуть активно впливати на кислотно-основні властивості ґрунту, найбільшою активністю характеризуються азотні, серед яких ті, що зміщують рівновагу ґрунтового розчину в бік: підкислення – аміачна селітра, аміак рідкий, аміак водний, сульфат амонію, сульфат амонію-натрію, хлористий амоній та ін.

На кислотно-основні властивості ґрунту, хоча і меншою мірою, впливають також калійні і фосфорні добрива. Серед калійних добрив на першому місці калімагnezія; на другому –  $\text{K}_2\text{SO}_4$  і на третьому – KCl. Калійні добрива, де присутній іон  $\text{SO}_4^{2-}$ , спричиняють збільшення розчинності алюмінію й обмінна кислотність зумовлена саме його вмістом. Фосфорні добрива здебільшого мало впливають на зміну кислотно-основних властивостей ґрунтів – вони здатні спричинити лише слабе підкислення (суперфосфати), або дещо знижувати кислотність ґрунту

(преципітат, мартенівський шлам, знефторений фосфат, фосфоритне борошно).

Забруднення поллютантами верхніх шарів ґрунту внаслідок застосування мінеральних добрив. Як правило, внесення азотних добрив призводить до підвищення рухомості Mn, Fe, Zn, Cd у ґрунтах і практично не змінює рухомості Cu і Ni, а рухомість Рb при цьому знижується. Фосфорні добрива зменшують рухомість ВМ у ґрунті в результаті утворення важкорозчинних фосфатів металів. Калійні добрива менше, ніж азотні і фосфорні впливають на зміну рухомості металів.

**Фтор.** Низкою досліджень показано, що внаслідок тривалого застосування мінеральних добрив у ґрунті відбувається інтенсивне нагромадження фтору. Слід зазначити, що застосування фосфорних добрив призводить не лише до підвищення загального вмісту фтору у ґрунті, але й до швидкого нагромадження фтору безпосередньо доступного рослинам, яке, може становити 90%, порівняно з контролем.

**Хлор.** У підвищених кількостях хлор негативно впливає на сільськогосподарські рослини. Характер його дії проявляється у зниженні кількості хлорофілу у листі, інтенсивності фотосинтезу, погіршенні водного режиму і транспірації. Негативна дія хлору найбільше проявляється на піщаних ґрунтах, які мають підвищену кислотність. На дерново-підзолистих ґрунтах в орному шарі при внесенні калійних добрив, що містять хлор, вміст цього елемента може зростати на 60–290% залежно від виду культури, умов зволоження та інших факторів.

Вертикальна міграція. Вважають, що одним з небезпечних видів забруднення водних джерел є забруднення сполуками азоту. Допустима доза азотних добрив, що забезпечує ґрунтові води – 120 кг/га. Ця доза відповідає даним багатьох агрохімічних експериментів.

Нітратний азот здатний вимиватися з інфільтраційними водами на значну глибину. близько 10 м з максимумом нагромадження на глибині 2–4 м.

Вимивання з ґрунту калію, залежить від типу ґрунту, водного режиму ґрунту, резервів калію у ґрунті, процесів мобілізації та фіксації калію. Максимальне вимивання калію при внутрішньоґрунтовій міграції на різних типах ґрунтів безпосередньо з калійних добрив становило 21–30 кг/га, а відносна величина – 21–25% внесеної дози. Мінеральні добрива впливають на вертикальну міграцію токсичних елементів, але кількісні параметри цього процесу практично не вивчено.

Горизонтальна міграція. Переміщення речовин з водними потоками – найголовніший механізм горизонтального перерозподілу хімічних речовин у агроландшафті. Серед усіх видів горизонтальної міграції найбільшого значення в обміні речовин набули процеси поверхневого водного стоку. Внаслідок виносу добрив формується 11% річного стоку хлоридів, 3 – сульфатів, 8 – натрію, калію, 7 – нітратів, 11 – нітритів, 8% – фосфатів.



Більшість басейнів малих річок, особливо в зоні Лісостепу і Степу України, продовжують зазнавати доволі великого антропогенного навантаження в результаті сільськогосподарського виробництва.

Під впливом мінеральних добрив іноді спостерігають активізацію ґрунтової мікробіоти, але це явище негативно змінює рівновагу ґрунтової системи, втрачається гумус, знижується його стабільність. Так, із збільшенням доз добрив у дерново-підзолистому важкосуглинковому ґрунті зменшувався процентний вміст целюлозоруйнівних бактерій – з 79 до 29%, у дерново-підзолистому легкосуглинковому ґрунті – з 60 до 5%. У сіроземно-луговому ґрунті у спільноті мікроорганізмів, які використовують мінеральний азот, збільшилася чисельність і відсотковий вміст стрептоміцетів з 10 до 90%, на дерново-підзолистому легкосуглинковому – з 18 до 64%, на чорноземному ґрунті – з 17 до 85%. На дерново-підзолистому супіщаному ґрунті під впливом тривалого застосування мінеральних добрив спостерігали збільшення чисельності грибів на 23–66% порівняно з контролем. При застосуванні мінеральних добрив спостерігали домінування бактерій роду *Pseudomonas* і повне зникнення родів *Brevibacterium*, *Moraxella*, *Alcaligenes*, *Enterobacteraceae*, але водночас виявлено збільшення чисельності грибів роду *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Fusarium*, зменшення популяції ґрунтових черв'яків (*Eseniafetidd*) на 12–24%, що спричинено підвищенням кислотності ґрунту.

Найрозповсюдженішим проявом евтрофікування водоймищ є цвітіння води. Токсична дія вод евтрофікованого водоймища може бути зумовлена також нагромадженням нітратів і нітритів. У період активної життєдіяльності та після відмирання водорості поповнюють водоймище значною кількістю азотвмісних речовин, у тому числі й біологічно активними амінами. Останні, при взаємодії з нітратами і нітритами утворюють висококанцерогенні нітрозаміни. Ще одним фактором ризику при використанні евтрофікованих водоймищ є зміна природних умов життя збудників і переносників деяких захворювань (шистоматоз, описторхоз, трипаносомоз), а також створення умов для розвитку проміжних форм збудників та переносників паразитарних захворювань.

Мінеральні добрива, що внаслідок горизонтальної міграції надходять у водоймища, певним чином впливають на гідробіонти.

Вплив мінеральних добрив на гігієнічну якість сільськогосподарських культур. Ю. Алексєєв ще 1978 р. писав, що застосування мінеральних добрив без урахування вмісту макро- і мікроелементів у ґрунті може призвести до прихованих форм ендемій, у результаті створення екстремальних умов для проявлення дефіциту деяких елементів, необхідних для функціонування організму. Так, високі дози азотних добрив знижують вміст міді у травах до критичної межі, що може супроводжуватися виникненням анемії, захворюваннями кісткової

системи, ендемічної атаксії у тварин. Калій, який надходить з добривами, є сильним антагоністом інших лужних і лужноземельних елементів. Внесення концентрованих калійних добрив може спричиняти зміни інтенсивності використання рослинами натрію, кальцію та магнію. Збіднення кормів на магній призводить до гіпомагнієвої тетанії – небезпечного захворювання тварин. Частота випадків залежить від співвідношення калію до суми кальцію і магнію, яке не повинно перевищувати 1,4.

Загальний алгоритм проведення агроекологічної оцінки мінеральних добрив за впливом на ґрунтову систему представлено на рис. 5.29.



Рис. 5.29 - Алгоритм агроекологічної оцінки мінеральних добрив

При вивченні адитивних ефектів, ступінь стійкості агроекосистеми щодо хімічних речовин-забруднювачів оцінюють для конкретної речовини, джерелом якої може виступати мінеральне добриво. При цьому розрізняють :

– педохімічно активні речовини, які створюють кислотно-основні та окисно-відновні умови в ґрунті і впливають таким чином на загальний стан ґрунтової системи (переважно макроелементи та їхні сполуки –  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ );

– біохімічно активні речовини, які передусім впливають на живі організми – мікрофлору, рослини, тварини (As, Cd, Pb, Cr, Zn, Ni, Cu, Sn, Hg, F<sup>-</sup> тощо);

– речовини, здатні перебувати в ґрунті у таких формах, що призводить до їхньої міграції в поверхневі, ґрунтові та підземні води (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Cd, Zn тощо).

Агроекологічна оцінка мінеральних добрив директивної дії. До них відносяться фосфорити родовищ України. За даними геологічних розвідок поклади фосфоритів, придатних для виготовлення фосфорних добрив, знаходяться на території 13 областей України. Загальна кількість родовищ фосфоритів становить близько 360, у тому числі виявлено та різною мірою вивчено 8 великих родовищ із запасами 100–120 млн т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Перевагою є низька потенційна вартість фосфорних добрив з місцевої сировини, що пов'язано з особливостями розробки родовищ та технологічними схемами переробки фосфоритів. Однак слід зазначити, що фосфорити Українських родовищ належать до некондиційних руд і тому не придатні для виробництва висококонцентрованих фосфорних добрив типу суперфосфат. З них можна одержувати фосфоритове борошно та концентровані фосфоритові добрива. Дослідженнями, проведеними за кордоном та в Україні, доведено високу ефективність таких добрив, особливо на ґрунтах з кислою реакцією ґрунтового розчину. Зокрема, дослідженнями, проведеними в Росії протягом 30 років в умовах дерново-підзолистих, сірих лісових, чорноземних ґрунтів, було встановлено, що агрономічна цінність фосфоритового борошна не поступається суперфосфату. Аналогічні результати було одержано в ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського» агрономічна ефективність фосфоритів українських родовищ – Новоамвросіївського, Волинського та Ізюмського становила 52–77% від ефективності суперфосфату, а також у Поліській філії ІГА УААН на дерново-підзолистих, сірих і темно-сірих опідзолених ґрунтах з Рівненськими і Волинськими зернистими фосфоритами [9].

Фосфорні добрива, як засвідчено багатьма дослідженнями, у своєму складі містять доволі високий вміст домішок, серед яких першочерговому контролю мають підлягати ВМ, фтор та радіонукліди.

Одержані результати показали, що використання фосфоритових концентратів українських родовищ як добрив не призведе до перевищення критичної концентрації ВМ у ґрунті навіть при застосуванні їх протягом тривалого часу – Тк становить сотні і тисячі років. За величиною Тк усі фосфоритові концентрати, що досліджували, можна віднести до IV класу – малонебезпечні.

Фосфоритові концентрати різняться за вмістом рухомих форм ВМ серед загального складу. Проведені дослідження показали, що фосфоритовим концентратам північно-західного регіону властивий вищий вміст рухомих форм кадмію, південно-східного регіону – міді. Високим

вмістом рухомих форм кадмію і свинцю – найнебезпечніших елементів – характеризуються фосфоритові концентрати Ратнівського родовища.

Отже, одержані результати свідчать, що фосфоритові концентрати родовищ України за своїм складом і розрахунковими показниками небезпечності щодо забруднення орного шару ґрунту ВМ мають високий рівень екотоксикологічної безпечності, що дає змогу віднести їх до IV класу небезпечності (доза застосування – 60 кг/га  $P_2O_5$ ). При цьому слід враховувати інтенсивніший перехід ВМ із фосфоритів у ґрунт при кислій реакції середовища, що потребує контролю за рухомими формами ВМ при їхньому застосуванні на ґрунтах з низьким рівнем рН.

Оцінка фосфоритових концентратів за вмістом фтору. Тісний зв'язок фтору і фосфору спостерігають як у первинних, так і у вторинних мінералах. Хімічні властивості фтору, які визначають особливості його поведінки у природному середовищі та зумовлюють високу ступінь екотоксикологічної небезпечності, роблять обов'язковим контроль за цим елементом при застосуванні фосфорних добрив.

Найнебезпечнішим, з точки зору забруднення фтором, є ґрунти з нейтральною і лужною реакціями середовища і підвищеним вмістом у ґрунтового комплексу натрію. Таким умовам відповідають ґрунти Степової зони України, для яких коефіцієнт стійкості щодо фтору 0,24. ГДК за валовими формами фтору у ґрунті – 330 мг/кг, фоновий вміст – 200 мг/кг. Розрахунки потенційної небезпечності фосфоритів за вмістом фтору свідчать про високу можливість негативного впливу на ґрунтову систему при використанні їх як добрив – термін перевищення критичної концентрації фтору у ґрунті становить 30–48,5 років, що відповідає II і III класу небезпечності.

Термін досягнення критичної концентрації фтору у ґрунті перебуває у прямій залежності від вмісту  $P_2O_5$  у фосфоритах і зворотній – від вмісту F–. Вміст радіоактивних елементів у фосфоритових концентратах родовищ України дає можливість передбачити, що їхнє застосування не призведе до підвищення вмісту радіоактивних елементів у ґрунті вище безпечного рівня.

При застосуванні як добрив фосфоритових концентратів родовищ України якість поверхневих вод суші та естуаріїв за вмістом ВМ – Cd, Pb, Zn, Cu, Ni не буде істотно погіршуватися. За критеріями вмісту специфічних речовин токсичної дії вони належатимуть до II класу. Водночас, за вмістом фтору поверхневі води при застосуванні фосфоритових концентратів можуть перейти до III класу якості. Розрахункова концентрація F– у поверхневих водах коливалася у межах 162,9–204,2 мкг/л з найвищим показником для фосфоритових концентратів Волинського родовища.

При застосуванні фосфоритових концентратів не виникатиме загрози забруднення поверхневих вод ВМ, але може відбутися латеральна міграція

фтору у доволі великих розмірах, що призведе до погіршення якості вод. Проведені розрахунки носять прогнозний характер і мають певний рівень ймовірності, але за всіх недоліків такого підходу він дає змогу звернути увагу саме на можливі «вузькі місця» у рекомендаціях для широкого впровадження у виробництво нових видів добрив, провести додаткові дослідження і вчасно уникнути негативних впливів на довкілля.

Агрофоска (АФК) – нове фосфорне добриво, яке виготовляють з вітчизняної природної фосфоритної сировини Новоамвросіївського родовища Карпівського кар'єру (Донецька обл.) методом фізичного збагачення без хімічної переробки. Принципова технологія збагачення включає дезінтеграцію руди, грохочення, знешламлювання, мокру магнітну сепарацію митих пісків, електричну сепарацію, суху магнітну сепарацію.

Відомо, що у процесі збагачення фосфорної руди водночас із збільшенням вмісту фосфору може відбуватися концентрація у готовому продукті вмісту таких токсичних елементів як кадмій і фтор. Порівняння хімічного складу агрофоски з фосфоритовим концентратом Новоамвросіївського родовища показало, що в процесі переробки руди вміст кадмію з 0,63 підвищився до 4 мг/кг, фтору – з 2775 до 16 000 мг/кг.

Агроекологічна оцінка АФК. Одержані результати показали, що застосування АФК у дозі 60 кг/га  $P_2O_5$  не призведе до забруднення верхніх шарів ґрунту ВМ (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni), радіоактивними речовинами ( $^{137}Cs$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{226}Ra$ ). Разом з тим, використання цього добрива може бути причиною підвищення у ґрунті вмісту валових і рухомих сполук фтору вище допустимої межі: час досягнення критичної концентрації може бути менше 10 років, що вимагає регламентації  $F^-$  при виробництві добрива та особливої уваги при його застосуванні [99].

Показники радіальної міграції свідчать, що контроль при застосуванні АФК слід проводити, насамперед, за фтором і цинком ( $K_c > 3$ ), а також за кобальтом і нікелем ( $K_c > 2$ ); міграція свинцю, міді і кадмію – у межах безпечної ( $K_c < 2$ ).

Застосування АФК у рекомендованій дозі – 60 кг/га  $P_2O_5$  не справлятиме депресивного впливу на біологічну активність ґрунту. Разом з тим, підвищення дози застосування АФК може супроводжуватися активізацією процесів мінералізації органічної речовини ґрунту. За впливом на показники біологічної активності ґрунту максимально недіючого дозою АФК на фоні азотно-калійного живлення можна вважати 90 кг/га  $P_2O_5$ .

Сульфат-гуматамонію (СГА)індерективної дії– новий вид азотних добрив, що виробляють на ВАТ «Азот» м. Черкаси. Основою СГА є сульфат амонію та гумати амонію . Гумати амонію (натрію, калію) одержують екстракцією з бурого вугілля або низькосортного вугілля відповідними лугами. Гранульований гумусований сульфат амонію із

заданою концентрацією гуматів одержують додаванням у робочий розчин гуматів (гумінових кислот) і гранулюючи на спеціальній установці.

СГА при інгаляційному впливі – III (за ЛК50 зона гострої дії – 20); при потраплянні в шлунок – III, при потраплянні на шкіряні покриви – IV (у великих концентраціях має подразнюючу іритивну дію).

Гуматиамонію (натрію, калію), що входять до складу СГА, за останніми даними, належать до фізіологічно активних речовин, які у невисоких концентраціях (0,0001–0,05%) є стимуляторами росту рослин. Надходження їх у розчинному стані в рослинну клітину підсилює окисно-відновні процеси згідно з теорією Баха–Паладіна– Сент–Д'єрді, що в результаті покращує умови живлення рослин і сприяє підвищенню рівня їхньої врожайності.

Внаслідок нітрифікації азот СГА переходить у нітратну форму. Нітратний азот не поглинається колоїдами ґрунту, не утворює нерозчинних сполук і за певних умов може мігрувати вниз за профілем ґрунту і надходити у ґрунтові води агроландшафту.

Найбільш «вузьким місцем» при застосуванні СГА виявилася підвищена можливість радіальної міграції нітратного азоту, що може створювати загрозу якості природних вод. Це вимагає введення певних обмежень при застосуванні СГА на ґрунтах легкого механічного складу та з промивним гідрологічним режимом зволоження.

Максимально недіючою дозою щодо біологічної активності ґрунту можна вважати дозу СГА  $N_{60}$  кг/га, яка не спричиняє зниження активності пероксидази (найчутливішого індикаторного показника серед тих, що вивчали) більш ніж на 10%. Застосування СГА у рекомендованій дозі –  $N_{90}$ , не спричиняє значного зниження активності біологічних процесів у ґрунті (III клас небезпечності), але при цьому відбувається депресивний ефект у часі, що при тривалому застосуванні добрива може призвести до зміни функціонально-структурної організації біоценозу ґрунту.

Вплив мінеральних добрив та їх компонентів на доквілля. Нині агрохімічна наука має більш ніж достатньо доказів того, що під дією мінеральних добрив відбуваються зміни кислотно-основних властивостей ґрунтів [90].

В основі негативного впливу мінеральних добрив на кислотно-основні властивості ґрунту лежить процес біологічного окислення азоту й утворення кислот (у прикладі з сульфатом амонію -  $HNO_3$  і  $H_2SO_4$ ). У ґрунті кислоти нейтралізуються, вступаючи у взаємодію з бікарбонатами ґрунтового розчину і катіонами вбирного комплексу [91].

Через деякий час у ґрунтовому вбирному комплексі, крім  $H^+$  з'являється обмінний  $Al_3^+$ , який токсичний для багатьох рослин. Вже при концентрації у розчині 2 мг/л  $Al$  спостерігають різке погіршення розвитку кореневої системи, порушується вуглецевий, азотний, фосфатний обмін у

рослинах. Вищі концентрації алюмінію призводять до різкого зниження врожаю зернових культур і навіть їхньої загибелі.

Нині у науковій літературі нагромаджено великий обсяг даних [9 -11], які свідчать, що підвищення кислотності ґрунтового розчину може істотно впливати на рухомість у ґрунті багатьох хімічних елементів, у тому числі токсичних, тим самим активізуючи перехід їх у рослини та міграцію за профілем ґрунту. У кислих ґрунтах ( $\text{pH} < 6,5$ ) рухомість таких елементів як Zn, Mn, Cu, Fe, Co, B та ін. значно збільшується. Вплив мінеральних добрив на геохімічні властивості ґрунтів проявляється не стільки у привнесенні низки елементів-забруднювачів, скільки у зміні особливостей міграції окремих груп важких металів (ВМ), що зумовлює їхню рухомість.

Змінюючи реакцію ґрунтового розчину, мінеральні добрива призводять до підвищення рухомості токсичних елементів і опосередковано діють на процеси переходу їх у рослини: зниження рН водної витяжки з 6,5 до 4,0 підвищує забруднення рослин токсичними елементами з 4 до 20 разів [94].

Найактивніше надходження ВМ із ґрунту в рослини відбувається за кислої реакції ґрунтового розчину, що підтверджується результатами досліджень, проведених у тривалих дослідах з Cd, Pb, Ni, Cr, на різних ґрунтових відмінностях. Вапнування і внесення у ґрунт інших природних сорбентів дає змогу активно впливати на ці процеси. Але підвищення рН з метою зниження вмісту ВМ (зокрема кадмію) у продукції рослинництва ефективно не для всіх видів рослин. Ю. Алексеевим [12] було встановлено, що вапнування призводило до надходження кадмію у рослини ячменю і бобових культур.

Серед традиційних мінеральних добрив, які можуть активно впливати на кислотно-основні властивості ґрунту, найбільшою активністю характеризуються азотні [90].

На кислотно-основні властивості ґрунту, хоча і меншою мірою, впливають також калійні і фосфорні добрива. Серед калійних добрив на першому місці калімагнезія  $\text{K}_2\text{SO}_4 \text{MgSO}_4$ ; на другому -  $\text{K}_2\text{SO}_4$  і на третьому -  $\text{KCl}$ . Калійні добрива, де присутній іон  $\text{SO}_4^{2-}$ , спричиняють збільшення розчинності алюмінію, й обмінна кислотність зумовлена саме його вмістом. Фосфорні добрива здебільшого мало впливають на зміну кислотно-основних властивостей ґрунтів – вони здатні спричинити лише слабе підкислення (суперфосфати), або дещо знижувати кислотність ґрунту (преципітат, мартенівський шлам, знефторений фосфат, фосфоритне борошно).

Використання мінеральних добрив може істотно змінювати біогеохімічний колообіг речовин, що нерідко призводить до загострення екологічних проблем [92, 93].

Використання мінеральних добрив сприяє включенню біологічно активних елементів (БАЕ) у різні типи міграції, які послідовно

змінюються. При видобуванні і виробництві мінеральних добрив БАЕ включаються у техногенну міграцію, при застосуванні - у біогенну. Усі ці типи міграції є складовими єдиного біогеохімічного колообігу хімічних елементів у біосфері. Аналіз надходження БАЕ в агроєкосистеми різних ґрунтово-кліматичних зон України свідчить, що найбільша їхня кількість надійшла з мінеральними добривами у зоні Лісостепу протягом 1966-1980 рр., а з 1980 по 1990 рр. - у зоні Степу (рис.5.30).

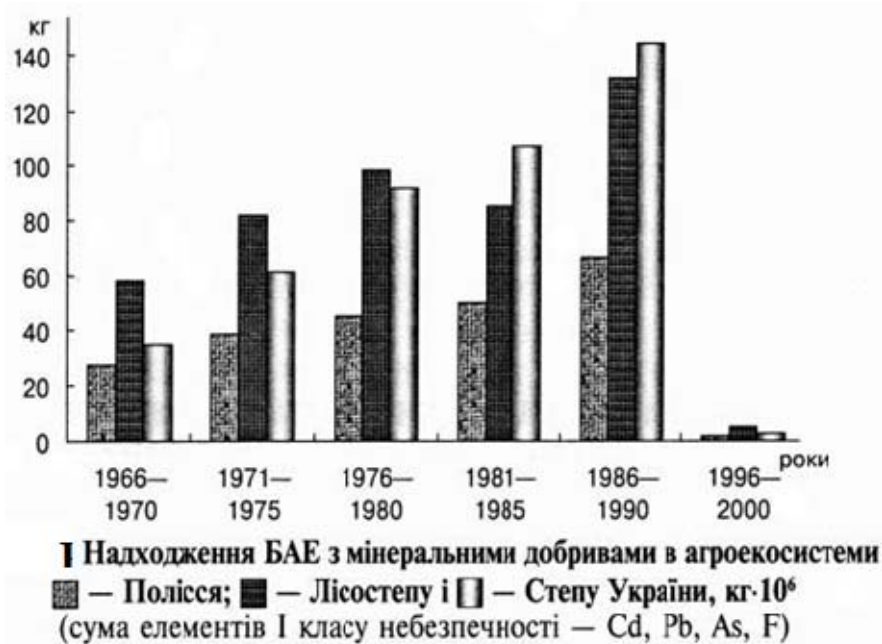


Рис. 5.30 – Надходження біологічно активних речовин з мінеральними добривами в агроєкосистеми

Хоча наявність у мінеральних добривах домішок ВМ є фактом встановленим, але інформація щодо забруднення ґрунту цими елементами в результаті застосування мінеральних добрив носить дещо суперечливий характер.

Як правило, внесення азотних добрив призводить до підвищення рухомості Mn, Fe, Zn, Cd у ґрунтах і практично не змінює рухомості Cu і Ni, а рухомість РЬ при цьому знижується. Фосфорні добрива зменшують рухомість ВМ у ґрунті в результаті утворення важкорозчинних фосфатів металів. Калійні добрива менше, ніж азотні і фосфорні впливають на зміну рухомості металів.

Низкою досліджень показано, що внаслідок тривалого застосування мінеральних добрив у ґрунті відбувається інтенсивне нагромадження фтору. Доведено, що з фосфорними добривами у ґрунт надходить 2 – 12 кг/га фтору на рік. Слід зазначити, що застосування фосфорних добрив призводить не лише до підвищення загального вмісту фтору у ґрунті, але й до погіршення біологічної активності ґрунту та швидкого нагромадження



фтору безпосередньо доступного рослинам, яке, може становити 90 %, порівняно з контролем.

У підвищених кількостях хлор негативно впливає на сільськогосподарські рослини. Характер його дії проявляється у зниженні кількості хлорофілу у листі, інтенсивності фотосинтезу, погіршенні водного режиму і транспірації [87]. Хлор має високу здатність до горизонтальної та вертикальної міграції, поряд з цим він може рухатися з висхідними токами води [91]. Рідкі комплексні добрива (РКД) – розчини поживних солей, які мають у своєму складі два чи три дефіцитних елементи живлення, а також Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Co. Важливою особливістю РКД є те, що елементи живлення і, так звані, вторинні елементи більш розчинні у воді і тому значно легше змиваються з поверхневими водами, що може призводити до надходження їх у природні води, спричиняючи забруднення і розвиток процесів евтрофікації.

Негативна дія хлору найбільше проявляється на піщаних ґрунтах, які мають підвищену кислотність. На дерново-підзолистих ґрунтах в орному шарі при внесенні калійних добрив, що містять хлор, вміст цього елемента може зростати на 60-290% залежно від виду культури, умов зволоження та інших факторів [88].

Серед хімічних елементів I класу небезпечності (Cd, Pb, As, F), що надходять у агроєкосистеми з мінеральними добривами, найбільше внесено фтору. Його кількість, що надходить на сільськогосподарські угіддя у цілому по Україні у різні періоди, може коливатися в межах 89-340 тис т. Надходження свинцю дещо менше - 54-560 т, кадмію та миш'яку - 7,2-91,5 і 19,2-27,6 т відповідно.

За розмірами надходження в агроєкосистеми з мінеральними добривами хімічні елементи I класу небезпечності можна розмістити у низхідній послідовності: F > Pb > As > Cd (рис. 5.31).



Рис. 5.31 – Динаміка надходження елементів 1 класу небезпечності в агроєкосистеми України з мінеральними добривами.

При застосуванні мінеральних добрив у різних природно-кліматичних зонах України величина  $D_m$  для більшості елементів - у межах середнього. Винятком, як правило, є фтор, для якого модуль техногенного геохімічного тиску становить 2700-2900 г/га-рік, при середньому рівні 100-1000г/га-рік. Це свідчить про те, що мінеральні добрива є активним антропогенним джерелом фтору в довкіллі. При їх застосуванні відбувається перерозподіл фтору між літосферою і педосферою з явною тенденцією нагромадження у ґрунтах сільськогосподарського використання.

У межах окремого поля, яке може виступати як складова частина єдиної агроєкосистеми, мінеральні добрива є істотним, але не єдиним джерелом токсичних елементів. У стаціонарному досліді Інституту землеробства УААН на темно-сірому опідзоленому ґрунті було вивчено обсяги надходження БАЕ з традиційними мінеральними добривами: аміачною селітрою, суперфосфатом простим гранульованим і калійною сіллю, а також з органічними добривами і меліорантами.

Участь азотних, фосфорних, калійних, органічних добрив та меліорантів у надходженні As, Cd, Pb, F у ґрунт залежить від системи удобрення. При мінеральній системі удобрення зернових культур (пшениця озима, ячмінь) найістотнішим джерелом БАЕ є фосфорні добрива - кількість елементів, що з ними надходить, становить 44,7 - 92,7% загальної. При орґано-мінеральній системі удобрення в ґрунт з органічними добривами надходить близько 86% загальної кількості БАЕ.

Співвідношення між надходженням Cd з фосфорними і органічними добривами становить близько 1: 2, Pb і As - 1: 10.

Близько 70% БАЕ надходить в агроєкосистеми з фосфорними добривами, з азотними - близько 12, калійними - 6, вапняковими матеріалами - 13%.

#### **5.4.2 Забруднення ґрунтів важкими металами**

Важкі метали належать до пріоритетних глобальних забруднювальних речовин довкілля. За своєю хімічною структурою важкі метали є простими хімічними елементами, але у довкіллі і живому організмі поведуть і виявляють себе неоднозначно: складно, багатогранно і навіть парадоксально. Беруть участь у біологічних процесах, входять до складу тканин та багатьох ферментів живих організмів, можуть бути активаторами або інгібіторами дії ферментів. Важкі метали стійкі у довкіллі.

Термін «важкі» застосовують для металів, питома вага яких перевищує 5 г/см<sup>3</sup>, або атомний номер більше 20, хоча існує й інше визначення, за яким до важких металів належить понад 40 хімічних елементів із атомною масою вище 50 ат. од. Важкі метали присутні у ґрунті як природні домішки, а причини підвищення їхньої концентрації пов'язані з діяльністю людини. Упродовж останніх десятиліть у зв'язку з бурхливим розвитком промисловості спостерігається значне зростання їхнього вмісту у біосфері, атмосфері та гідросфері, тому нині вони є одним із пріоритетних забруднювачів земельних ресурсів. В умовах інтенсивного антропогенного впливу надходження важких металів у агроєкосистему перевищує її захисні (буферні) властивості. Це призводить до зниження врожайності та якості продукції рослинництва, робить її небезпечною для людей і тварин. Залежно від роду джерела і властивостей розрізняються два типи важких металів: 1) літогенні, тобто пов'язані з материнською породою; 2) антропогенні, тобто такі, що потрапляють до ґрунту внаслідок діяльності людини. Забруднення важкими металами, в основному, має локальний характер. Найбільше забруднені території зустрічаються поблизу промислових центрів, великих виробництв, будови транспортних магістралей. Потрапляючи у ґрунт, важкі метали постійно мігрують, переходячи в ту, чи іншу форму хімічних сполук. Їхня частина піддається гідролізу, інші можуть утворювати важкорозчинні сполуки та закріплюватися у ґрунтового середовищі. У ґрунті важкі метали можуть знаходитися у трьох станах: необмінному, обмінному, водорозчинному. Причому в процесах акумуляції та трансформації металів приймають

участь всі види вбирної здатності ґрунтів. Рослини, як і всі живі організми, можуть протидіяти підвищенню концентрації важких металів лише до певної межі. А подальше збільшення їхньої концентрації веде до пригнічення і загибелі живих організмів. Наслідком накопичення важких металів у верхніх шарах ґрунту є збіднення видового складу рослин та мікроорганізмів і погіршення умов росту та розвитку культурних рослин. Забруднення ґрунту є результатом господарської діяльності у минулому і 2 зараз. Найчастіше ґрунт забруднюється сполуками металів та органічними речовинами, олівами, дьогтем, пестицидами, вибуховими й токсичними речовинами, радіоактивними, біологічно активними горючими матеріалами, азбестом та іншими шкідливими продуктами. Джерелом цих сполук найчастіше є промислові або побутові відходи, захороненні у визначених місцях, або ж несанкціонованих звалищах. У Європі проблема несанкціонованих звалищ побутових та промислових відходів заслуговує на першочергову увагу. Витрати на подолання наслідків забруднення довкілля у Європі становлять понад 10 млрд. євро. Досить небезпечним є забруднення ґрунту важкими металами такими, як ртуть, кадмій, свинець, хром, мідь, цинк і миш'як (арсен). Важкі метали присутні в ґрунті як природні домішки, але причини підвищення їх концентрацій пов'язані з: • промисловістю (кольорова і чорна металургія, енергетика, хімічна промисловість), • сільським господарством (зрошування забрудненою водою, застосуванням гербіцидів), • спалюванням викопного палива та відходів, • автотранспортом. Забруднення сільськогосподарських земель важкими металами приводить до зменшення врожаю та підвищення їх вмісту в сільськогосподарській продукції. Збільшення кількості важких металів на луках відбувається переважно у поверхневих (до 5 см) шарах ґрунту. Вони безпосередньо споживаються тваринами під час випасу. Важкі метали є токсичними і перешкоджають активності мікрофлори ґрунту. Їх концентрація у ґрунті може зберігатися впродовж десятиліть і навіть століть. Зменшення обсягів викидів важких металів – найбільш доступний спосіб обмежити їх вплив на ґрунти. Навіть якщо кількість автомобілів збільшується, то у випадку використання бензинів без шкідливих домішок), можна зменшити викиди свинцю. У Центральній і Східній Європі промислові викиди сполук важких металів все ще залишаються значними. Запровадження комплексних заходів, що обмежують підкислення ґрунту, можуть ефективно скоротити викиди важких металів. Кількість важких металів у ґрунті може бути зменшена шляхом використання добрив із низьким вмістом металів, заміни неорганічних пестицидів органічними продуктами, а також застосування інших методів. Джерелом важких металів у ґрунтах є: а) материнська порода; б) атмосферні опади (пил, дощі); в) біологічний матеріал - органічні речовини. Залежно від роду джерела і властивостей важких металів у ґрунті розрізняються два типи важких металів: 1) літогенні, тобто

пов'язані з матеріалом материнської породи; 2) антропогенні, тобто такі, що потрапляють до ґрунту внаслідок діяльності 3 людини. У другому випадку дуже суттєвими є адсорбційні властивості ґрунту. Вони зумовлені його специфічною будовою: в його складі міцели мінеральних або органічних колоїдів і ґрунтовий розчин. Міцели ґрунтових колоїдів звичайно мають від'ємний заряд, що полегшує обмінну адсорбцію осаждення іонів важких металів із ґрунтового розчину до дифузійного шару міцели. Адсорбційні властивості міцели залежать як від типу і будови колоїду, так і від природи катіону. Найбільша адсорбційна здатність, що окреслюється так званою адсорбційною ємністю (загальна кількість катіонів, яка на дифузійному шарі виражається в міліеквівалентах, м. е., на 100 г ґрунту), властива органічним колоїдам. Залежно від вмісту органічної речовини в ґрунті, в ньому, внаслідок змін адсорбційної здатності, змінюється вміст важких металів, що його визнано за природний. Адсорбційні здатності катіону зростають разом із його валентністю і залежать від радіусу іону металу в безводному і у водному стані. Найбільш зв'язаними є катіони тривалентні, наприклад,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ , а найменш зв'язаними - одновалентні. Сила адсорбції катіонів однакової валентності зростає разом із збільшенням діаметру катіонів у водному стані. На загальну адсорбційну ємність ґрунту впливають можливість обмінної адсорбції, що виникає з ізоморфного заміщення іонів, незалежно від рН, а також можливість додаткової адсорбції, що пов'язана з дисоціацією протонів активних груп. Останній із зазначених процесів значною мірою залежить від рН, тобто від кислотності ґрунту. Унаслідок зростаючої кислотності ґрунтів під впливом антропогенних процесів зростає участь кислотних ґрунтів із рН ґрунтового розчину нижче 4,65. У таких ґрунтах змінюються адсорбційні здатності, що призводить до зростання концентрації в ґрунтовому розчині деяких форм важких металів. Катіони, адсорбовані до дифузійного шару колоїду, зазнають обміну з катіонами ґрунтового розчину. Легкість і швидкість обміну катіонів залежить від типу інших катіонів в адсорбційному комплексі, а також від типу аніонів, присутніх у ґрунтовому розчині. Більш легкого звільнення з адсорбційного комплексу зазнають катіони, що утворюють важко розчинні або леткі сполуки з аніонами, присутніми в ґрунтовому розчині. Отже, процеси адсорбції супроводжуються процесами осаждення - розчинення солей іонів важких металів і значно рідше - процесами окислення. Присутність іонів  $H^+$  у ґрунтовому розчині зумовлює величину окислювально-відновного потенціалу ґрунту, величина якого визначає перебіг окислювально-відновної реакції іонів важких металів. Значна частина відновних реакцій у ґрунті протікає з участю мікроорганізмів. Частина хелатів розчиняється у воді та, утворивши у цій формі комплекс із важкими металами, засвоюється рослинами через кореневу систему. Під час реакцій іонів важких металів у ґрунтовому середовищі функцію

специфічних каталізаторів виконують ґрунтові мікроорганізми. Вони є необхідними в специфічних реакціях творення металоорганічних сполук, наприклад, сполук ртуті або миш'яку ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}^+$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{As}$ ). Метил - або загалом алкілртуть і алкіл-миш'як є достатньо стабільними сполуками, що відіграють суттєву роль в гідробіологічному циклі тих елементів. 4 Варто зауважити, що реакції алкілування (метилування) також протікають у мулі, де з огляду на зміну розчинності новоутвореної сполуки (алкільні сполуки добре розчиняються) зумовлюють нове проникнення іонів металів до водної маси. Отже, іони важких металів у ґрунті можуть виступати у вигляді як форм лабільних (активних, рухомих), так і форм нелабільних. Форми лабільні, рухомі складаються з іонів металів, що присутні в ґрунтовому розчині і обмінно адсорбовані ґрунтовими колоїдами [94].

На розподіл важких металів у ґрунті впливають наступні фактори: 1. Гранулометричний склад ґрунту. Спостерігається прямий зв'язок між ступенем дисперсності ґрунтових частинок і їхньою адсорбуючою властивістю. Підвищена дисперсність субстрату гальмує винесення атомів мікроелементів за межі ґрунтового профілю, сприяє їхньому накопиченню у ґрунті. 2. Оксиди і гідроксиди. Найбільший вплив на мобільність металів у ґрунті здійснюють оксиди і гідроксиди Fe, Al і Mn. Механізм сорбції являє собою ізоморфне заміщення іонів Fe і Mn на катіони металів. При цьому найбільша спорідненість гідроксидів Fe і Mn проявляється до аналогічних за розміром металів ( $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ). 3. Реакція середовища. Важкі метали, що потрапили у ґрунтовий розчин кислих ґрунтів, утворюють в основному розчинні орґано-мінеральні комплекси. 4. Карбонати. Карбонати – це ті сполуки, які сильно знижують рухомість мікроелементів і, у тому числі, важких металів у ґрунтах. Механізм цієї дії обумовлений як сорбційними властивостями високодисперсних фракцій карбонатів, так і їхнім опосередкованим впливом, через регуляцію реакції середовища. 5. Застосування добрив. Систематичне застосування добрив певним чином впливає на вміст мікроелементів у ґрунті і їхнє накопичення у рослинах. Вплив цей різнобічний і складний: добрива змінюють рН ґрунтового розчину і таким чином впливають на ступінь розчинності сполук мікроелементів; вони певним чином впливають на інтенсивність і направленість обмінних реакцій, на процеси акумуляції; підвищуючи врожайність сільськогосподарських культур, сприяють їхньому росту та виносу мікроелементів з ґрунту; порушують баланс мікроелементів у ґрунті, часто в негативний бік. 6. Орґанічна речовина ґрунту. Орґанічна речовина є інактиватором важких металів у ґрунті: збільшує його буферність, сприяє зниженню токсичної дії металів і перешкоджає їхньому надходженню у рослини. Процеси взаємодії орґанічної речовини ґрунту з іонами металів ідентифікуються як іоноутворення, адсорбція на поверхні, хелатування,

реакції коагуляції і пептизації. Основними продуктами взаємодії є прості солі (гумати, фульвати) і хелатні сполуки. 7. Грунтова біота. Багатьма авторами було показано, що вміст у ґрунті рухомої форми важких металів динамічний у часі. Причини змін можуть бути різні, однак у більшості випадків коливання пояснюються діяльністю ґрунтових мікроорганізмів і віковими змінами рослин, що впливають на інтенсивність поглинання хімічних елементів. На мікробіологічну діяльність великий вплив здійснює волога ґрунту, яка тісно пов'язана з погодними умовами і тому не може мати певного ритму. Динаміка рухомих форм важких металів може бути 5 значною: максимальні величини можуть переважати мінімальні у 5 разів і більше. 8. Тип ґрунту. За здатністю міцно фіксувати важкі метали і швидкістю процесу трансформації, що вивчені Н. Г. Зирінім зі співавторами (1985) ґрунти розташовуються у такий ряд: чорнозем типовий > дерново-підзолистий окультурений > дерново-підзолистий неокультурений. 9. Міграція за профілем ґрунту. Важкі метали, що потрапили у ґрунт, перш за все їхня мобільна форма, підлягають різним трансформаціям. Один з основних процесів, що впливають на їхню частку у ґрунті є закріплення гумусом. Міграційні можливості при цьому в основному знижуються. Саме цим пояснюється їхній підвищений вміст у верхньому найбільш гумусованому шарі ґрунту. Глибина проникнення важких металів у забруднених ґрунтах звичайно не перевищує 20 см, проте при сильному забрудненні вони здатні проникати і на глибину до 160 см. Найбільшою міграційною здатністю характеризуються Hg і Zn, які, як правило, рівномірно розподіляються у шарі ґрунту на глибині 0- 20 см. Pb частіше накопичується у поверхневому шарі (0-2,5 см), Cd займає проміжне положення між ними. 10. Особливості металу. Встановлено, що метали-забруднювачі мають неоднакову здатність до адсорбції, від чого їхня токсичність для рослин при однаковому забрудненні може бути різною. Так, при однакових умовах іон купруму адсорбується у більшій кількості, ніж іон кадмію. Цинк утримується ґрунтами більш міцно, ніж кадмій, тому що найбільша його кількість зв'язана з оксидами заліза. Кадмій, в основному, знаходиться в обмінній формі, а з оксидами заліза зв'язана лише невелика його кількість. 11. Форми знаходження важких металів у ґрунті. ВМ в ґрунтах присутні в різних формах: в ґрунтовому розчині – у формі вільних катіонів і асоціатів з компонентами розчину; у твердій частині ґрунтової маси – у формі обмінних катіонів і їхніх заряджених комплексних сполук, адсорбованих на поверхні ґрунтових часточок; у вигляді ізоморфних домішок у структурах глинистих мінералів; гелів заліза, алюмінію і марганцю, а також у формі власних мінералів і стійких осадів малорозчинних солей. 2. Токсична дія важких металів накопичених у ґрунті та способи її зниження

ГДК важких металів – це така їхня концентрація, яка при тривалому впливі на ґрунт і рослини, що ростуть на ньому, не викликає яких-небудь

патологічних змін чи аномалій біологічних процесів, а також не призводить до накопичення токсичних елементів у сільськогосподарських культурах і, відповідно, не може порушувати біологічний оптимум для сільськогосподарських тварин і людини **6** (табл. 5.1 )В Україні передбачений наступний розподіл земель за вмістом важких металів для ведення сільськогосподарського виробництва: землі придатні для сільськогосподарського виробництва без обмежень;– землі придатні, але за умови проведення заходів щодо зменшення– надходження важких металів до продукції; непридатні, зі зміною напрямку використання.– Н. А. Макаренко вказує на те, що валовий вміст важких металів доцільно використовувати для загальної характеристики стану ґрунтів і їхньої потенційної небезпечності. Лише вміст рухомих форм буде зумовлювати рівень їхньої токсичності. Метали саме у рухомих сполуках негативно впливають на ґрунтовий біоценоз, що неодноразово було доведено вітчизняними і зарубіжними спеціалістами. Існування зворотного зв'язку між вмістом важких металів у ґрунті і врожаєм враховується, наприклад, румунськими дослідниками при класифікації ступеня забруднення ґрунтів (Rauta, Carstea. 1986) табл. 5.62 [94, 95].

Таблиця 5.62 – Взаємозв'язок між вмістом важких металів та урожайністю

Ступінь забруднення ґрунту	Зниження врожайності, %
Практично не забруднений	< 5
Злегка забруднений	6-10
Середньо забруднений	11-25
Сильно забруднений	26-50
Дуже сильно забруднений	51-75
Надлишково забруднений	>75

Слід зазначити, що згідно з багатьма дослідженнями пороговим слід вважати зниження урожаю на 15-20%, оскільки при цьому відбувається накопичення важких металів у частинах рослин, що вживаються у їжу, вище ГДК. Класифікацію ґрунтів за ступенем забруднення важких металів проводять за ГДК та за фоновим вмістом у ґрунті. За ступенем забруднення ґрунти поділяють на сильнозабруднені, середньозабруднені, слабкозабруднені. До сильнозабруднених належать ґрунти, в яких вміст важких металів у декілька разів перевищує ГДК і які мають внаслідок забруднення низьку біологічну активність та продуктивність, зазнали істотних змін фізико-хімічних та біологічних характеристик. Вміст важких металів на цих ґрунтах зазвичай у рослинній продукції перевищує встановлені норми. До середньо забруднених належать ґрунти, у яких встановлено перевищення ГДК без видимих змін властивостей, до



слабкозабруднених – вміст важких металів у яких не перевищує ГДК, але вищий від природного фону. Показником градації ґрунтів за ступенем забруднення може бути прийнято і кратність підвищення середнього вмісту металів у ґрунтах, виражену у вигляді коефіцієнта накопичення (КН) металів. Незабруднені ґрунти характеризуються значенням 1-2 КН. Виділено такі групи ґрунтів за ступенем забруднення: слабо (до 10 КН), середньо (10-30 КН), сильно (30-60 КН) і дуже сильно (більш як 60 КН) забруднені. Керуючись гігієнічним принципом оцінки забруднення ґрунтів, можна прийняти, що ГДК важких металів у ґрунтах перебуває в межах градації сильного ступеня забруднення ґрунтів. Оскільки ґрунти досить часто є забрудненими одночасно декількома елементами, то для них розраховують сумарний показник забрудненості, який відображає комплексний ефект впливу всієї групи елементів: де:  $ZC$  – сумарний показник забрудненості ґрунтів;  $K_{ci}$  – коефіцієнт концентрації  $i$ -того хімічного елементу у пробі ґрунту;  $n$  – кількість врахованих хімічних елементів. Коефіцієнт концентрації визначається за формулами: або де:  $C$  – реальний вміст визначеного хімічного елементу в ґрунті, мг/кг;  $C_f$  – фоновий вміст визначеного хімічного елементу в ґрунті, мг/кг; ГДК – гранично допустима концентрація забрудненої речовини, мг/кг. Сумарний показник забрудненості може бути визначений як для всіх елементів однієї проби, так і для ділянки його середній вміст у рослинах 50 мкг/г сухої речовини.  $Zn$  має слабку фітотоксичність, що території за геохімічною вибіркою. Оцінка небезпечності забруднення ґрунтів комплексом хімічних елементів за показником  $ZC$  виконується за оціночною шкалою, градація якої розроблена на підставі вивчення стану здоров'я населення, яке мешкає на 8 територіях з різними рівнями забрудненості ґрунтів (табл. 5.63).

Забруднення ґрунтів такими високотоксичними елементами як свинець, кадмій, цинк, мідь, з перевищенням гранично допустимих концентрацій, у зонах природних геохімічних аномалій (Карпати, Крим) та забруднення на земельних ділянках, які раніше були заняті під садами, виноградниками та ягідниками. Щодо забруднення важкими металами рослинної продукції, то випадки перевищення максимально допустимих рівнів зустрічаються практично лише щодо кадмію у соняшнику та продуктах його переробки, що обумовлено природною властивістю цієї культури до накопичення калію, цезію та кадмію. Токсична дія деяких важких металів.

Цинк. Ґрунт: кларк цинку в земній корі 7·10<sup>-3</sup>%. Існує 72 цинкових мінерали (мінеральних видів). Вміст його у ґрунтах залежить від материнської породи, вмісту органічної речовини, реакції ґрунтового розчину. Вміст валового  $Zn$  у ґрунтах змінюється від 5,5 до 132,5 мг/кг. Ґрунти України бідні на рухомі форми  $Zn$  і містять від слідів до 0,30 мг/кг сухого ґрунту.  $Zn$  і  $Cd$  тісно пов'язані: чим більше у ґрунті  $Zn$ , тим більше у ньому  $Cd$ . Відношення  $Zn$  до  $Cd$  становить близько 1000:1

(А.П. Виноградов, 1950). У гумусовому шарі вміст Zn підвищується. За даними наукових установ, цинкові добрива треба вносити в ґрунт тоді, коли вміст у ньому рухомої форми в орному шарі менше 0,3 мг/кг (П.А. Власюк, 1964). У зв'язку з можливою шкідливою дією надлишків Zn на живі організми встановлено його ГДК, яке становить 300 мг/кг у ґрунті для валових форм і 23 мг/кг – для рухомих форм цинку.

Таблиця 5.63 – Орієнтовна оціночна шкала небезпечності забруднення ґрунтів за сумарним показником  $Z_c$

Категорія забруднення ґрунтів	$Z_c$	Зміна показників якості здоров'я мешканців у зонах забруднення ґрунтів
Допустима	$\leq 16$	Найнижчий рівень захворювання дітей та мінімум функціональних відхилень у дорослого населення
Помірно небезпечна	16 – 32	Підвищення загального рівня захворювань
Небезпечна	32-128	Підвищення загального рівня захворюваності, кількості часто хворіючих дітей, дітей з хронічними захворюваннями, порушення функціонування серцево-судинної системи.
Дуже небезпечна	$> 128$	Підвищення захворюваності дітей, порушення репродуктивної функції у жінок (збільшення випадків токсикозу при вагітності, передчасних пологів, мертвонароджених, гіпотрофія немовлят).

Рослини: вміст Zn в рослинах коливається від 15 до 22 мг на 1 кг сухої речовини, винос з урожаєм різних культур від 75 до 188 г на 1 га (М.В. Каталимов, 1960), за іншими джерелами (Б. Ф. Федюшкін, 1989) від 1200 до 2100 г/га. На думку Р.Брукса (Brooks, 1983), ознаки токсичності проявляється тільки при збільшенні його вмісту у ґрунті. Ознаки фітотоксичності проявляються при концентрації у тканинах 300-500 мг/кг сухої речовини. Zn входить до складу ферментів, бере участь у білковому, вуглеводневому, фосфорному обміні речовин, у біосинтезі вітамінів та росткових речовин. ГДК для цинку становить 200-400 мг/кг сухої маси

рослин. Тварини і людина: цинк, як і інші мікроелементи, надходить у тваринний організм з кормами. Він активізує гормони статеві, передньої частини гіпофізу і підшлункової залози. Цинк входить до складу гормону підшлункової залози інсуліну, регулюючи при цьому вуглеводневий обмін; статевих гормонів, активізуючи тестостерон, фолікулін, пролін; відіграє важливу роль у процесах запліднення і відтворення. Його тісний зв'язок з гормонами, ферментами і вітамінами зумовлює регулюючий вплив на репродуктивну функцію, обмін вуглеводів, білків, жирів, систему кровотворення, ріст і розвиток організму тварин. Цинк виявлений у складі ферментів дегідрогенази, пептидази, трансфосфорилази, карбоксипептидази, карбоангідрази, уреази. Ці ферменти беруть участь в обміні білків і вуглеводів. Цинк каталізує ферменти аргіназу, дегіропептидазу, енолазу та ін. Отже, він бере участь у процесах клітинного дихання та окислення вуглеводів. Цинк є необхідним для утворення і дозрівання сперматозоїдів. При надлишковому надходженні до організму людей і тварин токсично діє на серце, кров та інші органи, виявляє канцерогенну дію. Засвоєння тваринами цинку з різних кормів неоднакове. Наприклад, цинк кукурудзи засвоюється в кількості 52%, пшениці – 60%, гороху, ячменю, вівсу і бобів – 66-68%, люпину – 80% від прийнятого.

Свинець. Розроблені ГДК значно відрізняються один від одного. За одними даними, ГДК валових форм Pb в ґрунті становить 100 мг/кг, за іншими – 15-20 мг/кг; 32 мг/кг. ГДК його рухомих форм у ґрунті становить 2 мг/кг. Рослини. Свинець має невисоку фітотоксичність: наявність у рослинах системи інактивації елементів, що проникають у кореневу систему, затримує основну його частину у коренях рослин. Дуже високі концентрації Pb можуть суттєво пригнічувати ріст рослин і викликати хлороз, що обумовлений порушенням надходження Fe. Звичайний вміст Pb в сільськогосподарських культурах, що використовуються у їжу – 1-5 мг/кг сухої речовини ГДК Pb овочевих і зернових культур становить 0,3 мг/кг, але є і більш високі показники (до 10 мг/кг сухої маси). Допустима концентрація у кормах – до 10 мг/кг. Тварини і людина. Отруєння тварин свинцем трапляється у місцевостях, де трава містить свинцю до 150 мг і більше в 1 кг сухої речовини [2].

Кадмій. Ґрунт: кларк Cd у літосфері  $1,3 \cdot 10^{-5}\%$  або 0,13 мг/кг. В ландшафті він є рідким розсіяним елементом. ГДК Cd у воді 10 мг в 1 л. Для ґрунтів Франції встановлено ГДК 3 мг на 1 кг ґрунту, в нашій країні – 3 мг/кг для валових форм і 0,7 мг/кг – для рухомих. Більш інтенсивно надходить Cd у рослини на кислих ґрунтах і значно менше на нейтральних і лужних, тому для зниження його надходження велику роль відіграє вапнування.

Токсичний вплив на рослини. Цей елемент, маючи надзвичайно високу токсичність, легко пересувається у ґрунтах, швидко засвоюється і

накопичується у рослинах. Внаслідок значної акумуляції у них кадмію спостерігається почервоніння і хлороз листків, стебел, черешків. Негативний вплив на тварин виявляється не відразу після поїдання забрудненого корму, а лише через деякий час. Фітотоксичність Cd пояснюється його подібністю за хімічними властивостями до Zn. Він може заміщувати Zn у багатьох біохімічних процесах, порушуючи роботу ферментів, що призводить до цинкової недостатчі і, як наслідок, пригнічення росту рослини та її гибелі. Токсичний вплив на тварин і людину. Цей метал здатен заміщувати цинк в ензиматичних системах, необхідних для формування кісткової тканини, що супроводжується важкими захворюваннями, які вражають кісткову систему. Кадмій знижує здатність організму протистояти хворобам. Він має мутагенні і канцерогенні властивості, негативно впливає на спадковість, а також руйнує еритроцити крові, сприяє захворюванням нирок і сім'яних залоз, викликає гастрит і анемію (В. Г. Мінеєв та ін., 1981). Для людини допустима доза Cd становить 70 м/кг на добу для дорослих і повністю виключає його присутність у питній воді та їжі для дітей [97]. Найпоширеніші сьогодні в біосфері - це свинець, ртуть, кадмій, мідь, цинк. Значна питома вага цих елементів у забрудненні навколишнього середовища зумовлена спалюванням мінерального палива: у попелі вугілля та нафти виявлено майже всі метали. Так, у одній тонні попелу після спалювання кам'яного вугілля знаходиться 500 г германію, 500 г миш'яку, 400 г урану, 300 г кобальту, 200 г олова, 200 г цинку та багато інших важких металів. Основними джерелами штучних аерозольних забруднень повітря та пилу важкими металами є теплоелектростанції, збагачувальні фабрики, металургійні, цементні, магнезитні та сажові заводи, автомобільний транспорт, відходи тваринництва та господарсько-побутові відходи, пестициди. У повітря з викидами потрапляють оксиди цинку, міді, свинцю, миш'яку, кадмію, ртуті, хрому, кобальту та багато інших. Розроблена таблиця допустимого вмісту тяжких металів в сухій речовині (табл. 5. 64).

Рівень забруднення ґрунтів є інтегральним показником багаторічного забруднення всього довкілля. Допустимий вміст забруднювальних речовин у ґрунтах країн ЄС, США, Канаді, Англії перевищує гранично-допустимі концентрації цих речовин у порівнянні з Україною в десятки та сотні разів. До прикладу, у Канаді вміст свинцю в ґрунтах житлових кварталів і парків допускається до 500 мг/кг, а в ґрунтах промислових зон або під комерційне використання – до 1000 мг/кг, у сільськогосподарських ґрунтах – 37,5 мг/кг (в Україні – 32 мг/кг валовий вміст свинцю у ґрунті).

В Англії допустимі рівні вмісту свинцю в залежності від категорії використання ґрунтів коливаються від 300 до 2000 мг/кг, у Німеччині – від 200 до 2000 мг/кг, у Нідерландах – від 85 до 600 мг/кг, у США – від 300 до

6000 мг/кг. Вміст кадмію у ґрунті також суттєво коливається: від 0,3 – 10,5 мг/кг в Україні до 30 – 800 мг/кг у США [98, 99].

Таблиця 5.64 – Допустимий вміст забруднюючих речовин у рослинному матеріалі і винос елементів із врожаєм

Елемент	Допустимий вміст, мг/кг сухої речовини	Винос із врожаєм, г/га	Елемент	Допустимий вміст мг/кг сухої речовини	Винос із врожаєм, г/га
Берилій	0,1	0,5-1,0	Фтор	0,4 – 3,0	10-30
Бром	-	50-150	Нікель	0,1-50	1-80
Кадмій	0,015-0,5	0,3-8,0	Свинець	0,06	1-5
Миш'як	0,1-1,0	1,0-50	Сурма	2-20	20-200
Хром	0,2-1,0	1,0-10	Селен	0,2-2,0	1-15
Ртуть	0,05-1,0	0,2-15	Олово	0,8-6,0	5-50

Клас небезпечності речовин представлено в табл.5.65.

Таблиця 5.65 – Клас небезпечності хімічних речовин

Клас	Хімічна речовина
I. Дуже небезпечні	Миш'як, кадмій, ртуть, селен, свинець, фтор, бензопріл
II. Помірно небезпечні	Бор, кобальт, нікель, молібден, хром, мідь
III. Малонебезпечні	

Для визначення класу небезпечності речовин встановлені нормативи (табл. 5.66).

Таблиця 5.66 – Показники для визначення класу безпеки хімічних речовин

Показник	Норма для класу безпеки		
	I	II	III
Токсичність, ЛД50	<200	200-1000	>1000
Персистентність в ґрунті, міс	>12	6-12	<6
МДК в ґрунті, мг/кг	<0,2	0,2 – 0,5	>0,5
Міграція	Мігрують	Слабо мігрують	Не мігрують
Персистентність в рослинах, міс	>3	1-3	<1
Вплив на харчову цінність сільськогосподарської продукції	великий	помірний	відсутній

### 5.4.3 Забруднення ґрунтів радіонуклідами.

Ґрунтова оболонка біосфери – педосфера є однією із основних компонентів у природі, де відбувається локалізація штучних радіонуклідів і їх викид у навколишнє середовище внаслідок техногенної діяльності людини. Ґрунтовий покрив не завжди є первинною ланкою, у яку надходять штучні радіонукліди. У багатьох випадках таким первинним резервуаром служать нижні шари атмосфери, куди проводяться викиди радіонуклідів. Однак внаслідок того, що досить інтенсивно протікає очищення приземного повітря від різноманітних домішок, радіонукліди швидко осідають на ґрунтовий покрив. Можливо також надходження в ґрунт радіонуклідів і після їхнього попадання у гідрографічну мережу з паводковими водами, при зрошенні й т.п. Ґрунт має винятково велику ємність поглинання радіонуклідів, як, втім, і інших техногенних домішок, і інтенсивна їх сорбція в ґрунтах забезпечує створення в наземному середовищі потужного депо радіонуклідів [100].

**Сорбція радіонуклідів у ґрунті** має двояке значення для їхньої міграції у біосфері й, зокрема, у сільськогосподарській сфері. З одного боку, закріплення їх у верхніх шарах ґрунту, де розміщується коренева система рослин, забезпечує існування в природі довгостроково діючого джерела радіонуклідів для кореневого накопичення рослинами. З іншого боку, сильна сорбція твердою фазою ґрунту радіонуклідів обмежує їхнє засвоєння через кореневу систему рослин. Це діалектичне протиріччя в ролі сорбції радіонуклідів ґрунтовим поглинаючим комплексом обумовлює довгострокову підтримку процесів накопичення радіонуклідів рослинами із ґрунту.

У різних радіологічних ситуаціях, пов'язаних з виведенням радіонуклідів у сільськогосподарську сферу (особливо це стосується випадків, коли в навколишнє середовище надходять довгоіснуючі радіонукліди), акумуляція радіонуклідів рослинами із ґрунту визначає вихідні масштаби включення радіонуклідів у харчові ланцюжки в системі "радіоактивні випадання – ґрунт – сільськогосподарські рослини – сільськогосподарські тварини – люди". Із цим пов'язане важливе значення ланки "ґрунт – рослина" в загальному циклі кругообігу радіонуклідів у наземному середовищі в цілому та у агропромисловій сфері зокрема. Поглинання радіоактивних речовин рослинами із ґрунту в першу чергу залежить від його властивостей – від ґрунтової хімії радіонуклідів. Ґрунт є одним з найважливіших сільськогосподарських об'єктів, які піддаються інтенсивному впливові з боку людини при агропромисловому використанні – механічній обробці, обводнювальній або осушувальній меліорації, внесенні добрив та ін. Все це впливає і на ґрунтову хімію радіонуклідів.



Рис. 5.32

**Ґрунт** є багатофазною, полідисперсною, поліфункціональною системою. Для переважної більшості радіонуклідів поглинання їх ґрунтом визначається процесами розподілу між двома основними фазами – твердою і рідкою (ґрунтовим розчином) і здійснюється в основному за рахунок процесів сорбції – десорбції радіонуклідів, осадження - розчинення важкорозчинних з'єднань і коагуляції – пептизації колоїдів. В.М. Прохоров виділив три групи факторів, які впливають на рухливість радіонуклідів у ґрунтах: зв'язані із властивостями ґрунтів, залежні від характеристик радіонуклідів та визначувані кліматичними умовами.

**Основні особливості ґрунтів** як адсорбентів полягають у ряді специфічних особливостей ґрунтів як іонітів.

– **Ґрунти відрізняються** поліфункціональністю, викликаною розходженнями у природі іонообмінних місць через неоднорідність мінералогічного складу і присутність органічної речовини. З поліфункціональністю ґрунтів зв'язана різна міцність адсорбції іонів твердою фазою ґрунту.

– **Ґрунт – полідисперсна система**, яка в першу чергу впливає на кінетику адсорбції й десорбції іонів та визначає ступінь досягнення рівноважного розподілу.

– **У ґрунті завжди присутня** органічна речовина, яка в залежності від фізико-хімічних властивостей радіонуклідів впливає на їхню сорбцію. В цілому в сорбції визначальними є наступні властивості ґрунтової органічної речовини: здатність утворювати розчинні комплексні з'єднання

та здатність взаємодії з мінеральними частками, що приводить до екранування їхньої поверхні.

– У ґрунтах живуть мікроорганізми, які, поглинаючи радіонукліди, здатні після включення їх у метаболічні реакції трансформувати форму знаходження радіонуклідів і виводити їх у ґрунт в формі іонів або нуклідоорганічних з'єднань.

– Ґрунти здатні до фіксації (необмінної адсорбції) деяких іонів.

– Властивості ґрунтів непостійні в часі, що викликано змінами температури, вологості й окислювально-відновного потенціалу, а також ростом і відмиранням кореневої системи рослин, господарською діяльністю людини та ін.

Показником розподілу радіонуклідів між твердою й рідкою фазами ґрунту є коефіцієнт розподілу  $Kp$ , який представляє відношення рівноважних концентрацій радіонукліда у твердій і рідкій фазах. Частотний розподіл значень  $Kp$ , у ґрунтах відповідає логнормальному закону. (табл. 5.67).

Таблиця 5.67 – Параметри розподілу  $Kp$  радіонуклідів у ґрунтах різного гранулометричного складу

Радіонуклід або елемент	$\frac{\bar{Kp} \pm \sigma}{\text{Ґрунт} \cdot \text{Розмах}}, \text{см}^3/\text{г}$	Параметри логнормального розподілу	
		$\bar{\mu}$	$\bar{\sigma}$
1	2	3	4
<sup>59</sup> Fe	$PG \cdot \frac{6,8}{4,4-9,6}$	–	–
<sup>65</sup> Zn	$ПГ \cdot \frac{622 \pm 912}{0,1-2,12 \cdot 10^3}$	1,76	1,69
	$МГ \cdot \frac{51,8+68,2}{3,6-100}$	1,28	1,02
	$ГГ \cdot \frac{(4,0 \pm 4,9) \cdot 10^3}{70-1,3 \cdot 10^4}$	3,19	0,83
<sup>90</sup> Sr	$ПГ \cdot \frac{26,0+30,2}{2,0-114}$	1,16	0,50
	$МГ \cdot \frac{49,5 \pm 72,4}{8,0-300}$	1,44	0,43
	$ГГ \cdot \frac{449 \pm 416}{8-1,15 \cdot 10^3}$	2,29	0,82
	$РГ \cdot \frac{27}{0,37-400}$	1,40	0,90
<sup>90</sup> Y	$РГ \cdot \frac{219}{95-440}$	–	–

Кінець табл. 5.64



1	2	3	4
$^{95}\text{Zr}-^{95}\text{Nb}$	$PG \cdot \frac{164}{50-6,3 \cdot 10^3}$	2,50	1,0
$^{99m}\text{Tc}$	$PG \cdot \frac{0,03}{0,003-0,28}$	-1,5	0,5
$^{131}\text{I}$	$III \cdot \frac{0,55 \pm 0,36}{0,2-1,2}$	-0,34	0,29
$^{137}\text{Cs}$	$III \cdot \frac{(2,16 \pm 3,23) \cdot 10^3}{10-1 \cdot 10^4}$	2,67	0,93
	$MG \cdot \frac{(1,14 \pm 0,78) \cdot 10^4}{650-1 \cdot 10^4}$	3,91	0,42
	$IG \cdot \frac{(0,84 \pm 1,36) \cdot 10^4}{65-32 \cdot 10^4}$	2,95	1,22
	$PG \cdot \frac{1,1 \cdot 10^3}{10-5,2 \cdot 10^4}$	3,0	0,8
$^{141}\text{Ce}$	$PG \cdot \frac{1,1 \cdot 10^3}{5,8-6,0 \cdot 10^3}$	3,0	0,6
$^{232}\text{Th}$	$PG \cdot \frac{6 \cdot 10^4}{(0,2-51) \cdot 10^4}$	4,8	0,6
$^{226}\text{Ra}$	$III \cdot \frac{(1,04 \pm 2,08) \cdot 10^4}{106-3,8 \cdot 10^4}$	3,40	1,29
	$MG \cdot \frac{(3,0 \pm 4,4) \cdot 10^5}{(0,2-9,5) \cdot 10^5}$	5,10	0,69
	$IG \cdot \frac{(1,56 \pm 1,72) \cdot 10^4}{6,96-5,6 \cdot 10^4}$	3,96	0,55
$^{238}\text{U}$	$PG \cdot \frac{45}{11-4,4 \cdot 10^3}$	1,6	0,6
Np	$III \cdot \frac{37,6 \pm 94,6}{0,16-390}$	0,678	0,973
	$MG \cdot \frac{47,6 \pm 35,9}{1,27-95}$	1,426	0,693
	$IG \cdot \frac{1327 \pm 1529}{41-3200}$	2,619	0,922
	$OG \cdot \frac{857,5 \pm 101,1}{786-929}$	2,932	0,051
Pu	$III \cdot \frac{(1,04 \pm 1,57) \cdot 10^3}{33-6,87 \cdot 10^3}$	2,663	0,596
	$MG \cdot \frac{(1,39 \pm 3,08) \cdot 10^4}{230-9,0 \cdot 10^4}$	3,474	0,791

1	2	3	4
	$ГГ \cdot \frac{(4,28 \pm 6,89) \cdot 10^4}{316 - 1,9 \cdot 10^5}$	3,706	1,05
	$ОГ \cdot \frac{(2,29 \pm 2,82) \cdot 10^4}{(0,16 - 6,2) \cdot 10^4}$	3,970	0,747
Am	$ПГ \cdot \frac{(6,5 \pm 11,2) \cdot 10^3}{82 - 4,35 \cdot 10^4}$	3,105	0,817
	$МГ \cdot \frac{(1,44 \pm 1,13) \cdot 10^4}{0,16 - 2,98 \cdot 10^4}$	3,946	0,538
	$ГГ \cdot \frac{(6,05 \pm 12,9) \cdot 10^4}{25 - 4,0 \cdot 10^5}$	3,832	1,23
	$ОГ \cdot \frac{(6,40 \pm 1,23) \cdot 10^3}{(5,53 - 7,27) \cdot 10^3}$	3,802	0,084

Примітка.  $\bar{\sigma}$  – дисперсія;  $\bar{\mu}$  – середнє логнормального розподілу; РГ – різні ґрунти (середнє для  $Kp$  радіонуклідів у дерново-підзолистому ґрунті, чорноземі і червоноземі); ПГ – піщані ґрунти; МГ – ґрунти з підвищеним вмістом мулистої фракції; ГГ – глинисті ґрунти; ОГ – органігенні ґрунти.

Зазначені вище особливості ґрунтів, а також фізико-хімічні властивості радіонуклідів визначають розподіл радіонуклідів між рідкою й твердою фазами ґрунтів у відповідності з наступними протилежно спрямованими процесами: 1) співосадженням при утворенні опадів і розчиненням опадів; 2) адсорбцією і десорбцією; 3) коагуляцією і пептизацією колоїдів.

**Радіонукліди, як правило, перебувають у ґрунтах в ультрамікроконцентраціях.** Наприклад, при вмісті  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк/км<sup>2</sup> (1 Ки/км<sup>2</sup>) масова концентрація радіонуклідів в орному шарі ґрунту становить: <sup>90</sup>Sr ( $T_{1/2} = 28,6$  року) –  $2,4 \cdot 10^{-12}$  %, <sup>137</sup>Cs ( $T_{1/2} = 30,17$  року) –  $3,9 \cdot 10^{-12}$  %, <sup>95</sup>Zr ( $T_{1/2} = 64,05$  доба) –  $1,6 \cdot 10^{-14}$  %. Виключення становить невелика група радіонуклідів з періодами напіврозпаду порядку десятків - сотень мільйонів років і більше; наприклад, важкі природні радіонукліди <sup>238</sup>U ( $T_{1/2} = 4,49 \cdot 10^9$  років) і <sup>232</sup>Th ( $T_{1/2} = 1,39 \cdot 10^{10}$  років), масова концентрація в ґрунті яких становить відповідно  $(3-4) \cdot 10^{-4}$  і  $(4-9) \cdot 10^{-4}$  % (за активністю ці величини рівні відповідно 37,5-50,0 і 16,4-36,9 Бк/кг ґрунту). Дуже низька масова концентрація штучних і природних радіонуклідів з  $T_{1/2} < 10^2 - 10^4$  років у ґрунтах і ґрунтових розчинах обумовлює істотну залежність поведінки радіонуклідів у ґрунтах від концентрації та властивостей їх ізотопних або неізотопних носіїв (стабільних ізотопів

даного хімічного елемента або хімічних елементів, подібних за фізико-хімічними властивостями з радіонуклідами) [100].

Співосадження радіонуклідів може протікати з ізотопними і неізотопними носіями, а також внаслідок "затягнення" опадами із сильно розвиненою поверхнею (співосадження з "колекторним" носієм). Утворення й розчинення опадів залежать від іонного складу, рН і Еп ґрунтового розчину, а також від присутності органічних і неорганічних лігандів. Адсорбція радіонуклідів із ґрунтового розчину твердою фазою, незважаючи на різні механізми протікання (іонообмінна адсорбція, хемосорбція, адсорбція молекулярних речовин і т.д.), тісно зв'язана із властивостями мінеральних, органічних й органо-мінеральних ґрунтових колоїдів.

Іонообмінна адсорбція хімічних елементів, а також радіонуклідів, у катіонній формі залежить від властивостей катіонів (заряду іонів і радіуса гідратованих іонів), властивостей адсорбенту (хімічної природи й структури органічних, мінеральних й органо-мінеральних ґрунтових колоїдів), об'єму й концентрації розчину. Адсорбція аніонів залежить від заряду іонів, складу колоїдів (в першу чергу від кількості полуторних оксидів) і реакції середовища.

Кількісно закономірності молекулярної і іонообмінної адсорбції можуть бути описані емпіричним рівнянням Фрейндліха:

$$Q = mC^n, \quad (5.62)$$

де  $Q$  – кількість адсорбованої речовини;

$C$  – рівноважна концентрація;

$m$  і  $n$  – емпіричні константи,

або рівнянням Ленгмюра, що є вираженням окремого випадку закону дії мас:

$$Q = \frac{KC}{1 + KC} Q_{\max}, \quad (5.63)$$

де  $Q$  – кількість речовини, адсорбованої на одиницю маси адсорбенту;

$KC$  – константа рівноваги;

$C$  – рівноважна концентрація;

$Q_{\max}$  – сорбційна ємність адсорбенту.

**Необмінне поглинання радіонуклідів** зв'язане в основному з мінеральними ґрунтовими колоїдами. Властивість необмінно фіксувати катіони проявляється в тришарових глинистих мінералах із решіткою, яка розбухає (групи гідроліт, монтморилоніту). Каолініт та інші мінерали із двошаровими решітками не мають властивості необмінно фіксувати катіони. Здатність до необмінної фіксації властива катіонам, радіуси яких

близькі або трохи більше радіуса гексагональних порожнеч решіток мінералів: такі, наприклад  $\text{DO}^+$  ( $1,33 \cdot 10^{-10}$  м);  $\text{MH}_4^+$  ( $1,43 \cdot 10^{-10}$  м);  $\text{Rb}^+$  ( $1,49 \cdot 10^{-10}$  м);  $^{137}\text{Cs}$  ( $1,65 \cdot 10^{-10}$  м). У табл. 1.2 наведені показники сорбції  $^{137}\text{Cs}$  мінералами і глинами різних груп мінералів.

**Розподіл радіонуклідів між рідкою і твердою фазами ґрунтів** залежить від фізико-хімічного стану і властивостей радіонуклідів, а також від характеристики супутніх мікро- і макродомішок. До таких властивостей В.М. відносить величину і знак заряду іона, форму з'єднань, здатність до адсорбції, комплексоутворення, гідролізу та ін. Згідно В.А. Ковди, іони елементів, які мають іонні потенціали (відношення заряду іона до іонного радіуса)  $Z/r < 1,4$ , характеризуються властивостями сильних основ, мігрують у катіонній формі у вигляді сильних розчинів ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{DO}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Ra}^{2+}$  й ін.). Іони елементів з параметрами  $1,4 < Z/r < 3,0$  ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Ac}^{3+}$ ,  $\text{Np}^{3+}$ ,  $\text{Am}^{3+}$  й ін.), пересуваються в основному в катіонній формі у вигляді істинних розчинів, але при збільшенні рН можуть утворювати важкорозчинні гідрооксиди та основні солі, а в присутності карбонат-іонів – важкорозчинні карбонати. В цьому випадку можлива міграція у вигляді колоїдів і суспензій. Іони елементів з параметрами  $3 < Z/r < 7$  мають високу чутливість до реакції середовища, утворюють важкорозчинні гідрооксиди, більше рухливі в лужному середовищі, а їхня міграція відбувається у вигляді комплексних з'єднань, колоїдів і суспензій ( $\text{Y}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Zr}^{4+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ru}^{4+}$ ,  $\text{Rh}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Th}^{4+}$ ,  $\text{U}^{4+}$ ,  $\text{Pu}^{4+}$  та ін.). При значеннях  $Z/r > 7$  перенесення елементів відбувається, головним чином, у формі аніонів у вигляді істинних розчинів та ін.) [100]..

М.В. Тимофєєвим-Ресовським із співавторами радіонукліди за типом поведження в системі ґрунт–розчин в залежності від концентрації стабільних ізотопних носіїв, рН, присутності в розчині катіонів інших елементів, наявності несорбованих колоїдів та органічних лігандів класифіковані в такий спосіб:

**I група: Zn, Cd, Co.** Тип поведження – необмінний. Найбільш ймовірні механізми закріплення у ґрунті – адсорбція ґрунтовими мінералами і утворення комплексів з органічними та органо-мінеральними лігандами. Найбільш важливий фактор міграції – наявність органічних лігандів.

**II група: Na, Rb, Sr.** Тип поведження – обмінний. Основний механізм закріплення у ґрунті – іонний обмін. Найбільш важливий фактор міграції – присутність у розчині інших катіонів.

**III група: Cs.** Тип поведження – обмінний у макроконцентраціях і необмінний у мікроконцентраціях. Механізм закріплення у ґрунті – необмінне поглинання (у мікроконцентраціях).

**IV група: I, Ce, Pm, Zr, Nb, Fe, Ru.** Тип поведження – багатформний. Найбільш ймовірний механізм закріплення у ґрунті –

утворення комплексів й осідання (коагуляція) колоїдів. Група характеризується наявністю хімічних форм, які поглинаються твердою фазою, і які не поглинають міграційноздатних форм. Рівновага між формами змінюється при зміні концентрації стабільних ізотопних носіїв, рН і в присутності колоїдів, які мігрують.

Таблиця 5.68– Сорбція  $^{137}\text{Cs}$  мінералами і глинами

Група мінералів	Тип мінералів	$K_p$ , $\text{см}^3/\text{г}$	Сорбція, % від внесеного	Десорбція, % від поглиненого	
				0,5 $\text{KNO}_3$	н. $\text{NH}_4\text{NO}_3$
Монтморилонітові	Асканіт	1577	99,37	3,28	4,94
	Гумбрин	1483	99,33	7,34	7,85
	Бентоніт	603	98,37	18,28	8,34
	Каолініт	759	98,70	19,50	56,40
Каолінітові Гідрослюди	Вермикуліт	2554	99,61	12,60	12,62
	Гідрофлогопіт	2030	99,51	6,99	10,03
Слюди	Гідромусковіт	53	84,20	62,00	71,20
	Мусковіт	194	95,10	54,10	58,50
	Біотит	395	97,53	6,60	49,40
	Мусковіт	2212	99,55	7,16	9,40
Полуторних оксидів	Флігопіт	23	69,39	44,20	39,10
	Гідрогетит	1744	99,43	44,60	52,30
Мінералів-солей	Вівіаніт (в породі)				

**V група: Ag.** Тип поведження – багатоформний зі змінною валентністю, має властивості I, II й IV груп. Важливим фактором міграції є наявність відбудовних бар'єрів.

Поряд з наведеною класифікацією всі вивчені елементи були розділені на 4 групи:

- 1) дуже малорухливі – Zn, Cd, Co;
- 2) малорухливі – Y, Ce, Fe, Zr, Nb;
- 3) рухливі – Na, Rb, Sr, Ru;
- 4) сильно рухливі – S, I (аніони).

Радіонукліди, як ізотопи хімічних елементів, характеризуються тими ж хімічними властивостями, що й стабільні ізотопи цих елементів. Однак тотожність поведження радіонуклідів і їх стабільних ізотопних аналогів може спостерігатися тільки у випадку рівноважного розподілу фізико-

хімічних форм привнесених радіонуклідів і природних форм знаходження їхніх стабільних аналогів у ґрунті, тобто при досягненні повноти ізотопного обміну у фазах і компонентах ґрунту. Час досягнення рівноважного розподілу багато в чому залежить від ґрунту (реакції та складу ґрунтового розчину, кількості й складу ґрунтових колоїдів, вологості та ін.), але в першу чергу від вихідного фізико-хімічного стану радіонуклідів [100].

#### **Надходження радіонуклідів у рослини аеральним шляхом.**

Аеральне радіоактивне забруднення рослин відбувається при осіданні на їхній надземній частині компонентів аерозольних і газоподібних викидів. Джерелами радіоактивного забруднення можуть бути локальні й глобальні випадання при випробуванні ядерних пристроїв, нормальні (штатні) або аварійні викиди радіонуклідів при роботі підприємств повного ЯПЦ. Регулярні і аварійні викиди АЕС складаються з інертних газів (радіоізотопи Ar, Kr, Xe), легких радіонуклідів (радіоізотопи I, Cs,  $^3\text{H}$ ), нелетких радіонуклідів (радіоізотопи Sr, Rb, La та ін.), крім того, у ці викиди можуть надходити й продукти нейтронної активації, а в деяких випадках: (на підприємствах ЯПЦ) також важкі природні радіонукліди та трансуранові елементи.

Значна частина продуктів розподілу та нуклідів з наведеною активністю утворить аерозолі, які й виводяться в навколишнє середовище з повітряними викидами. При підземних ядерних вибухах можуть виникати ситуації, у яких створюються умови для вилучення радіонуклідів в атмосферу (некамуфлетні вибухи). В основному це інертні гази, а також радіоактивні аерозолі з газоподібних попередників, що містять  $^{88}\text{Rb}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$ . Важливим компонентом радіоактивних викидів в атмосферу можуть бути радіонукліди, які погано сорбуються фільтруючими пристроями в місцях викидання. У їхнє число входять біологічно рухливі радіонукліди (радіоізотопи I,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  та ін.). Для деяких із цих радіонуклідів позакореневе надходження є основним шляхом залучення до міграції у сільськогосподарських ланцюжках, наприклад  $^{14}\text{C}$ .

Радіонукліди, що надійшли в атмосферу, утворюють аерозолі і під впливом гравітаційних сил, а також під впливом ряду метеорологічних факторів (дощів, туману, снігу) випадають на поверхню землі. Осідання радіонуклідів на рослинний покрив відбувається і в дні без опадів; іноді частка сухих випадань дуже висока, і причиною цьому є турбулентний рух повітряних мас в атмосфері. Значну роль в аеральному забрудненні рослин грають підйом і вторинне відкладення на поверхню рослин радіоактивних частинок, що осіли на ґрунт, або частинок забрудненого ґрунту

Розміри частинок радіоактивних аерозолів, які випадають на рослини, коливаються в дуже широких межах – від 0,001 до 800 мкм. За фізичними характеристиками це можуть бути сферичні оплавлені силікатні частинки ґрунту, які утворюються при ядерному вибуху,

частинки ґрунту або конструкцій, пилоподібні частинки, що послужили ядрами конденсації для легких попередників, частинки з матриць тепловидільних елементів ядерних реакторів. Залежно від умов утворення й походження розчинність радіонуклідів у воді для цих частинок може сильно змінюватися – від частинок відсотка до 100 %. В аерозольних випаданнях після аварії на Чорнобильській АЕС виявлена велика кількість так званих високоактивних "гарячих частинок", деякі з них містили  $\alpha$ -випромінювані нукліди

Процес утворення дисперсного складу аерозолів під час аварії в Чорнобилі носив складний характер, пов'язаний з виносом "гарячих частинок", коагуляцією, конденсацією і т.д., а радіонуклідний склад аерозолу визначався накопиченими у твелах продуктами розпаду та умовами їхнього фракціонування при виносі в атмосферу. Розміри "гарячих частинок" змінювалися від 1 до десятків мікрметрів на фоні безлічі більш дрібних аерозольних частинок.

Випадання радіоактивних аерозолів на поверхню рослин приводить до накопичення в їхній надземній масі всієї сукупності осідаючих радіонуклідів, в той час як при кореновому шляху надходження радіоактивних речовин у рослини ґрунтовий поглинаючий комплекс виступає в ролі потужного сорбційного фактору, а коренева система рослин є селективним бар'єром, який виключає надходження в надземну фітомасу біологічно інертних елементів.

В результаті багаторічних спостережень, присвячених вивченню забруднення рослинності глобальними випаданнями, і експериментальних досліджень розроблені математичні моделі, які описують аеральне забруднення сільськогосподарських культур. В найбільш складних із них посів сільськогосподарських рослин розглядається як об'єкт, що має просторові характеристики навколишнього середовища, у якому відбуваються сорбція - десорбція й перенос радіоактивних частинок. Для використання таких моделей необхідно володіти інформацією про основні параметри навколишнього середовища (напрямок та швидкість вітру, архітектоніка посіву і т.п.) з високим ступенем часового вирішення, що уможливорює їхнє застосування тільки в дослідницьких цілях. Більше простий підхід використовується при описі аерального забруднення сільськогосподарських культур у рамках динамічних моделей, які оцінюють міграцію радіонуклідів у системі ґрунт - рослина.

Поряд з динамічними моделями для оцінки аерального забруднення рослин застосовуються й статичні моделі, у яких використовуються емпіричні й логічні закономірності, що зв'язують концентрацію радіонуклідів у рослинності ( $N$ , Бк/кг) із щільністю випадань радіонуклідів за період вегетації ( $Q$ , Бк/м<sup>2</sup>).

$$N = RQ, \quad (5.64)$$

де  $R$  – коефіцієнт аерального забруднення рослин, м<sup>2</sup>/кг.

При цьому, оскільки методи вимірів атмосферних випадань менш точні, ніж методи оцінки концентрації аерозолів у повітрі, щільність випадань радіонуклідів за період вегетації звичайно знаходять розрахунковим шляхом:

$$Q = V_g \int_0^t q(\tau) d\tau, \quad (5.65)$$

де  $q(\tau)$  – концентрація радіонуклідів у приземному шарі атмосфери, Бк/м<sup>3</sup>.

Приймаємо, що  $q(\tau)$  протягом вегетаційного періоду залишається постійним, одержуємо:

$$N = Rq(\tau)V_g \tau, \quad (5.66)$$

Наведені вище вирази можуть бути використані для оцінки аерального забруднення рослинності як для випадання радіонуклідів з атмосфери, так і для вторинного підняття їх з поверхні ґрунту внаслідок вітрового підйому (дефляції). В останньому випадку шляхом нескладних перетворень може бути отримане співвідношення, яке зв'язує забруднення рослин із вмістом радіонуклідів у верхньому шарі ґрунту.

$$N = R(\alpha / V_\alpha) A V_g t, \quad (5.67)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт вітрового захвату, м/с;

$V_\alpha$  – швидкість висхідного потоку частинок пилу, м/с;

$A$  – вміст радіонуклідів у верхньому шарі ґрунту, Бк/м<sup>3</sup>.

$t$  – період вегетації.

Для ілюстрації нижче наведені розрахунки оцінки аерального забруднення сільськогосподарських культур внаслідок глобальних випадань і вітрового підйому радіонуклідів з поверхні ґрунту (табл. 5.69).

Таблиця 5.69– Коефіцієнти аерального забруднення рослинності,  $R$ , м<sup>2</sup>/кг повітряно-сухої маси рослин

Радіонуклід	Природне різнотрав'я	Пшениця	
		Солома	Зерно
<sup>90</sup> Sr	1,1	0,47	0,06
<sup>137</sup> Cs	1,5	0,42	0,15

Первинні реакції в складному рослинному організмі починаються з дії радіації на біологічно активні молекули, які входять до складу практично



всіх компонентів живої клітини. Ранні радіобіологічні процеси обумовлюються в основному двома видами дії випромінювань: прямим і непрямим. Біофізичний аналіз елементарних радіобіологічних процесів базується на експериментальних даних по залежності ефекту від фізичних характеристик випромінювання (доза, потужності дози, лінійних втрат енергії, фракціонування опромінення) і модифікованих факторів (температури, концентрації кисню та ін.), дозволив уже до середини 30-х років сформулювати основні принципи влучення, мішені й підсилювача.

Відповідно до принципів влучення і мішені основу біологічних реакцій при опроміненні становлять мікролокальні події, які впливають на структуру ДНК і РНК, тоді як принцип підсилювача полягає в тому, що зміни в структурі ДНК і РНК спричиняють зміни обміну речовин в опроміненних клітинах. Принципи влучення, мішені й підсилювача мають особливе значення при кількісному аналізі радіобіологічних процесів у такому багатоклітинному організмі, як рослина. Між моментом впливу випромінювань на багатоклітинний організм і його загибеллю проходить досить великий проміжок часу, який включає латентний період, прояву різних форм променевого ушкодження й лише потім – загибель [100]..

**Біологічні процеси**, викликані опроміненням рослин, зв'язані з безліччю обмінних реакцій у ділільних і спеціалізованих клітинах. Слідом за прямим радіаційним впливом, який викликає перехід деяких молекул зі стабільного нативного стану в нові стабільні й лабільні стани, починається післядія. При цьому відбувається онтогенетичне посилення в часі спочатку непомітних ушкоджень деяких молекул до яскраво виражених біологічних наслідків на рівні цілого організму.

**Відмінна риса вищих рослин** у порівнянні, наприклад, із хребетними тваринами полягає в тому, що органогенез у них не обмежується ембріональним періодом, а протікає протягом всього життя. Це можливо завдяки наявності у рослин ембріональних тканин – меристем, що зберігають здатність до клітинного розподілу протягом усього онтогенезу. Для цих тканин характерна дуже висока чутливість до дії факторів, які ушкоджують, включаючи іонізуючі випромінювання. Радіочутливість меристем у десятки й сотні разів більше, ніж у диференційованих і спеціалізованих тканин. Радіаційне пошкодження меристем приводить до ушкодження всієї рослини, а загибель цих тканин – до загибелі всього організму. Саме тому меристеми рослин прийнято називати критичними тканинами. Здатність меристем зберігати постійний клітинний склад і підтримувати нормальні темпи клітинного розподілу визначає реакцію рослини на опромінення

**Радіаційні ефекти на клітинному рівні** виявляються у вигляді онтогенетичних ушкоджень, оцінюваних за зниженням мітотичної активності, збільшенню кількості хромосомних аберацій і зміні тривалості мітотичного циклу клітин апікальних меристем. Ушкодження на

клітинному рівні меристемних тканин знаходить висвітлення в ефектах на рівні всього організму, пов'язаних з порушенням ростової активності, гальмуванням росту та темпів розвитку, зменшенням виживаності рослин до кінця вегетаційного періоду). Тому за такими ознаками, які виявляються візуально після опромінення, (зміна розмірів рослин і окремих органів, маси речовини, кількості органів) можна судити про дію випромінювання на рослину в цілому. В свою чергу ступінь виявлення кількісних ознак на вплив випромінювань на насіння і рослини адекватно відображає сумарний радіобіологічний ефект, який враховується по загальній продуктивності рослин наприкінці періоду вегетації. У вегетативних рослин встановлена значна варіабельність зміни обмінних процесів, які залежать від дози опромінення і фази розвитку в момент впливу випромінювань. У різних видів і сортів рослин зміни фізіологічних функцій у відповідь на опромінення часто бувають якісно подібні, хоча й розрізняються кількісно. Реакція рослинних об'єктів на дію  $\gamma$ - і рентгенівського випромінювання проявляється у вигляді активації або уповільнення ростових процесів, що викликає зміни темпів клітинного розподілу. Порушення темпів ростових процесів супроводжується накопиченням сухої речовини, змінами фізико-хімічного стану клітин, тобто порушеннями проникності мембран, в'язкості і рН цитоплазми, дихання, окислювально-відновних процесів, фотосинтезу й обміну нуклеїнових кислот, білків, амінокислот, вуглеводів, регуляторів метаболізму і росту. Реакція рослин на опромінення залежить від таких факторів, як генетичний потенціал сорту та режим впливу випромінювання. Постпроменево відновлення або, навпроти, посилення пошкодження залежать від умов, у яких перебуває рослина після опромінення.

**Візуально виявлений ефект** пригнічення ростових процесів у рослин проявляється після разового опромінення звичайно в перші 5-7 діб. У злакових культур, які піддавались опроміненню дозами 20-30 Гр, спостерігається гальмування росту головного пагона в висоту внаслідок уповільнення мітотичної активності в меристемах вузлів стебла. Надалі, внаслідок зняття апікального домінування, відбувається активація сплячих центрів і починається ріст бокових пагонів. У злакових культур це виражається в потужному кущінні, у дводольних підсилюється розгалуження.

**При опроміненні злакових культур** часто спостерігається збільшення вегетативної маси. Так, при сильному опроміненні пшениці у фазу розвитку 2-4 листків дозами 20-30 Гр, загальна кущистість може підвищуватися до 3 разів. Постійне опромінення в деяких випадках сприяє майже 25-кратному збільшенню кущіння, що приводить до збільшення вегетативної маси на момент збирання урожаю майже в 6 разів. Опромінення ярої пшениці в період появи сходів дозою 20 Гр збільшує загальну кущистість в 1,5-2 рази.

**Після дії випромінювань** ушкоджуючими дозами, у рослин виникають різні морфологічні аномалії. В загальному вигляді ці зміни можуть розглядатися як зовнішні ознаки променевого ушкодження рослин.

У ряді випадків дія більших доз опромінення на рослини підвищує темпи їх розвитку внаслідок активації процесів старіння – рослини швидше зацвітають і дозрівають. Прискорений розвиток опромінених рослин пов'язують із інтенсивним припливом живильних речовин до ушкоджених опроміненням мембранам і накопиченням окремих метаболітів. Зміна органів опромінених рослин може бути наслідком ушкодження чутливої до радіації фітогормональної системи і зниження рівня ауксинів.

**Помітні генетичні ушкодження** виявляються при опроміненні вегетативних рослин дозами 30-50 Гр. В опромінених злакових і бобових культур часто проявляються так названі хлорофільні мутації, обумовлені порушенням синтезу хлорофілу в листках, а також зміною в співвідношенні окремих компонентів хлорофілу і навіть повним зникненням пігменту.

**Різноманітні й морфологічні типи мутацій.** У пшениці, наприклад, зустрічаються високорослі, низькорослі, карликові, напівкарликові форми, а також рослини з гіллястими або з ламкими стеблами, з вегетативними стеблами, які з'являються із наземних вузлів. У деяких мутантів змінені форми й розмір листків і прилистків, з'являється або, навпаки, зникає восковий наліт. Виникають мутантні форми зі зміненою тривалістю вегетаційного періоду.

Поряд з генними мутаціями в опромінених клітинах відбуваються хромосомні й хроматодні мутаційні зміни, властиві нормальній життєдіяльності рослинного організму. Опромінення, однак, збільшує ці порушення.

**Пострадіаційне відновлення рослин** охоплює всі рівні організації рослинного організму – від молекулярного до окремого органу і може здійснюватися шляхом прискореного синтезу нових молекул або відтворення клітин замість уражених і загиблих (рис. 5.32) [100].

Важливе значення для відновлення продуктивності культури при опроміненні вегетативних рослин має регенераційне відновлення, при якому за рахунок сплячих тканин і органів розвиваються пагони та формуються нові органи рослин, практично позбавлені ознак променевої поразки. В цьому полягає унікальна здатність рослинного організму досягати часткового або навіть повного відновлення життєдіяльності. При опроміненні молодих рослин ярої пшениці дозою 12 Гр продуктивна кущистість збільшується до 2 разів. Це приводить до того, що в ряді випадків замість зменшення кількості урожаю зерна його стає більше в порівнянні з урожаєм неопромінених рослин.

Дози опромінення вегетативних рослин, при яких спостерігається ефект зняття апікального домінування, прийнято вважати критичними. Для бобових культур вони дорівнюють приблизно 5 Гр, для зернових злаків ці дози залежать від виду культури і фази розвитку в момент опромінення. Так, для ярої пшениці критичні дози  $\gamma$ - випромінювання перебувають в інтервалі 8-12 Гр, для ячменю не більше 4 Гр, а для вівса – 6-16 Гр.

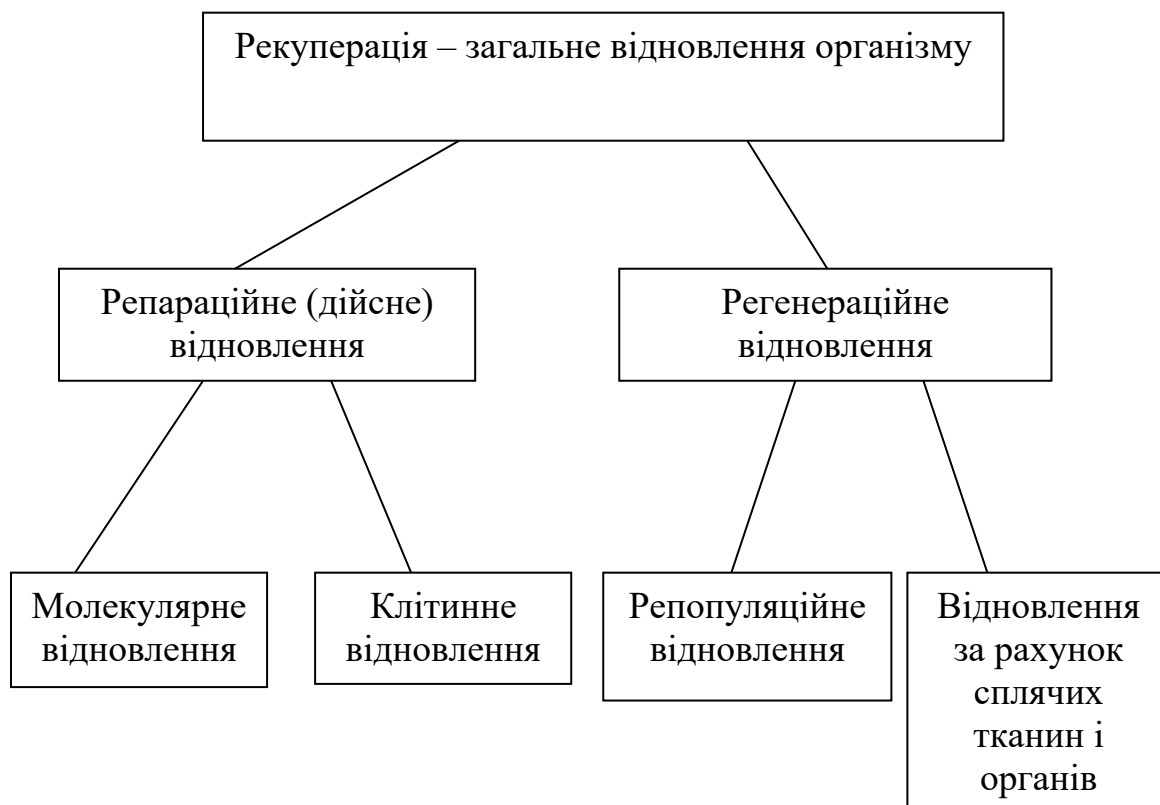


Рис. 5.33– Взаємозв'язок між різними видами пострадіаційного відновлення рослин

**Радіочутливість організму тварини** – здатність реагувати на вплив випромінювань – визначається генетично та конституційно обумовленими особливостями реактивності тварин. Для оцінки радіочутливості тварин прийнято використовувати  $LD_{50/30}$  і  $LD_{100/30}$  – дози опромінення, які викликають смерть відповідно 50 й 100 % тварин протягом 30 діб. Половина  $LD_{50/30}$  приводить до смерті тільки 5 %, а подвоєна напівлетальна доза опромінення супроводжується загибеллю 95 % поголів'я. Діапазон  $LD_{50/30}$  для різних видів сільськогосподарських тварин порівняно невеликий і становить 1,25-3,9 Гр (табл. 5.67). Співвідношення поглиненої тканинної дози по середній лінії тварини й експозиційної дози, обмірюваної в цій же точці в повітрі, є залежним від розмірів тварини. У

продуктивних тварин, які піддавались сильному рентгенівському або  $\gamma$ -опроміненню, цей показник для свиней дорівнює 0,60-0,68, для овець 0,58-0,63 і для великої рогатої худоби і ослів 0,40-0,50.

Таблиця 5.69 – Напівлетальні дози  $\gamma$ - випромінювань для сільськогосподарських тварин

Вид тварини	Потужність	ЛД <sub>50/30</sub>		Середня тривалість життя, доба
		доза у повітрі по середній лінії тварини, Р	тканинна поглинена доза, Гр	
Велика рогата худоба	0,9-6,6	200-543	1,25-1,60	20
Вівці	250-500	276-352	1,47	-
Вівці	0,5-4,4	318-363	1,94	23
	0,033-0,06	495-637	3,0-3,9	20
Кози	1,3-7,5	395-550	2,4-3,5	27
Свині	10-50	313-450	1,4-2,7	35
Осли	0,4-0,8	620-770	2,8-2,9	46
Коні	1,5	400	1,6	-
Птахи дорослі	1,5	1100	-	-

ЛД<sub>50</sub> є функцією потужності дози: чим більше потужність дози, тим, як правило, менше ЛД<sub>50</sub>). Для овець ЛД<sub>50</sub> збільшується в 2 рази при продовженні опромінення від декількох хвилин до 96 год. У межах потужностей дози 30-600 Р/год. ЛД<sub>50</sub> поступово лінійно зростає приблизно на 17 Р при зменшенні потужності дози на кожні 100 Р/год., а кожні 100 год. збільшення тривалості опромінення напівлетальна доза зростає на 43 %. Для свиней ЛД<sub>50/30</sub> при  $\gamma$ -опроміненні з потужністю дози 60 Р/год. становить 600 Р, а при збільшенні потужності дози до 500-700 Р/хв – 330 Р.

Радіочутливість залежить від віку сільськогосподарських тварин. Телята радіочутливіші дорослих тварин в 2 рази. ЛД<sub>50</sub> для новонароджених ягнят дорівнює 900 Р, тоді як для овець вона становить 330-360 Р. Для 6-24-х місячних ягнят ЛД<sub>50/60</sub> практично однакова й близька до ЛД<sub>50/60</sub> у дорослих тварин. Для поросят ЛД<sub>50/30</sub> становить 375 Р і не відрізняється від ЛД<sub>50/30</sub> у дорослих свиней. Очевидно, є видові особливості радіочутливості

молодняку залежно від строку підсосного періоду, протягом якого міняється загальна резистентність молодого організму.

**Результат радіаційного ураження** у різних видів сільськогосподарських тварин тісно пов'язаний з характерною для кожного з них інтенсивністю пострадіаційного відновлення. ЛД<sub>50</sub> для овець приблизно на 100 Р нижче, ніж для свиней. При протрагуванні опромінення (потужність дози 4Р/ч) ЛД<sub>50/60</sub> для овець становить 470 Р, а для свиней перевищує 2000 Р; розходження в радіочутливості цих видів тварин у порівнянні з гострим опроміненням досягають для овець 2-кратної величини, тоді як для свиней - 4-кратної. Після гострого опромінення 50 %-не відновлення відзначається у свиней приблизно на 3-й добі, а в овець через 13 діб. В опроміненних ослів через 60 діб відбувається відновлення на 48 %, а через 90 діб – на 85 %.

Таким чином, наслідком вражаючої дії випромінювань, які проявляються у вигляді різноманітних радіаційних ефектів, обумовлені не тільки дозою опромінення, але і в значній мірі пострадіаційним відновленням [100].

### **5.5 Економічні наслідки екстремальних явищ для виробництва сільськогосподарської продукції**

Україні притаманні майже всі види стихійних гідрометеорологічних явищ, що зумовлено, головним чином, її географічним положенням. Територія України та сусідніх з нею держав не захищена з півночі від північно – західних і «пірнаючих» циклонів та ультраполярних вторгнень. З півдня через високу імовірність частого збурення Середземноморської гілки планетарної висотної фронтальної зони, територія теж відкрита для вільного доступу південно-західних циклонів, які формуються над Середземним морем, та південних з акваторії Чорного моря і Малої Азії. Наявність гірських масивів та Чорного і Азовського морів призводить до ускладнення циркуляційних процесів і відповідного виникнення стихійних гідрометеорологічних явищ.

Циркуляційні процеси над Україною є складовою частиною циркуляції не тільки над Північною півкулею, але й над усією Землею.

Дуже сильні опади, крупний град, сильний вітер, шквали, смерчі, сильна ожеледь, сильне налипання снігу формуються внаслідок переміщення циклонів та активних атмосферних фронтів з хвилями; засуха, суховії, пізні весняні та ранні осінні заморозки є результатом впливу гребенів антициклонів; пилова буря виникає на периферії антициклонів, в зоні підвищених баричних градієнтів.

Загальна циркуляція атмосфери над Північною півкулею має зональний характер: повітряні течії, переважно східного напрямку в нижній тропосфері тропічних і полярних широт та західний вітер до значних висот у помірних широтах. Зональне планетарне перенесення повітряних мас постійно порушується меридіональною циркуляцією, яка спричиняє міжширотний обмін та призводить до утворення великої кількості циклонів та антициклонів. Водночас у тому чи іншому регіоні земної кулі виникають блокуючі процеси різної інтенсивності, які є головними чинниками утворення переважної більшості стихійних метеорологічних явищ.

Внаслідок блокування виникають порушується західний перенос і циклони не можуть зонально переміщатись, в результаті чого виникають різкі аномалії метеорологічних величин на великих площах. А це, в свою чергу, спричиняє засухи, суховії, холодні безсніжні зими, пізні весняні чи ранні осінні заморозки.

Узагальненим відображенням просторового розподілу цикло- та антициклогенезу є центри дії атмосфери. Вони визначають планетарні течії тепла та вологи. Для Північної півкулі виділяється чотири пари таких центрів: Азорський максимум та Ісландський мінімум, Гавайський максимум і Алеутський мінімум, Сибірський максимум та Азіатський мінімум, Канадський максимум та Каліфорнійський мінімум. Зазначені центри *разом* з полюсом циркуляції формують і розвивають атмосферні процеси великого масштабу.

Виникнення стихійних явищ у будь-якому фізико-географічному регіоні є результатом прояву фізичних процесів, що відбуваються в системі океан – атмосфера. Для України переважний вплив на термодинамічний режим мають динамічні процеси Атлантико-Європейського регіону. Перенесення тепла та вологи визначається, головним чином, дією таких центрів як Ісландський мінімум та Азорський максимум.

Найчастіше виникнення стихійних метеорологічних явищ пов'язане з активністю Середземноморської депресії. Вихід південно-західних та південних циклонів на територію України може збігатися з різними процесами у суміжних районах. Головне, щоб активізувався меридіональний тип циркуляції та утворилася глибока меридіонально орієнтована улоговина над Західною або Центральною Європою. Потужні циклони зароджуються у північних, центральних та східних районах Середземного моря залежно від орієнтації улоговини. Циклони стрімко переміщуються на територію України з великим запасом вологи. Якщо рух таких циклонів зупиняється блокуючим процесом, то це призводить до утворення великих горизонтальних градієнтів тиску, температури, посилення циркуляції, що спричиняє утворення екстремальних явищ.

Статистичний аналіз стихійних лих показує, що 90 % усіх небезпечних явищ мають метеорологічне або гідрологічне походження. Кількість негативного впливу *НГЯ*, які прив'язані з водою, кліматом та погодою в останні роки збільшується. Кількість *НЯ* коливається із року в рік. Для прикладу наводиться розподіл по роках *НЯ* та *НУП* по території Росії (І.Г. Грингоф та О.Д. Клещенко, 2011) (рис. 5.34)..

В Україні створюються різні умови для виникнення та розвитку стихійних гідрометеорологічних явищ. Залежно від фізики утворення великомасштабних і регіональних синоптичних процесів, а також від особливостей фізико – географічних умов, які впливають на їхній розподіл по території, вони мають різні масштаби поширення.

Виникнення стихійних метеорологічних явищ найчастіше зумовлено майже одночасним розвитком меридіонально орієнтованої улоговини над західними і центральними районами Європи та потужних гребенів із заходу на схід від неї.

Аналіз повторюваності великих (за масштабом збитків) небезпечних явищ показує, що найбільше часто повторюються засухи – 50 % від загальної кількості *НЯ*, повені та тривалі дощі – (25 %) і ін., які наносять практично щорічно значні економічні збитки в тому, чи іншому районі. Статистичний аналіз стихійних лих показує, що 90 % усіх небезпечних явищ мають метеорологічне або гідрологічне походження.

Кількість негативного впливу *НГЯ*, які прив'язані з водою, кліматом та погодою в останні роки збільшується. Кількість *НЯ* коливається із року в рік. Для прикладу наводиться розподіл по роках *НЯ* та *НУП* по території Росії (І.Г. Грингоф та О.Д. Клещенко, 2011 ).

Кількість *НЯ* коливається із року в рік. Для прикладу наводиться розподіл по роках *НЯ* та *НУП* по території Росії (І.Г. Грингоф та О.Д. Клещенко, 2011 ) (рис. 5.33).

До найбільш вразливих галузей економіки для небезпечних гідрометеорологічних явищ відносяться сільське господарство, транспорт та житлово-комунальне господарство (рис. 5.35).

Сільське господарство України – це «цех» під відкритим небом. Обсяг сільськогосподарського виробництва, якість продукції врожаїв залежить від родючості ґрунтів, кількості сонячного світла, тепла та вологи, а також від рівня культури землеробства та екстремальних атмосферних явищ. За словами О.І. Воєйкова «...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 ...».





Рис. 5.34 – Розподіл загальної кількості *НЯ* та *НУП*, які нанесли соціальний і економічний збиток в Росії за 1991 – 2005 роки.

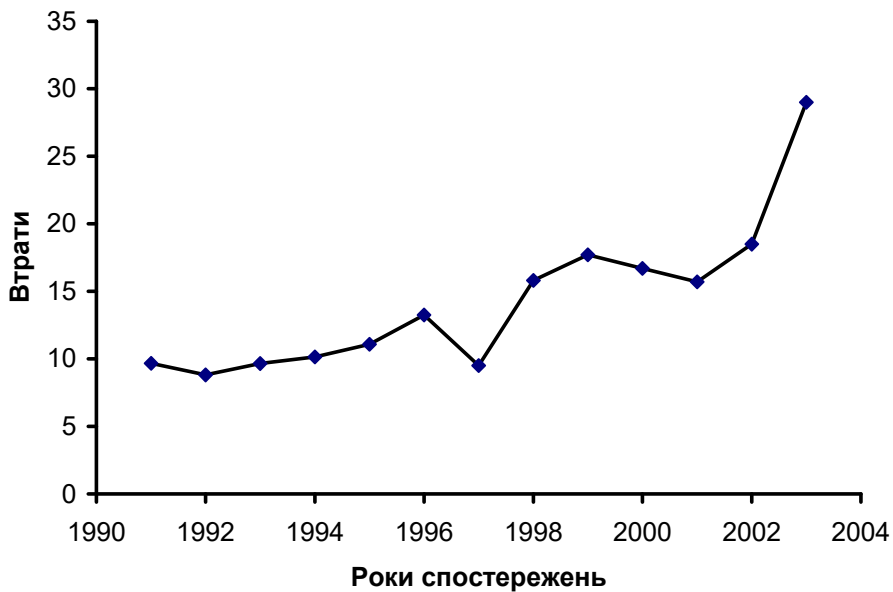


Рис. 5.35 – Економічні втрати в сільському господарстві (млн.грн) від небезпечних явищ та несприятливих умов погоди.

Щороку у середньому те чи інше екстремальне явище спостерігається на території двадцяти трьох областей. Аналіз стихійних метеорологічних явищ дозволив виявити, в якій із областей України переважає те чи інше

явище і яка область перебуває під найбільшим впливом будь – якого стихійного явища. На території майже всіх областей України переважає сильний дощ, окрім Херсонської та Луганської областей, де переважає сильний вітер. У північно – східних областях, в Карпатах та АР Крим поряд із сильним дощем значна повторюваність і сильного вітру.

Дослідження показали, що найбільша кількість стихійних метеорологічних явищ припадає на АР Крим. Друге місце за повторюваністю стихійних метеорологічних явищ посідають області, розташовані на території Українських Карпат. Найменша кількість стихійних явищ припадає на Рівненську, Полтавську, Чернігівську та Житомирську області.

Дослідження В.Ф. Мартазінової, А.А. Гирсу [30] показали, що в останнє десятиріччя відбувається перебудова циркуляції атмосфери, почала переважати західна форма циркуляції, яка пов'язана з переміщенням центрів дії атмосфери на схід. Нові форми циркуляції змінюють стійке положення центрів циркуляції, що призводить до їх аномального стану і виникнення стихійних гідрометеорологічних явищ.

Екстремальні природні явища стають стихійним лихом лише тоді, коли вони впливають на населення та господарську діяльність людства. Серед природних чинників саме гідрометеорологічні умови в своїй безперервній зміні постійно впливають на господарську діяльність країн, континентів.

Не завжди негативний вплив гідрометеорологічних явищ буває відчутним відразу після його дії. Інколи негативний їх вплив проявляється через певний проміжок часу, завдає значних збитків населенню. Лише в Європі за останнє десятиріччя від природних катаклізмів загинуло близько 40 тис. чоловік. За даними ООН щорічно стихійні лиха завдають збитків до 10 млрд. доларів США. Надзвичайно високі температури повітря, відсутність опадів впродовж тривалого періоду спричинили виникнення великої кількості пожеж у Росії у 2010 році та призвели до великих збитків у сільськогосподарському виробництві. У 2003 році сильна засуха завдала до величезних збитків у багатьох країнах Європи, в тому числі і в Україні.

В Україні фіксується багато стихійних гідрометеорологічних явищ. В середньому серед них переважають сильні опади (дощі, снігопади, сніг з дощем тощо) (майже 50 %). На сильний вітер, шквали та смерчі припадає близько 20%. [14].

Одержані результати свідчать про мінливість стихійних гідрометеорологічних явищ. За останнє десятиріччя ХХ століття та перше десятиріччя ХХІ століття відзначається тенденція до збільшення частоти естремальних явищ як в Україні, так і в Європі. Це збільшення пов'язане з глобальними змінами великомасштабної циркуляції атмосфери.

Але нестійкість погоди: зміна вологих років засушливими, теплих зим – суворими, заморзки та зниження температур впродовж вегетаційного періоду, періодичні сильні зливи та град завдають значних збитків виробникам сільськогосподарської продукції та спричиняють значну мінливість валових врожаїв сільськогосподарських культур.

За даними наукових досліджень [48] лише третина території України знаходиться в зоні гарантованих врожаїв. На решті території посушливі умови весняно-літнього періоду, несприятливі умови перезимівлі та перезволоження ґрунту, заморзки, сильні зливи та град зменшують врожаї на 30 – 40 %. Значна втрата орних земель від вітрової та ґрунтової ерозії зменшує площі родючих земель. Тому фахівцям сільськогосподарського виробництва необхідно вміти ефективно використовувати ресурси клімату і погоди для підвищення продуктивності сільського господарства, вміти оцінювати екстремальні атмосферні явища та вживати відповідних заходів для зменшення дії несприятливих метеорологічних явищ. 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. Для попередження або зменшення втрат в народному господарстві від несприятливих явищ необхідно також знати закономірності розподілу цих явищ по території та їх повторюваність в різні сезони року.

Не зважаючи на обмеженість відомостей про втрати та збитки в економіці від *НГЯ* була виконана оцінка розподілу збитків щодо основних галузей економіки (табл. 5.70).

За останні десятиріччя XX ст. і на початку XXI ст. проблема вивчення стихійних гідрометеорологічних явищ стала більш актуальною у зв'язку зі значним збільшенням кількості випадків та тривалості цих явищ, що пов'язано зі змінами в кліматичній системі, зумовленими як природними, так і антропогенними факторами. Така ситуація викликає занепокоєння світового співтовариства, окрім значних матеріальних, вона може призвести до зміни соціально – економічних та екологічних умов життєдіяльності людства.

Одним із найважливіших спектрів впливу небезпечних явищ на різні галузі економіки є вивчення та аналіз гідрометеорологічної вразливості окремих територій та господарських об'єктів. Гідрометцентри включають *НЯ* та *НУП* і економічні показники, які виражені у масштабах економічних збитків від впливу *НЯ* та *НУП*, що зумовлені рівнем чутливості виробництва і господарських підприємств до нестійкості та мінливості погодних умов.

Важливим шляхом зменшення соціально-економічних збитків від *НЯ* є посилення ролі оперативно-інформаційної діяльності системи Укргідрометеорологічної служби, регулярного аналізу залежностей

розвитку економіки від умов погоди та створення нових, сучасних методів середньодобового і довгострокового прогнозів погоди. Також очевидна необхідність подальшого розвитку і удосконалення системи спеціального гідрометеорологічного забезпечення погодозалежних галузей економіки, гідрометеорологічної інформації про виникнення небезпечних явищ. Небезпечні гідрометеорологічні явища фіксуються на мережі гідрометеорологічних станцій і в установленому режимі передаються в гідрометеорологічні центри.

Таблиця 5.70 - Сумарні економічні збитки від *НГЯ* в різних галузях економіки (Бедрицький О.І, Коршунов А.А., Шаймарданов М.З, 1991)

№п/п	Галузі економіки	Загальна кількість випадків	Збиток (млрд. дол.)	Ранг
1	Сільське господарство	494	27,36	1
2	Паливно-енергетичний комплекс	505	4,56	3
3	Авто- і залізничний транспорт	304	4,08	4
4	Будівництво	77	3,12	5
6	Лісове господарство	113	1,44	6

Як показує аналіз сценаріїв змін клімату, повторюваність небезпечних гідрометеорологічних явищ зростатиме.

Зміна кліматичних умов призведе до збільшення напруги термічного режиму. А це, в свою чергу, сприятиме збільшенню сумарного випаровування, що спричинить збільшення дефіцитів вологи для розвитку усіх сільськогосподарських культур. Зміна кліматичних умов призведе до збільшення напруги термічного режиму. А це, в свою чергу, сприятиме збільшенню сумарного випаровування, що спричинить збільшення дефіцитів вологи для розвитку усіх сільськогосподарських культур [105, 106].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія; підручник. Одеса: «ТЕС», 2012. 628 с.
2. Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Каленська С.М, Єрмакова Л.М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин; підручник. Вінниця.: Видавництво Вінницької сільськогосподарської академії, 2013. 722 с.
3. Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур. Київ: Ніка – Центр, 2010. 619 с.
4. Дмитренко В.П. О методике оценки гидрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур. //Тр. УкрНИГМИ, 1973. Вып.128. С. 3-23.
5. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 375 с.
6. Будаговский А.И., Росс Ю.К. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов.//Фотосинтетические системы высокой продуктивности. М.: Наука, 1966. С. 51 – 58.
7. Будыко М.И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 427 с.
8. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 200с.
9. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова: Гидрометеоиздат, 1975. 341 с.
10. Бондаренко Н.Ф., Жуковский Е.Е., Мушкин И.Г., Нерпин С.В., Полуэктов Р.А., Усков И.Б. Моделирование продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 264 с.
11. Будаговский А.И., Росс Ю.К. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов.//Фотосинтетические системы высокой продуктивности. М.: Наука, 1966. С. 51 – 58.
12. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев //Тимирязевское чтение. М.: Изд-во АН СССР 1956. С.1- 93.
13. Немчинов В.С. Выборочные измерения урожайности. // Немчинов В.С. Избранные произведения. М.: Наука, 1967. Т.1. С. 128 – 160.
14. Тараріко Ю.О. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур. Методичні рекомендації /Ю.О.Тараріко, О.Є.Несмашна, Л.Д. Грищенко К.: Нора – принт, 2001. 60 с.
15. Гойса Н.И., Олейник Р.Н., Рогаченко А.Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 230с.
16. Клещенко А.Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 190с.
17. Мичурин Б.Н. Энергетика почвенной влаги. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 139с.

18. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе растение – почва – воздух. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 357с.
19. Давитая Ф.Ф. Современное состояние и перспективы развития агрометеорологии // Агрометеорологические аспекты повышения продуктивности земледелия.– Л.: Гидрометеиздат, 1970. С.5-20.
20. Раунер Ю.Л. Тепловой баланс растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 209 с.
21. Кондратьев К.Я., Федченко П.П. Спектральная отражательная способность некоторых почв.Л.: Гидрометеиздат, 1981. 232 с.
22. Дмитренко В.П. О методике оценки агрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур. // Тр. УкрНИГМИ, 1973. Вып.128. С. 3-23.
22. Дмитренко П.О. Удобрения та густина посіву польових культур. /П.О.Дмитренко, П.І. Витриховський. –К: Урожай,1975. 248 с.
23. Ефимова Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 215с.
24. Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Агрометеорологические основы тепловой мелиорации почв. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 230с.
- 25.Куртнер Д.А., Усков И.В. Климатические факторы и тепловой режим в открытом и защищенном грунте. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 230с.
- 26.Куртнер Д.А., Усков И.Б. Управление микроклиматом сельскохозяйственных полей. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 263с.
27. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 318с.
28. Асатуров М.Л. Влияние водного и теплового режима на продуктивность растительного покрова. // Тр. ГГО. 1970.Вып.263.С.107 – 114.
29. Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Издательство МГУ, 1986. 244с.
30. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Ситов В.М., Ярмольська О.Є. Практикум із сільськогосподарської метеорології.Одеса, «ТЕС»,2002. 400с.
31. Алпатьев А.М. Влагодобори в природі і їх перетворення. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 322с.
32. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 248 с.
33. Иовенко Н.Г. Водно-физические свойства и водный режим почв СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1960. 352 с.
34. Константинов А.Р., Дмитренко В.П. О связях урожая с агрометеорологическими факторами //Тр. УкрНИГМИ. 1976. Вып.58. С.3 – 31.
49. Польовий А.М., Божко Л.Ю. Біологічні і екологічні основи продуктивності агроєкосистем; підручник. Одеса.: «ТЕС», 2017. 280 с.

50. Мойсейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур.– Л.: Гидрометеиздат, 1975. 295с.
51. Пасечнюк А.Д., Гончарова Л.И., Филенко В.А. Влияние метеорологических условий на устойчивость озимой пшеницы к полеганию.// Тр. ИЭМ. 1979. Вып.12 (90).С. 95 – 103.
52. Пасечнюк А.Д. Методика прогноза интенсивности п 35. Разумова Л.О., Мещанинова Н.Б. Составление агрометеорологических расчетов и прогнозов оптимальных сроков и норм полива кукурузы. Методические указания. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 132с.
36. Колпаков В.В., Сухарев И.П. Сельскохозяйственные мелиорации. М.: Колос, 1981. 327с.
37. Коровин А.И. Роль температуры в минеральном питании растений. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 281с.
38. Свисюк И.В. Погода, интенсивная технология и урожай озимой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 226с.
39. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 271с.
40. Кошкин Е.И., Гатаулина Г.Г., Дьяков А.Б. и др.. Частная физиология полевых культур. М.: Колос, 2005. 343 с.
41. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистемы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 167с.
42. Устойчивость зерновых культур к факторам среды /Под ред. В.С. Шевелухи. Минск: Ураджай, 1988. 191с.
43. Зінченко О.І. Рослинництво: підручник. /О.І.Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко.К.: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
44. Польовий А.М, Божко Л.Ю., Вольвач О.В. Основи агрометеорології. Підручник. Одеса:»ГЕС», 2012. 250с.
45. Куперман Ф.М., Чирков Ю.И. Биологический контроль за развитием растений на метеорологических станциях. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 144 с.
46. Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Каленська С.М, Єрмакова Л.М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин. Вінниця.: 2013. -722 с.
47. Одум Ю. Основы экологии. / Пер. с англ. Под ред. Н.П. Наумова. М.: Мир, 1975. 740 с.
48. Божко Л.Ю. Оцінка впливу екстремальних явищ на продуктивність сільськогосподарських культур. Олес олегания посевов ярового ячменя. //Тр. ИЭМ. 1974. Вып. 5 (49). С. 62-68.
53. Пасечнюк А.Д. Погода и полегание зерновых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 212 с.
54. Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. Санкт-Петербург.: Гидрометеиздат., 2007. 324 с.

55. Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. Основы сельскохозяйственной Метеорологии; учебник. Обнинск: ФСГ и МОС. 2011. 807 с.
56. Мищенко З.А. Агроклиматология: підручник. Киев.: КНТ, 2010. 512 с.
57. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М.: Дрофа, 2010. 639 с.
58. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 318с.
59. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур / Под ред. Ф.В.Т. Пфенинга де Фриза и Х.Х. Ван Лара./ Перевод с англ. Под ред. О.Д. Сиротенко.Л.: Гидрометеиздат, 1986.-320 с.
60. Бегей С.В. Екологічне землеробство. /С.В.Бегей,А.В. Шувар. Львів, «Новий світ-2000», 2007. 409 с.
61. Багров Н.А. О метеорологическом индексе урожайности. //Метеорология и гидрология. 1983. Т.П.С. 92 – 99.
62. Логинов К.Т., Бабиченко В.Н., Кулаковская М.Ю. Опасные явления погоды на Украине. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 236 с.
63. Генкель П.А, Кушниренко С.В. Холодостойкость растений и термические способы ее повышения. М.: Наука,196. 222с.
64. Мойсейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 295с.
65. Личикаки В.М. Перезимовка озимых культур, М.: Колос,1974. 205с.
66. Свисюк И.В. Погода, интенсивная технология и урожай озимой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 226с
67. Страшная А.И. Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая семян многолетних сеяных трав на Европейской части СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 156с.
68. Моисейчик В.А., Шавкунова В.А. Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая озимой ржи. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 192 с.
69. Моисейчик В.А. Методическое пособие по составлению долгосрочного прогноза выпревания озимых зерновых культур. М.: Гидрометеиздат, 1981. 39 с.
70. Моисейчик В.А., Богомолова Н.А., Страшная А.И., Максименкова Т.А. Влияние глобального изменения климата на агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая озимых культур в России в последние 50 лет. //Тр. ГУ ВНИИСХМ». 2007. Вып.36. С.106 – 132.
71. Яшкина И.И., Чуреева Т.В. Методическое пособие по оценке изреженности посевов клевера в зимний период. М.: Гидрометеиздат, 1982. 12 с.
72. Остаплюк Е.Д. Причины вымокания растений. К.: Урожай.1969.489с.
73. Макарова Л.А., Минкевич И.И. Погода и болезни культурных растений. Л.: Гидрометеиздат,1977. 142с.



74. Макарова Л.А., Доронина Г.М. Агрометеорологическое обоснование оптимизации и защиты зерновых культур от редной черепашки. Л.: Гидрометеиздат, 1983, 144 с.
75. Макарова Л.А., Доронина Г.М. Агрометеорологические предикторы прогноза размножения вредителей сельскохозяйственных Л.: Гидрометеиздат, 1988. 212с.
76. Вольвач В.В. Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука.Л.: Гидрометеиздат, 1987. 239 с.
77. Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Издательство МГУ, 1986. 244 с.
78. Хэнкс Р. Дж., Ашкрофт Дж. Л. Прикладная физика почв. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 150с.
79. Заславский М.П. Эрозиоведение. М. Высшая школа, 1983. 320 с.
80. Заверуха Н. Основи екології: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів/ Нелі Заверуха, Валентин Серебряков, Юрій Скиба,. К.: Каравела, 2006. 365 с.
81. Швевс Г.И. Теоретические основы эрозиоведения. Киев-Одесса: Высшая школа, 1981. 124 с.
82. Світличний О.О., Чорний С.Г. Основи ерозієзнавства: підручник для ВНЗ. Суми.: вид. Університетська книга. 2007.
83. Шикуча М.К., Ігнатенко О.Р., Кашитик та ін .Відтворення родючості у ґрунтозахисному землеробстві. К.: Оранта, 1998. 680с.
84. Горб О.О., Писаренко П.В., Калініченко В.М. Аграрна екологія. Навчальний посібник. Полтава 2008.348 с.
85. Ґрунтознавство з основами геології: навчальний посібник /Ігнатенко О.Ф., Капштик М.В., Петренко Л.Р., Вітвицький С.В. К.: Оранта, 2005. 648 с.
86. Еколого-енергетична оцінка ґрунтів / Несмашна О.Ю., Тараріко Ю.О., Плішко А.А., Видрін Ю.В. // Агроєкологія і біотехнологія: Зб. наук. пр. К., 1998. Вип. 2. С. 17-23.
87. Агроєкологія: Навч. посібник / О.Ф. Смаглій. А.Т. Кардашов, П.В. Литвак та ін. К.: Вища освіта. 2006. 671 с.
88. Агроєкологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів: Монографія / В. П. Патики, Н. А. Макаренко, Л. І. Моклячук та ін.; За ред. В.П. Патики. К.: Основа, 2005. 300 с.
89. Бегей С.В. Екологічне землеробство. /С.В. Бегей, 9999.А. Шувар – Львів «Новий світ-2000», 2007. 409 с.
- 90 Глазовская М. А. Методические основы эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М.: Изд-во МГУ, 1997. 102 с.
91. Для агрохімічного та агроєкологічного стану ґрунтів України / За ред. Б. С. Нос овідник ка, Б.С. Прістера, М. В. Лободи. К.: Урожай, 1994. 336 с.

92. Минеев В. Г. Экологические функции агрохимии в современном земледелии // Агрохимия. 2000. №5. С. 5 – 13.
93. Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда. М.: Агропромиздат. 1990. 287 с.
94. Милащенко Н. З. Программа исследований тяжелых металлов в Географической сети опытов со средствами химизации // Химия в сельском хозяйстве. 1995. №4. С. 4 – 7.
95. Науково-методичні рекомендації з оптимізації мінерального живлення сільськогосподарських культур та стратегія удобрення /За ред. М.М. Городнього.К. 2004. 87 с.
96. Органические удобрения / А. А. Бацула, П. М. Виноградов, В. И. Ворошилов и др./ Под ред. Н. К. Крупского, А. А. Бацулы. К.: Урожай, 1981. 160 с.
97. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства, За ред. В.В. Медведєва, М.В. Лісового. Харків: «Штрих».2000.100с.
98. Сельскохозяйственная экология. /Н.А. Уразаев, А.А. Вакулин, А.В. Никитин и др. М.: Колос, 2000. 304 с.
99. Экологические проблемы применения удобрений / В. Н. Кудеяров и др. М.: Наука. 1984. 213 с.
100. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской атомной электростанции /Ю.А. Израэль, В.Н. Петров, С.И. Авдюшин и др. С. 5-18.
- 101.Израэль Ю.А., Петров В.Н., Северов Д.А. Моделирование радиоактивных выпадений в ближней зоне от аварии на Чернобыльской атомной электростанции. С. 5-12.
102. Радиоактивность и пища человека /Под ред. Р.С. Расселла. 2006. 375 с.
103. О некоторых закономерностях глобальных радиоактивных выпадений из атмосферы в 1967-1969 гг. / С.Г. Малахов, А.Н. Силантьев, В.Н. Чуркин и др. Вып. 1 (32) . С. 3-15.
105. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України /за ред. С.М. Степаненка та А.М. Польового.Одеса.:Екологія, 2011. 694 с.
106. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України.Монографія. /Під ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового, Є.П. Школьного Одеса: «ТЕС», 2015. 520 с.

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А**  
Агromетeорoлoгiя 7, 11  
Агromетeорoлoгiчнa  
    iнфoрмaцiя 8-12  
    зaбeзпeчeння 16,  
    oбслyгoвyвaння 5 – 11  
    oцiнкa 12 – 15, 77 – 79, 100, 161, 211  
    рaйoнyвaння 8,  
    cпocтepeжeння 136  
    тeрмiни 14, 15  
Агromетeорoлoгiчнi  
    вимiрювaння 129 -131  
    пpoгнoзи: 8  
Агpoekoлoгiчнa cиcтeмa 21  
Агpoклiмaтoлoгiя 7  
Агpoклiмaтичнi рecyрcи 162-166  
Агpoгiдрoлoгiя 7,91  
Азoт 51, 98, 99  
Аcимiляти 37, 42  
Атмocфepa 19, 21, 23,27,46,47,49,50,52
- Б**  
Бaлaнc вoдний 9-12  
    eнepгeтичний 13-14  
    рaдiацiйний 52 – 55  
    тeплoвий 54 – 57  
Бioлoгiчний мiнiмyм 63  
Бioлoгiчнi cуми 64 – 67  
Бiocфepa 45 – 51
- В**  
Вeгeтaцiя 15, 89  
Вeгeтaцiйний пepiод 6 – 8  
Випapoвyвaння 78 – 84  
Випapoвyвaнiсть 78 – 84  
Вiтep 109-112  
Вoлoгa  
    гpyнтoвa 19, 21  
    133, 140, 165  
    вiднocнa 8, 9, 75, 77  
Вoлoгoмiсткiсть:
- Г**  
Гiдрoтepмiчний кoeфiцiєнт 181  
Гpaд 107  
Гaзooбмiн 32  
Гpyнт 42
- Д**  
Дeфiцит  
    вoлoги в гpyнтi 23  
    нacичeння вoдянoї пapи 99  
Дoщoмiр пoльoвий 139  
Дихaння 33
- З**  
Зaмopozки 117  
Зacyхи 101  
Зимocтiйкiсть 173  
Зaпacи вoлoги 130  
Зливи 105
- Ж**  
Життєвий цикл 104
- І**  
Інфoрмaцiя  
    гiдрoмeтeорoлoгiчнa 5  
    aгpoмeтeорoлoгiчнa 8  
Інepцiйнi фaктopи 143
- К**  
Клiмaт 129  
Кoeфiцiєнт  
    мopoзoнeбeзпeчнocтi 174  
Кiркa 59  
Кpитичнa тeмпepaтyрa 175
- Л**  
Лiмiтyючi фaктopи 75  
Листя 184

найменша 7,  
капілярна 140, 14  
Вологообмін 32,  
Вологозабезпеченість 78 – 96, 191 -196

### М

Масообмін 28,  
Морозостійкість рослин 175

### О

Обстеження  
агрогідрологічні 7  
агрометеорологічні 79  
Опади 83

### Р

Ресурси агрокліматичні 162  
Радіація  
сонячна 27  
пряма 54  
розсіяна 54  
фотосинтетично  
активна 54  
Радіаційний баланс 22,  
Ростові процеси 35

### Т

Температура 49  
критична 76  
Температурні межі 51  
Темпи розвитку 13  
наростання тепла 20  
Температура повітря 6  
Грунту 61  
Тепловий баланс 56

### Ф

Фази розвитку 136  
Фітомаса 40  
Фотоелемент 30, 31, 33  
Фотосинтез 33

### Н

Нестача насичення 78  
Недостатнє зволоження 19  
Норма 85

### П

Перезимівля 173  
Полягання 106  
Продуктивний процес 42  
Прогноз  
синоптичний 16  
агрометеорологічний 4  
динаміко-  
статистичний 38  
Продуктивна  
волога 6  
стебло 88  
процес 40  
Приріст біомаси 94

### С

Сільськогосподарське  
виробництво 6  
культури 6  
метеорологія 212  
Структура урожаю 155  
Сума температур:  
активних 65  
ефективних 117  
від'ємних 8  
Суховії – 17

### У

Урожайність 201

### Е

Економічна ефективність 212  
Ерозія ґрунтів 110  
Ефективне випромінювання 52

*Навчальне видання*

**Польовий А.М., Божко Л.Ю., Жигайло О.Л.**

# **ОСНОВИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МЕТЕОРОЛОГІЇ**

**Навчальний посібник**

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

---

Підписано до друку 01.09.2020 р. Формат 60x84/16.  
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.  
Умовно-друк. арк. 20,16. Тираж 50. Замовлення № 0920-199.  
Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефон +38 (0552) 39 95 80,  
+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: mailbox@helvetica.com.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.