

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

А.М. ПОЛЬОВИЙ

ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ АГРОЕКОСИСТЕМИ

Конспект лекцій

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2017

УДК 63 : 551.509
П 120

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол №9 від 29.06.2017р.)

Рецензент:

Завідувач кафедри метеорології та кліматології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, д.г.н., проф. С.І. Сніжко

Польовий А. М.

Формування та функціонування агроєкосистеми //Польовий А.М.
– Одеса:, 2017. – 120 с.

У конспекті лекцій викладені теоретичні й практичні питання формування та функціонування агроєкосистем, радіаційного, водно-теплогового режиму агроєкосистеми, росту рослин і формування урожаю сільськогосподарських культур. Розглядаються: агроценоз як складова частина агроєкосистеми, чинники ґрунтоутворення та ґрунт як фокус агроєкосистеми і його еколого- агрохімічна оцінка, клімат агроєкосистеми, поняття про систему ґрунт – рослина – атмосфера, формалізація ростових процесів, агрометеорологічні умови та фотосинтетична продуктивність посівів, узагальненні рівняння росту рослин.

Конспект лекцій призначено для студентів вузів, які навчаються за напрямом «Науки про Землю», студентів сільськогосподарських вузів та технікумів, він може бути також корисним для студентів і аспірантів географічних і біологічних факультетів університетів. Конспект лекцій може використовуватись як посібник для фахівців, які працюють в галузі сільськогосподарської метеорології, екології, біології, географії і сільського господарства.

ISBN 978-966-186-026-0

Польовий А.М., 2017

Одеський державний екологічний університет, 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
1. АГРОЕКОСИСТЕМА	6
1.1. Поняття про агроecosистему.....	6
1.2. Рівні організації та типи агроecosистем	7
1.3. Екологічні чинники агроecosистем.....	11
1.4. Природні ресурси.....	15
1.5. Природно-ресурсна характеристика основних агроecosистем України.....	16
2. АГРОФІТОЦЕНОЗ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА АГРОЕКОСИСТЕМИ	22
2.1. Основні відомості про агрофітоценоз	22
2.2. Видовий склад і просторово-часова організація агрофітоценозу.....	24
2.3. Структура і динаміка. Співіснування в агрофітоценозах	26
2.4. Екологічні особливості основних сільськогосподарських культур..	29
3. ҐРУНТ ЯК ФОКУС АГРОЕКОСИСТЕМИ	33
3.1. Ґрунт – базова складова агроecosистеми. Полікомпонентна і поліфункціональна системи	33
3.2. Чинники ґрунтоутворення	35
3.3. Родючість ґрунту – важливий чинник функціонування агроecosистеми. Екологічна роль гумусу. Органічна речовина ґрунту .	37
3.4. Роль мінеральної речовини ґрунту у формуванні його родючості ...	42
3.5. Буферність ґрунту.....	42
3.6. Еколого-агрохімічна оцінка ґрунту	44
4. КЛІМАТ АГРОЕКОСИСТЕМИ	53
4.1. Основи теорії клімату.....	53
4.2. Основи біокліматології	55
4.3. Вплив сонячної радіації на агроecosистему	57
4.4. Вплив температурного режиму на агроecosистема. Температура повітря і ґрунту	68
4.5. Вплив режиму зволоження на агроecosистему	82
5. СИСТЕМА ҐРУНТ – РОСЛИНА – АТМОСФЕРА	97
5.1. Поняття про систему ґрунт – рослина – атмосфера.....	97
5.2. Енерго- і масообмін між рослинним покривом і атмосферою.....	100
5.3. Енерго- та масообмін між фітоелементом (листочком) і повітрям.....	103
5.4. Фотосинтез, дихання і газообмін CO ₂ листка	106
5.5. Формалізація ростових процесів рослин	109
5.6. Агрометеорологічні умови та продуктивність посівів.....	111
5.7. Рівняння росту рослин	115
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	119

ПЕРЕДМОВА

Створення оптимального режиму формування та функціонування агроекологічних систем з метою отримання високих на стабільних урожаїв сільськогосподарських культур є основною задачею сільськогосподарського виробництва. Агроекологічна система представляє собою антропогенну систему, в якій на відміну від природної екосистеми кругообіг речовини і енергії в агроекосистемі відбувається при обов'язковій участі людини. З іншого боку, природні екологічні процеси, які відбуваються у ґрунтах і в посівах, визначають долю агроекосистеми не меншою мірою, ніж технологічні впливи – обробка ґрунтів, поливи, внесення добрив та ін. Тому теоретичну основу землекористування повинен складати комплекс наукових знань про взаємодію між собою рослин, тварин і мікроорганізмів агроекосистеми та вплив факторів навколишнього середовища на їхню життєдіяльність.

З огляду на провідну роль культурних рослин у формуванні агроценозу, головним розділом цього комплексу наукових знань варто вважати теорію продукційного процесу сільськогосподарських рослин.

Якщо в природних системах збалансованість круговороту речовин досягається за рахунок розмаїття видів, рослин і тварин, що розповсюдженні на даній території, то в агроекосистемах, у яких посів, головним чином, формується з рослин одного біологічного виду, такий баланс в принципі недосяжний. Саме тому винесення мінеральних і органічних сполук з агроекосистеми повинно постійно компенсуватися шляхом внесення добрив, а одночасне співіснування у природі різних видів рослин повинне бути замінено їх періодичним чергуванням у сівозмінах. Проте, повна гармонія в агроекосистемі недосяжна.

Необхідність внесення гербіцидів і пестицидів пов'язана з порушенням екологічної рівноваги і вузькою спеціалізацією сільськогосподарських посівів, вразливих до розвитку хвороб, бур'янів та шкідників. У той же час побічні явища, які виникають внаслідок використання хімічних засобів захисту рослин, впливають на екологічний стан як самого ґрунту, так і розташованих у водозборі річок і озер.

При інтенсивному веденні сільського господарства навіть незначні порушення технології призводять або до великих непродуктивних витрат внесених у ґрунт хімічних меліорантів, або до недобору урожаю та до зниження його якості. Особливо вразливими в цьому відношенні є зрошувані території, надзвичайно чутливі до порушення водного балансу.

У конспекті лекцій викладені теоретичні й практичні питання формування та функціонування агроекосистем, радіаційного, водно-теплогового режиму агроекосистем, росту рослин і формування урожаю сільськогосподарських культур.

Мета конспекту лекцій – дати цілісне уявлення про формування та функціонування агроєкосистем. Викладення матеріалу побудовано таким чином, щоб читач, ознайомившись зі змістом конспекту лекцій, отримав повне уявлення про сутність функціонування агроєкосистем, а також міг самостійно застосовувати знання для вирішення конкретних задач, пов'язаних з оцінкою впливу кліматичних умов на продуктивність агроєкосистем.

При підготовці конспекту лекцій автором використовувався досвід читання лекцій на кафедрі агрометеорології та агрометеорологічних прогнозів Одеського державного екологічного університету з курсу «Формування та функціонування агроєкосистема». При написанні конспекту лекцій використані результати численних підручників, досліджень та узагальнень з формування агроєкосистем, список яких наводиться наприкінці підручника.

Конспект лекцій може бути також корисний для студентів і аспірантів географічних і біологічних факультетів університетів, агрономічних факультетів сільськогосподарських інститутів і технікумів, а також фахівців, які працюють в області сільськогосподарської метеорології, агроєкології і загальної екології, біології, географії і сільського господарства.

Як і усі видані раніше мною книги цей конспект лекцій значною мірою зобов'язаний своєю появою Л.І. Польовій, її схваленню, підтримці та активній допомозі на всіх етапах підготовки конспекту: від обговорення його структури і змісту до комп'ютерного набору рукопису та оформлення ілюстрацій.

1. АГРОЕКОСИСТЕМА

1.1. Поняття про агроекосистему

Агроекосистема є складовою функціональною одиницею глобальної системи – *екосфери*, що об'єднує всі екосистеми Землі та є важливою частиною біосфери. Вперше термін «біосфера» вжив австрійський геолог Е. Зюсс у 1875 р., але поширився він після видання в 1926 році праці видатного вченого В.І. Вернадського, засновника та першого президента Академії Наук України. За Вернадським *біосфера* – область існування живої речовини, оболонка Земної кулі, що охоплює верхні шари літосфери (нижня межа сягає глибин, де температура становить 100 °С, це приблизно від 1,5 – 2 до 7 – 8 км), гідросферу та нижню частину атмосфери (до 85 км над поверхнею Землі), склад, структура й енергетика якої значною мірою зумовлені минулою або сучасною діяльністю організмів. Це сукупність усіх біогеоценозів Землі, єдина глобальна екосистема вищого рангу. Жива речовина біосфери (сукупність організмів нашої планети) забезпечує постійний кругообіг речовини і потік енергії, здійснює значні біогеохімічні перетворення геосфер.

Концепцію біогеоценозу розробив В.М. Сукачов (1942). Згідно з його визначенням, *біогеоценоз* (від грец. *bios* – життя, *ge* – земля, *koinos* – загальний) – це сукупність на певній ділянці земної поверхні однорідних природних об'єктів (атмосфери, гірської породи, рослинності, тваринного світу, мікроорганізмів, ґрунту і гідрологічних умов) з особливою специфікою їхньої взаємодії та певним типом обміну речовиною й енергією між собою та з іншими компонентами природи, що становлять внутрішні протиріччя системної єдності, яка знаходиться в постійному русі, розвитку. Будь-який біогеоценоз є екологічною системою, а конкретна екосистема – біогеоценозом.

Без розуміння особливостей організації природних екосистем неможливо оцінювати агроекосистеми.

Під *екологічною системою* (екосистемою) розуміють цілісну природну одиницю, що утворилася в результаті взаємодії компонентів груп живих істот і неорганічного середовища їх проживання. Внаслідок цієї взаємодії створюються нова якість і відповідний кругообіг речовин та енергії між організмами і середовищем проживання. До природних екосистем належать лише стабільні системи з визначеними трофічною й енергетичною організаціями. Крім того, в певних межах вони характеризуються саморегуляцією. Екосистему зазвичай визначають як сукупність живих істот та умов середовища:

Розрізняють мікроекосистеми (наприклад, стовбур гниючого дерева, пеньок дерева), мезоекосистеми (ліс, ставок, озеро), макроекосистеми (океан, континент). Глобальна екосистема одна – біосфера.

У процесі взаємодії з природою людство постійно вирішувало першочергове завдання життєзабезпечення – виробництва продуктів харчування, що є єдиним джерелом отримання людиною внутрішньої енергії. Тому не випадково однією з найдавніших галузей не тільки сільськогосподарського виробництва, а й виробничої діяльності людини загалом є землеробство.

Процес переходу від накопичення сільськогосподарських знань до примітивних, а згодом дедалі більш удосконалених систем землеробства та методів ведення сільського господарства загалом, стимулював ріст виробництва продовольчих ресурсів, сприяв збільшенню значення аграрного сектору в формуванні первинної фітобіологічної продукції. Біомаса людей порівняно з доагрокультурною епохою значно зросла.

В сучасній біосфері в антропогенний канал, створений людьми та свійськими тваринами, надходить $1,6 \cdot 10^{16}$ Вт енергії, що становить ~25 % загальної первинної продукції рослин. Значне збільшення первинної продукції, яку споживає людство, відбувається не тільки за рахунок сонячної енергії, а й під впливом додаткових енергетичних джерел.

Близько 95 % сухої речовини рослин створюється в процесі фотосинтезу за участю сонячної енергії, а сама продуктивність агроценозів забезпечується насамперед за рахунок вільного перебігу в рослинах і ґрунті біологічних процесів. «Антропогенна енергія», що надходить в агроєкосистеми, не замінює (і не може замінити) кількість сонячної енергії, а є своєрідним каталізатором, що стимулює активніше її використання (засвоєння).

Під *сільськогосподарською екологічною системою* (агроєкосистемою) розуміють природний комплекс, змінений (трансформований) сільськогосподарською діяльністю людини. *Агроєкосистема* – це штучна або змішана система рослинних, тваринних і мікробіологічних угруповань з невираженим або відсутнім механізмом саморегулювання, проектна продуктивність яких підтримується за рахунок прямих і опосередкованих енергетичних інвестицій, при припиненні або критичному зниженні яких вона деградує, втрачає свої проектні властивості.

Отже, агроєкосистема є несталою системою агроценопопуляцій культивованих рослин на оброблюваних ґрунтах із певним складом, структурою й режимом, які підтримуються і регулюються сільськогосподарськими працівниками; за відсутності такого контролю поступово втрачає свої властивості.

1.2. Рівні організації та типи агроєкосистем

Штучно створені людиною рослинні угруповання посівом або висаджуванням культурних рослин, під новою синонімічною назвою (агроєкосистема, агроценоз, сільськогосподарська екосистема,

агробіоценоз, сільськогосподарський фітоценоз, тощо) завжди є збідненим рослинним угрупованням одного або декількох видів для отримання певної фітомаси чистої продукції від автотрофів. До них зазвичай відносять посіви сільськогосподарських культур: зернових, бобових, олійних, технічних, плодкових, овочевих, кормових та культурні пасовища; багаторічні насадження: плодіві сади, захисні лісонасадження, штучно створенні лісові екосистеми; різні культури мікроорганізмів і грибів.

Штучно створені людиною агроекосистеми (біоценози) складаються з певних видів рослин (сортів). Рослини, які ростуть на польових ділянках і є сталими елементами агроекосистем, називають *компонентами*. Основу агрофітоценозу становлять культурні рослини полів, городів, садів, тобто едифікатори, про домінуючу роль яких дбає людина.

Штучно створені агроекосистеми (біоценози) різняться від природних низкою специфічних особливостей. У них різко знижене видове різноманіття організмів. Оскільки на полях вирощують один, рідко – декілька видів рослин, тут значно збіднюється видовий склад тварин і мікроорганізмів у біоценозі.

Без постійної турботи людини вирощувані види рослин, що виведені й підібрані нею, неспроможні виграти боротьбу за існування з дикорослими видами (бур'янами).

Проте в агроекосистемах рослини крім потоку сонячної енергії отримують додаткову енергію від людини, яка створює умови для вирощування культурних видів рослин (обробіток ґрунту, внесення добрив, боротьба з бур'янами, шкідниками, хворобами тощо). Вирощений урожай вилучається і не потрапляє в подальшому у ланцюг живлення й обміну енергією в агроекосистемі. Без належного догляду (повернення) з боку людини в агроекосистемі неминуче відбувається поступове збіднення й деградація її важливої складової – ґрунту.

Кожен тип агроекосистеми у своїй організації має певні компоненти, які беруть участь у створенні цієї динамічної системи. Її компонентами зазвичай є видовий склад рослин, його ярусність, співвідношення надземних і підземних органів, ступінь участі окремих видів у формуванні системи, життєвість окремих видів, щільність вкривання та ін.

Агроекосистеми характеризуються обов'язковим домінуванням вирощуваних культурних рослин, які чинять основний вплив на формування біотичних особливостей штучної системи. Культурні види вирощують переважно як одновидові популяції. Залежно від умов вирощування, періоду онтогенетичного розвитку та морфолого-фізіологічних особливостей культури її едифікаторна роль різна (едифікатор – вид рослин, який відіграє основну роль в створенні структури біоценозу). Найсильніші едифікаторні властивості мають багаторічні трави. За ступенем ослаблення цих властивостей однорічні

культури утворюють такий ряд типів агроєкосистем: озимі, ярі колосові, зернобобові, ярі просапні, баштанні, овочеві тощо.

Під *типом агроєкосистеми* слід розуміти сукупність окремих агроєкосистем, однорідних за компонентним складом середовища та їхньою динамікою. Як і будь-які безживні системи вони мають багатоступінчасту ієрархічно зумовлену організацію. Сільськогосподарські екосистеми нижчого рівня входять до складу системних утворень вищого рангу та підпорядковані їм.

Найвищою ієрархічною одиницею агроєкосистемного рівня є агросфера. До системного складу входять одиниці нижчих рівнів – аграрні ландшафти, які, в свою чергу, є сукупністю польових, пасовищних, фермських екосистем.

Агроєкосистеми на відмінну від природних екосистем формують для отримання максимально можливої кількості продукції, яка слугує першоджерелом харчових, кормових, лікарських і сировинних ресурсів, тобто функції агроєкосистем в основному обмежуються постачанням засобів життя.

В цьому головна причина кількісної переваги ресурсоемних і природоруйнівних типів агроєкосистем.

У сучасних агроєкосистемах матеріально-енергетичні, економічні й екологічні процеси виробництва біологічної продукції знаходяться у складних взаємозв'язках. При цьому забезпечується відтворення природного ресурсного потенціалу та ефективного використання антропогенних субсидій енергії. Науково обґрунтована організація агроєкосистем передбачає створення раціональної природної і природно-господарської інфраструктури (шляхи, лісові насадження, сільськогосподарські угіддя, канали та ін.), адекватної особливостям місцевого ландшафту і господарському використанню території загалом.

В аграрних ландшафтах людина створила природно-технологічні системи для вирощування рослин (тепліці, оранжереї, парники), тощо.

Агросфера – продукт сільськогосподарської діяльності людини (*агросфера* – глобальна екосистема, що об'єднує територію земної поверхні, перетворена сільськогосподарською діяльністю людини).

Основними елементами агроєкосистеми є:

- 1) культурні рослини, висіяні або висаджені людиною;
- 2) бур'яни, які потрапили в агроєкосистеми всупереч волі людини;
- 3) мікроорганізми ризосфер культурних рослин і бур'янів;
- 4) бульбочкові бактерії на корінцях бобових рослин, що зв'язують вільний азот повітря;
- 5) мікоризотворні гриби на корінні вищих рослин;
- 6) водорості, бактерії, гриби, актиноміцети, вільноіснуючі у ґрунті;
- 7) безхребетні тварини, що живуть у ґрунті й на рослинах;

8) хребетні тварини (гризуни, птаці та ін.), які живуть у ґрунті й посівах;

9) гриби, бактерії, віруси – паразити (напівпаразити) культурних рослин і бур'янів;

10) бактеріофаги – паразити мікроорганізмів.

Характерною особливістю сільськогосподарських екосистем є те, що вони являються продуктом трансформування природних екосистем. Трансформуючи природні екосистеми в сільськогосподарські, людина змінювала живі й неживі компоненти природних комплексів: рослинний та тваринний світ, ґрунт, воду, атмосферу. Рослини природної флори знищували, замінювали на нові, потрібні для задоволення потреб людини. Зникло багато видів рослин, диких тварин, їх замінили свійські тварини.

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.

Агроекосистемам властива розімкненість біотичного кругообігу, визначена особливостями їхньої організації, структурою та функціями, які вони виконують. Основне призначення агроекосистем – забезпечення населення продуктами харчування. Це завдання можна вирішити тільки докорінною перебудовою потоків речовин у сільськогосподарських екосистемах і навколишньому середовищі. Більша частина хімічних елементів, зв'язаних у фітомасі, у вигляді зерна, овочів, фруктів, корене- і бульбоплодів мігрує за межі сільськогосподарських екосистем здебільшого для забезпечення міського населення продуктами харчування, а промисловості – сировиною.

Хімічні елементи, вивезені з продуктами рослинництва й тваринництва за межі аграрних ландшафтів, виключаються з біологічного кругообігу сільськогосподарських екосистем. Із харчовими відходами й екскрементами людей вони надходять у каналізаційні системи міст, інших населених пунктів, залучаються в геологічний кругообіг.

Біологічний кругообіг порушується також в результаті припливу у сільськогосподарські екосистеми мінеральних добрив, пестицидів та інших речовин. У них змінюється баланс хімічних речовин «приплив – відплив». Це впливає на геохімічну ситуацію й аграрні ландшафти, стан флори й фауни, біологічну продуктивність та відтворювальну здатність культурних рослин, свійських тварин, якість продукції рослинництва й тваринництва.

В аграрних ландшафтах змінений потік енергії. В них разом із сонячною енергією використовують додаткові енергетичні ресурси для обробітку, зрошення, осушення, удобрення ґрунту, захисту рослин від шкідників, хвороб, бур'янів тощо.

Дуже велика енергоємність агроекосистем закритого ґрунту. Сільськогосподарські екосистеми відрізняються від природних характером

їхнього регулювання та керування ними. Природні біоценози є саморегульовальними, самовідтворювальними системами. В усіх сільськогосподарських екосистемах (польових, садових, пасовищних) механізми саморегулювання і самовідтворення порушені.

Процеси, які відбуваються в агроекосистемах, регулюються не стільки механізмами саморегулювання і самовдосконалення, скільки людиною. Людина виконує роль «внутрішнього» і «зовнішнього» регулятора.

1.3. Екологічні чинники агроекосистем

Сучасну класифікацію екологічних чинників запропонував М.Ф. Реймерс. В її основу покладено принципи обліку особливостей екологічних чинників за їхнім походженням, характером дії на живі системи та іншими ознаками. За віком виникнення екологічні чинники поділяють на три групи: еволюційні, історичні та діючі.

Еволюційний чинник – це чинник середовища, що впливає на організми, популяції, біоценози, екологічні системи, в тому числі й на біосферу. Він існує з часу виникнення рослинних і тваринних організмів та озонового шару.

Історичний чинник, як і еволюційний, є постійно діючим екологічним чинником. На відміну від еволюційного він є результатом історичного розвитку людства, його господарської діяльності. Наприклад, поля, сади, культурні пасовища, тваринницькі ферми й комплекси, інші антропогенні компоненти аграрних ландшафтів – екологічні чинники, пов'язані з сільськогосподарською діяльністю людей.

Діючий чинник – це сучасний екологічний чинник. Таким є меліорація земель, що забезпечує розвиток високопродуктивного рослинництва, тваринництва та інших галузей. Екологічні чинники поділяють на періодичні і неперіодичні.

Періодичні чинники є циклічно змінними. Це, наприклад, періодичні зміни умов навколишнього середовища зі зміною пори року. До періодичних змін організм адаптується. Суворий облік циклічних змін екологічних чинників при веденні сільського господарства вкрай потрібний. Відповідно до пори року сіють сільськогосподарські культури, збирають урожай, організують пасовищне і стійлове утримання тварин тощо.

Неперіодичні чинники навколишнього середовища виникають раптово, наприклад дощ, град, буря. Однією з гострих проблем сільського господарства є розробка надійних методів запобігання та захисту від дії несприятливих неперіодичних чинників (заморозків у період цвітіння рослин, засухи або затоплення посівів і т.п.), що унеможлиблює отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур, підвищення продуктивності тварин.

За черговістю виникнення екологічні чинники поділяють на первинні та вторинні. *Первинні* є вихідними, *вторинні* – їхніми наслідками. Так, формування степових, лісостепових, поліських біоценозів зумовлене особливостями кліматичних умов того чи іншого регіону України. Клімат, у свою чергу, залежить від кількості сонячної радіації, форми Землі, швидкості її обертання навколо власної осі та навколо Сонця.

За походженням розрізняють чинники космічні, абіотичні, біотичні, безживні, антропогенні, антропічні і природно-антропогенні.

Космічні чинники мають космічне походження. До них належать потік космічного пилу, космічні поля, промені Сонця та ін. Дуже важливим для функціонування агроecosystem є такий чинник, як сонячна радіація, що слугує джерелом енергії, яку рослини використовують в процесі фотосинтезу. Рослинництво можна розглядати як систему заходів щодо інтенсифікації фотосинтезу культурних рослин.

Абіотичні чинники – це чинники неживої природи. В наземних екосистемах такими є:

кліматичні – світло, тепло, повітря (його склад і рух), волога (в тому числі опади різних форм, вологість повітря і ґрунту та ін.);

едафічні (ґрунтові) – гранулометричний і хімічний склад ґрунтів та їхні фізичні властивості;

орографічні – умови рельєфу.

На водянні організми впливає комплекс гідрологічних чинників (гідрофізичні, гідрохімічні). Абіотичні чинники можуть справляти на організм пряму і побічну дію. Наприклад, температура навколишнього середовища, яка діє на організми рослин або тварин безпосередньо, визначає їхній тепловий баланс і перебіг у них фізіологічних процесів. Разом з тим температура як абіотичний чинник може здійснювати на них і космічний вплив.

Біотичний чинник – сукупність впливів життєдіяльності одних організмів на життєдіяльність інших, а також на безживне середовище їх існування. Кожен організм постійно піддається прямому або побічному впливу інших істот, вступає в зв'язок з представниками свого та інших видів – рослинами, тваринами, мікроорганізмами, залежить від них і сам на них діє. На основі цього і виділяють біотичні чинники.

Фітогенні чинники – це вплив рослин (як прямий, так і побічний) на середовище. Прямим впливом є механічні контакти, симбіоз, паразитизм, оселення епіфітів тощо. Наприклад, в агроценозах повитиця польова паразитує на конюшині, люцерні, виці та інших рослинах.

За механічного контакту, симбіозу рослини впливають одна на одну, виділяють різні фізіологічно активні речовини (вітаміни, антибіотики, ферменти, фітонциди, глюкозиди та ін.), які здатні стимулювати або пригнічувати ріст інших рослин. Побічним впливом можуть бути сприятливі й несприятливі для даного виду зміни таких екологічних

чинників, як світло, волога, ґрунтове живлення. Наприклад, більшість бур'янів в агроєкосистемах несприятливо впливають на ґрунт, де ростуть культурні рослини. Так, пирій повзучий виділяє агропірен, який пригнічує не тільки ріст культурних рослин, а й проростання їх насіння.

Зоогенні чинники – це вплив тварин (поїдання, витоштування, інші механічні впливи, запилення, поширення насіння тощо) на навколишнє середовище. Їх можна використовувати для біологічного захисту рослин. Наприклад, відомого яйцепаразита трихограму застосовують для боротьби з капустяною, озимою та іншими совками, кукурудзяним метеликом, гороховою плодожеркою.

Мікробогенні чинники – це вплив мікроорганізмів і грибів (наприклад, паразитизм) на середовище. Мікроорганізми (бактерії і гриби) впливають на ризосферу й патогенні організми. Зміна мікробонаселення ризосфери відображається на живленні рослин, на їхній стійкості до бактеріальних або інфекційних уражень.

Антропогенні чинники відображають вплив діяльності людини на навколишнє середовище. З цим пов'язане знищення продуктів еволюції – багатьох видів рослин і тварин, дуже складних систем їхнього сумісного існування – біоценозів

За характером дії екологічні чинники поділяють на інформаційні, речовино-енергетичні, фізичні, хімічні й комплексні.

Під *інформаційними чинниками* розуміють зовнішні сигнали, які діють на організми набагато сильніше, ніж потік речовини та енергії, що переноситься. Деяка життєво важлива для рослин і тварин інформація надходить без будь-яких затрат енергії (наприклад, інформація про періодичні зміни тривалості дня і ночі).

На відміну від інформаційних, *речовино-енергетичні чинники* характеризуються більш менш вираженою відповідністю масштабів перенесення речовини й енергії та ступеня вираженості відповідної реакції об'єкта дії (організму, популяції, біоценозу).

Серед *фізичних чинників* найбільше значення мають геофізичні й термічні чинники, серед *хімічних* – засоленість і кислотність, серед *комплексних* – кліматичний, географічний, системотворний.

За умовами дії екологічні чинники поділяють на залежні й незалежні від щільності популяцій. Переуцільнення популяцій призводить до посилення конкуренції, рослини і тварини можуть негативно впливати одні на одних. Встановлено, що під дією конкурентів ріст особини (рослини чи тварини) гальмується або навіть припиняється. Конкуренція може стати причиною загибелі рослин і тварин.

Екологічні чинники – це елементи (компоненти), процеси (явища) зовнішнього середовища, які впливають на біологічну систему (організм, популяцію, біоценоз). Вони діють на організм не ізольовано, а сумісно, в поєднанні один з одним.

До екологічних чинників, які не залежать від щільності популяції, належать сила гравітації, атмосферний тиск, інші компоненти навколишнього середовища.

За ступенем впливу на біосистеми екологічні чинники поділяють на екстремальні, непокійливі, мутагенні, тератогенні, летальні, лімітуючі.

Під *екстремальними* розуміють чинники середовища, що створюють несприятливі умови для росту, розвитку і розмноження рослин і тварин. *Непокійливі* чинники безпосереднього фізико-хімічного впливу на організм не здійснюють, проте вони не є індиферентними, оскільки під їх дією стан організму змінюється. Наприклад, сильний шум на фермі непокоїть тварин, знижується продуктивність лактуючих тварин, кури можуть захворіти (шумова істерика).

Мутаційні чинники середовища спричинюють мутації, *тератогенні* – тератогенез, *летальні* – зумовлюють загибель тварин і рослин, *лімітуючі* – обмежують розмноження і поширення організмів.

Обмежувальний вплив мають найрізноманітніші екологічні чинники – нестача або надлишок елементів живлення, води, тепла тощо.

Лімітуючий чинник може бути і в дефіциті (нижче від критичного рівня), і в надлишку (вище від межі витривалості організму).

Діапазон між мінімумом і максимумом екологічного чинника відповідає межі витривалості (толерантності). Закономірності, пов'язані з витривалістю видів, залежно від ступеня вираженості екологічного впливу були встановлені В. Шелфордом і дістали назву *закону толерантності*.

Межі толерантності виду можуть звужуватися або, навпаки, розширюватися залежно від стану популяцій, циклів їх розвитку, зміни умов середовища. Звуження меж толерантності відмічається в період розмноження організмів, коли до впливу екологічних чинників стають дуже чутливими особини, що розмножуються, насіння рослин, яйця птахів, ембріони тварин. Вони звужуються також при погіршенні умов життєзабезпечення виду. Так, із-за дефіциту азоту в ґрунті, що спричиняє погіршення азотного живлення рослин, знижується засухостійкість злаків.

Мінімум, оптимум або максимум екологічних чинників багато в чому визначає умови розмноження й поширення рослин і тварин, їх процвітання або, навпаки, вимирання. Проте зворотні реакції організмів залежать не тільки від інтенсивності екологічних чинників, а й від стану самих організмів та їх екологічної валентності.

Екологічна валентність виду характеризує здатність організму існувати в різних умовах середовища, заселяти ділянки з більш або менш вираженими коливаннями інтенсивності екологічних чинників. Одні біологічні види мають велику екологічну валентність, інші – малу.

Отже, *екологічна валентність* – це діапазон адаптивності (толерантності, пристосованості) виду до тих чи інших умов середовища, здатність виду заселяти середовище з різними екологічними умовами.

Види з низькою екологічною валентністю здатні витримувати обмежені варіації екологічних чинників. Це так звані *стенобіонти*. Види з високою екологічною валентністю займають різні екотипи або місця з дуже мінливими умовами. Це так звані *еврибіонти*, тобто організми, здатні жити в різних умовах навколишнього середовища або при значних їх змінах. Їм властиві широкі ареали.

1.4. Природні ресурси

Розвиток агропромислового комплексу базується на науково-обґрунтованому обліку й раціональному використанні природних, техніко-економічних, суспільно-історичних та організаційно-господарських чинників сільськогосподарського виробництва. При цьому лише природні чинники є натуральною основою, базисом виробництва, а решта сформувалися в процесі суспільного виробництва.

Природні ресурси – це будь-які об'єкти природи, які людина використовує для задоволення різноманітних потреб, підтримання умов існування людства і підвищення якості життя.

Природними ресурсами є корисні копалини, рослинність, тваринний світ, атмосферне повітря, вода, ґрунт, клімат, сонячна і космічна радіація.

Природні ресурси поділяють на непоновлювані й поновлювані.

До *непоновлюваних* належать ті, які абсолютно не відновлюються або відновлюються у сотні тисяч разів повільніше, ніж використовуються. Це кам'яне вугілля, нафта, більшість інших корисних копалин (різні руди, солі та ін.), торфовища, численні осадові породи тощо. Використання цих ресурсів неминуче призводить до їх виснаження. Охорона непоновлюваних природних ресурсів полягає в раціональному, економному їх використанні, боротьбі з втратами, а також у пошуку заміників.

Поновлюваними природними ресурсами є ґрунт, рослинний і тваринний світ, деякі мінеральні речовини (солі, що осідають в озерах та морських лагунах). Ці ресурси постійно відновлюються, проте для збереження цієї їхньої здатності потрібні певні природні умови. Процеси відновлення різних ресурсів можуть мати дуже різну тривалість: для відновлення зникаючих видів тварин потрібно декілька років, а вирубаного лісу – 60 - 80 років, зруйнованого ґрунту – кілька тисячоліть. Тому темпи втрати природних ресурсів мають відповідати темпам їх відновлення. Порушення цієї рівноваги неминуче призведе до цілковитої втрати природних ресурсів.

Поновлювані природні ресурси в результаті діяльності людини можуть стати непоновлюваними (знищення видів рослин і тварин, втрачений ґрунт через ерозію, засолення тощо).

Поновлювані природні ресурси треба захищати раціональним їх використанням і розширеним відтворенням, тоді вони можуть служити людині практично нескінченно.

Невичерпними природними ресурсами є водні, кліматичні (атмосферне повітря, енергія вітру) та космічні (сонячна радіація, енергія морських припливів). Загальний ресурс води на Землі залишається незмінним і невичерпним, але в зв'язку з посиленням антропогенного впливу запаси води в окремих регіонах можуть значно змінюватися, що призводить до дефіциту не тільки прісної (питної), а й технічної води. Атмосферне повітря також загрозливо забруднюється, через що значно змінюється кількість сонячної радіації.

Для охорони природних ресурсів потрібно знати запаси кожного з них, щоб своєчасно вживати ефективних заходів щодо їх відновлення і відтворення. Джерелом такої інформації є кадастри – систематичні зведення даних, які кількісно й якісно характеризують певний вид природних ресурсів і явищ, іноді з їхньою економічною або соціально-економічною характеристикою, оцінкою змін під впливом людини, рекомендаціями щодо раціонального використання ресурсів і необхідними заходами для їх захисту.

Розрізняють земельний, водний, лісовий, промисловий та інші кадастри. Ведення комплексних територіальних кадастрів природних ресурсів комп'ютеризовано. Територіальна орієнтація кадастрових робіт пов'язана зі значним розширенням обсягів аерокосмічних і картографічних відомостей.

1.5. Природно-ресурсна характеристика основних агроекосистем України

Загальні відомості. Особливе географічне положення України визначило характер її рослинності та ґрунтових і кліматичних характеристик. Територія країни простягається із заходу на схід більш як на 1300 км, а з півночі на південь – майже на 900 км. Її площа досягає 6370000 км². Вона знаходиться в межах трьох фізико-географічних зон. Рівнинна територія – це південно-західна частина Східноєвропейської рівнини, на заході країни знаходяться Українські Карпати, на півдні – Кримські гори. Це наклало відбиток на процеси формування фітоценотичної структури і розміщення в межах помірного поясу за винятком Південного берега Криму з ознаками субтропічного.

На площі Східноєвропейської рівнини виділяють специфічні фізико-географічні зони, провінції та області. В геоботанічних підзонах простежуються зональні зміни компонентів фітоценозу, що особливо виявляється в лісових угрупованнях конкретних формацій.

Через зональний розподіл сонячної енергії зонально виявляються кліматичні умови, процеси вивітрювання гірських материнських порід, розміщуються ґрунти, формується рослинність, тваринний світ.

Зональні й азональні чинники системно взаємодіють між собою і створюють різноманітність земної поверхні. Виявляються вони по-різному, в залежності від конкретних географічних обставин і стадії розвитку певної території. Все це сприяло формуванню різних схем спеціалізованого районування таких компонентів природного середовища, як клімат, ґрунти, рослинність, тваринний світ та ін. Усі вони мають специфічне галузеве спрямування вирішення питань господарського використання природних ресурсів і водночас створюють природне середовище з цілої низки екологічних чинників.

Один із розділів екології – ландшафтна екологія, або екологія ландшафтів, вивчає структуру й функціонування природних комплексів, які складаються з ландшафтотворних компонентів, тобто детально досліджує складові ландшафту. Такі дослідження дають змогу виділити екосистеми різних ієрархічних рівнів організації в певних географічних районах і зонах.

В основу виділення зон В.В. Докучаєвим покладено різні кількості тепла і вологи (абіотичні чинники), тобто кліматичні відмінності території.

Рослинний природний покрив є специфічним індикатором, за яким зони (пояси) різняться між собою. Тому більшість зон отримала свою сучасну назву за типом рослинності – тундра, лісова, лісостепова, степова та ін. Особливості зональної рослинності найповніше відображають фітоценози, розміщені на рівнинах (плакорних площах), оскільки ці ділянки найбільшою мірою відповідають кліматичним умовам певної зони.

Плакори або плакорні умови слід розглядати в широкому розумінні, які включають в себе різні позитивні форми рельєфу, де зазвичай формується зональна рослинність.

У негативних формах рельєфу, що займають невеликі площі, є і неплакорна рослинність. Отже, рослинність, що заселяє пониззя, підвищення, схили різної стрімкості, може різнитися від основної, зональної, тобто тут поширена інша зональна рослинність.

На території України виділяють види природної рослинності, пов'язані з ґрунтами різного генезису:

– Лісова зона (розвиток зонального підзолистого ґрунту і наявність болотних ґрунтів);

– Українське Полісся – підзона хвойно-широколистяних лісів (дерново-підзолисті ґрунти);

– Лісостепова зона (розвиток зональних сірих лісових ґрунтів, наявність підзолистих і чорноземів);

– Степова зона (розвиток зональних чорноземів і темно-каштанових ґрунтів, наявність солонців і солодей).

Крім перелічених виділяють ще зону сухих степів і гірські країни – Крим та Українські Карпати.

Українське Полісся входить у зону Мішаних лісів Східноєвропейської рівнини і є частиною єдиної фізико-географічної провінції з характерним для неї підтипом поліських ландшафтів. Річний радіаційний баланс на території Українського Полісся становить 178 – 188 кДж/см². Вегетаційний період рослинності триває 190 – 205 діб. Середньорічна кількість опадів досягає 550 – 700 мм. Випаровування не перевищує 400 – 450 мм. Коефіцієнт зволоження (відношення кількості опадів до випаровування) досягає 1,9 – 2,8.

Для поліських ландшафтів характерні велика зволоженість і розвиток процесів заболочування. До 70 % заболочених земель країни припадає на Полісся. Значна зволоженість зумовила розвиток процесів утворення підзолистого та болотного ґрунтів, формування лучної, болотної та лісової рослинності. Ліси вкривають близько 25 % цієї території. Ґрунти піщані, малородючі. На не зміцнених рослинами ділянках можлива вітрова ерозія.

До складу Українського Полісся входить п'ять фізико-географічних областей: Волинське, Житомирське, Київське, Чернігівське та Новгород-Сіверське Полісся.

Лісостепова зона пролягає південними районами Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської, Чернігівської, Сумської областей, східними районами Івано-Франківської і Чернівецької, центральними районами Львівської, Тернопільської, Хмельницької, Вінницької, Черкаської, а також північними районами Одеської, Кіровоградської та Харківської областей. У цій зоні (34 % усієї території України) велика частка сільськогосподарських угідь (66 % орних земель). Ця зона відрізняється своєю ландшафтною структурою, складним чергуванням природних комплексів з опідзоленими ґрунтами, які сформувалися під широколистяними лісами, та з типовими глибокими чорноземами на легкосуглинкових лесових породах під остепненими луками і лучними степами. Середньорічний радіаційний баланс становить 188 – 209 кДж/см². Кількість опадів протягом року коливається від 450 до 650 мм, а випаровування – від 550 до 750 мм. Коефіцієнт зволоження становить 2,8 у західній та 1,3 у південно-західній частині.

У лісостеповій зоні України виділяють Західноукраїнську, Дністровсько-Дніпровську, Лівобережно-Дніпровську і Середньоросійську провінції. Вони відрізняються між собою нерівномірним зволоженням, наростанням континентальності клімату із заходу на схід і чергуванням височин та низинних рівнин.

Правобережні, більш зволожені провінції характеризуються підвищеною вилуженістю ґрунтів, значною кількістю опідзолених чорноземів і сірих ґрунтів на карбонатних лесових породах. У лівобережній частині та в південній смузі зони переважають типові

малогумусні чорноземи. Лісами зайнято до 12 % території зони, близько 67 % сільськогосподарських угідь. Основні культури – озима пшениця і цукрові буряки. Ерозійні процеси дуже негативно впливають на господарське використання земель. Тому поряд із загальними методами підвищення родючості ґрунтів вживають протиерозійних заходів. Для лівобережної низовинної рівнини важливими заходами є також нагромадження і збереження вологи, внесення достатньої кількості добрив, боротьба із засоленням і заболоченням ґрунтів.

Степова зона порівняно з описаними вище зонами – тепліший край. Вегетаційний період досягає 210 – 225 діб. Середньорічний радіаційний баланс становить 209 – 238 кДж/см². Річна сума температур перевищує 10°C і дорівнює 2800 – 3300 °С, а в Задністров'ї – до 3400 – 3600 °С. Кількість опадів протягом року в межах зони зменшується від 450 мм на півночі до 400 – 350 мм на півдні. Випаровування з водної поверхні складає 600 – 800 мм, коефіцієнт зволоження дорівнює 1,3 – 1,0.

У зоні найбільш поширені звичайні середньогумусні та південні малогумусні чорноземи, які сформувались на важкосуглинкових лісових породах під різнотравно-типчакково-ковиловою і типчакково-ковиловою рослинністю. Рілля у земельному фонді досягає 75–80 %. Близько половини земельних угідь займають посіви найціннішої продовольчої культури – озимої пшениці. Важливою умовою вирощування високих і стабільних урожаїв є зрошування. За кількістю теплових ресурсів, вологозабезпеченістю та агровиробничими властивостями ґрунтів Степову зону поділяють на північну і південну підзони. Північностепова підзона включає шість провінцій: Молдавську, Дністровсько-Дніпровську, Лівобережно-Дніпровську, Приазовську, Донецьку та Донецько-Донську.

Зона сухих степів характеризується високими тепловими ресурсами та посушливістю. Радіаційний баланс становить 217 – 238 кДж/см². Безморозний період триває 190 – 210 діб, вегетаційний – 230–240 діб. Сума активних температур близько 3400 °С, середньорічна кількість опадів складає 300 – 400 мм, випаровуваність – 9000–1000 мм, коефіцієнт зволоження від 1,0 до 0,8. Тут поширені солонцюваті ґрунти каштанового типу в комплексі з солонцями. Ефективне використання земель у сільськогосподарському виробництві можливе тільки при зрошенні. Зону поділяють на Причорноморську сухостепову (Одесько-Херсонське Причорномор'я), Нижньодніпровську і Присивасько-Приазовську області.

Крим. Кримський півострів – це своєрідна природна країна. На його території виділяють Кримську передгірно-рівнинну степову і Кримську гірську провінції.

Кримська передгірно-рівнинна степова провінція займає більшу, північну частину Кримського півострова. Для клімату характерні тривале тепле літо і коротка малосніжна зима. Тривалість безморозного періоду 175 – 225 діб, вегетаційного періоду складає 230 – 255 діб. Сума активних

температур досягає 3300 – 3450 °С. Середньорічна кількість опадів змінюється з півночі на південь від 300 до 420 мм.

У ґрунтовому покриві простежується зональна зміна ґрунтів від каштанових і темно-каштанових солонцюватих, поєднаних із солонцями, до південних малогумусних солонцюватих чорноземах.

За характером ландшафтної структури в провінції виділяють такі області: Кримсько-Сиваська сухо-стєпова низовинно-лиманна, Тарханкутська з хвилястими вододільно-останцевими й улоговинними місцевостями, Центральнокримська з вододільно-рівнинними і долинно-сухорічними місцевостями, Керченська з денудаційно-останцевими та улоговинними місцевостями.

Кримська гірська провінція простягається вздовж узбережжя Чорного моря від Севастополя до Феодосії на 150 км. Положення Кримських гір у смузі переходу від помірно теплого клімату до субтропічного поряд з особливостями рельєфу зумовлює й різноманітність ландшафтів. За природними умовами гірську частину Криму поділяють на три фізико-географічні області: Передгір'я, Головне гірське пасмо, Південний берег Криму.

Передгір'я, що включає Зовнішнє, Внутрішнє пасма та пониззя між ними, поєднує степові й лісостєпові ландшафти. Область Головного гірського пасма виділяється гірсько-лісовими на схилах та гірсько-лучними остєпненими ландшафтами на плоских вапнякових вершинах плато – яйлах.

Південний берег Криму має субтропічний ландшафт середземноморського типу. Тут поширені коричневі ґрунти під розрідженим дубово-ялівцевим лісом і кущами із середземноморськими видами рослин. Сучасний колорит ландшафтів визначають декоративна рослинність парків, плантації виноградників, сади із субтропічними плодовими деревами. З метою збереження цінної флори тут створено Ялтинський гірсько-лісовий заповідник та державний заповідник Мис Март'ян.

Українські Карпати є фізико-географічною провінцією Карпатської гірської країни. Крім власне гір до її складу входять Передкарпаття та Закарпатська низовина, формування ландшафтів яких пов'язане з горами. Українські Карпати – середньо-високі гори з помірно теплим і вологим кліматом. Тут переважають гірські лісові та лучні полонинні ландшафти. У провінції виділяють шість фізико-географічних областей: Передкарпаття, Зовнішні Карпати, Вододільно-Верховинська, Полонинсько-Чорногірська, Рахівсько-Чивчинська та Закарпатська низовини.

Отже, знання природних умов і характерних природно-територіальних комплексів дає нам велику практичну можливість їх використання, відкриває широкі можливості раціонального використання природних ресурсів. Зокрема, дбаючи про розвиток інтенсивного сільського

господарства, господарник має не тільки знати ґрунти, а й враховувати у своїй діяльності весь комплекс природних та кліматичних умов (району, області), найактивніші фізико-географічні процеси, особливо ті, що завдають шкоди народному господарству.

Контрольні питання

- 1. Що таке екосистема і біоценоз?*
- 2. Перелічіть ознаки, за якими виділяють різні екосистеми.*
- 3. Що таке біосфера? Хто з учених розробляв концепцію біосфери?*
- 4. Що таке агросфера?*
- 5. Що таке агроекосистема?*
- 6. Назвати екологічні чинники агроекосистеми.*
- 7. Яке значення біотичних чинників у агроекосистемі?*
- 8. Що таке природні ресурси?*
- 9. Що таке поновлювальні природні ресурси?*
- 10. Що таке невичерпні природні ресурси?*
- 11. Які природні зони виділяються в Україні?*

2. АГРОФІТОЦЕНОЗ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА АГРОЕКОСИСТЕМИ

2.1. Основні відомості про агрофітоценоз

Крім природних фітоценозів значні площі планети займають угруповання сільськогосподарських і лісогосподарських рослин, які створені, підтримуються і регулюються людиною. Сільськогосподарські штучні фітосистеми, або агрофітоценози, мають свої характерні особливості.

Агрофітоценоз (від грец. agros – поле, phyton – рослина, koinos – загальний, спільний) – рослинне угруповання, створене людиною в результаті посіву чи посадки культурних рослин. Спираючись на багатовіковий досвід, людина розробила цілий комплекс агротехнічних заходів щодо вирощування культурних рослин, найважливішими з яких є розпушування ґрунту, внесення добрив, сівозміна, регулювання водного і повітряного режимів ґрунту, боротьба зі шкідниками і бур'янами.

З'явилися штучні рослинні угруповання ще в антропогенні часи, тобто близько 10 – 15 тис. років тому. Першими посівами були хлібні злаки. При цьому поряд з вирощуваними культурами на полях зберігалися деякі з рослин, які росли тут до посіву, та види з природною властивістю до самостійного оселення на окультурених ґрунтах. Такі види пристосувалися до життя серед сільськогосподарських рослин і стали їх супутниками-бур'янами. Крім бур'янів до складу агрофітоценозів включалися специфічні бактерії, водорості, гриби.

В результаті антропогенної діяльності створювалися нові, штучні та регульовані людиною агрофітоценози.

Такий процес стабільніше забезпечував продуктами харчування первісну людину і певною мірою був прогресивним порівняно з отриманням їжі з природного рослинного покриву. В результаті створювалися нові агрофітоценози і водночас розширювалися сільськогосподарські угіддя.

Щорічний приріст населення на планеті Земля зумовлював освоєння нових потенційно придатних площ з певною родючістю ґрунту. Нині в світі розорано не менш як 17 млн км², тобто 10 % площі суходолу, і майже 50 млн км² займають пасовища та сінокоси. Тому агрофітоценози – невід'ємні складові сучасного рослинного покриву.

Едифікатори агрофітоценозів – це вирощувані культурні рослини. Травостій цих рослин формує людина, вони є основними продуцентами штучних екосистем. Людина не тільки готує площу для створення відповідного агрофітоценозу, а й за потреби змінює ґрунтові умови життя рослин, вологість і висіває насіння домінантів. Інші компоненти зазвичай з'являються в складі угруповання поза волею людини. Отже, штучне

рослинне угруповання, або агрофітоценоз, складається з певних видів рослин. Рослини, які зростають на полях і є сталими елементами агрофітоценозу, називають компонентами. Основу агрофітоценозу становлять культурні рослини, тобто едифікатори. Отже, едифікатори – це культурні рослини полів, городів і садів; про їхню домінуючу роль дбає людина.

Одна рослина впливає на іншу як безпосередньо, так і опосередковано (через зміну умов середовища). Пряму дію добре спостерігати при паразитизмі. Паразитизм – одна із форм взаємовідносин організмів різних видів у фітоценозі. Наприклад, на посівах льону звичайного можна спостерігати негативну дію однорічної рослини-паразита з ниткоподібним зеленкувато-жовтим стеблом, що обвиває стебла льону і присмоктується до них за допомогою особливих присосків – гаусторіїв. Повитиця льонова досить поширена у всіх льоносіючих районах України, поширюється переважно з насінням льону. Це типова біотрофія, коли повитиця льонова живе за рахунок льону звичайного або вовчок соняшниковий на соняшнику однорічному. Особини льону звичайного, соняшника однорічного є живителями паразитів, тому їх життєдіяльність пригнічується, іноді вони гинуть. Крім паразитичних, в агрофітоценозах і фітоценозах поширені напівпаразитичні взаємовідносини. Так, на Поліссі та в Лісостепу поширений дзвінець великий, який паразитує на озимому житі й інших злакових, завдає значної шкоди також на луках. Дзвінець весняний – близький вид, який трапляється на луках, лісових галявинах, інколи в посівах .

У фітоценозах і агрофітоценозах поширений симбіоз – форма тривалого співіснування організмів різних видів, при якому обидва партнери (симбіонти) мають від цього певну вигоду. Симбіоз має надзвичайно різноманітний характер і різниться безпосередніми трофічними зв'язками (бобові рослини і бульбочкові бактерії; рослини і мікоризні гриби). Берізка польова, обвиваючи стебла пшениці, спричиняє механічний тиск на її тканини і негативно впливає на продуктивність. Сільськогосподарські рослини можуть виділяти корінням фізіологічно активні речовини, які пригнічують ріст деяких бур'янів. Так, овес посівний пригнічує ріст маку польового, а жито посівне – гірчиці польової. Встановлено і взаємний обмін корисними кореневими виділеннями між сільськогосподарськими рослинами та бур'янами.

Агрофітоценоз має певний флористичний склад, структуру, взаємовідносини особин рослин одна з одною та навколишнім середовищем. Від природних угруповань агрофітоценоз різниться цілеспрямованим посівом домінуючих рослин, простішою структурою, спрямованою заміною іншими запланованими агрофітоценозами у сівозміні, недовговічністю існування угруповання та відсутністю здатності до поновлення.

2.2. Видовий склад і просторово-часова організація агрофітоценозу

Видовий або флористичний склад угруповань (видове багатство) – це перелік видів, які трапляються в ньому. Кількість видів, які можна знайти у даному угрупованні на певній одиниці площі (1, 10 або 100 м²), називають видовою насиченістю.

Агрофітоценоз характеризується обов'язковим домінуванням вирощуваних культурних рослин, які чинять основний вплив на формування біотопних особливостей цієї штучної системи. Зазвичай культурні види вирощують переважно як одновидові популяції. В залежності від умов вирощування, періоду онтогенетичного розвитку та морфолого-фізіологічних особливостей культури її едифікаторна роль різна.

Найсильніші едифікаторні властивості мають багаторічні трави. За ступенем їх ослаблення однорічні культури утворюють такий ряд: озимі, ярі колосові, зернобобові, ярі просапні, баштанні, овочеві. В сільськогосподарській практиці за едифікаторним ефектом виділяють три групи культур :

- сильноедифікаторні культури суцільного посіву, які формують густий травостій (проективне покриття близько 100 %), високорослий (до 3м) або середньорослий, зазвичай швидко розвивається після посіву, рано відростає навесні – жито, ріпак, соняшник на силос;

- середноедифікаторні рослини суцільного посіву та рядкового весняного посіву, досить високорослі (до 1,5 м, проективне покриття 75 – 80 %), зазвичай швидко ростуть після появи сходів – ярі зернові, в тому числі рис, гречка, просо, соя;

- слабкоедифікаторні рослини рядкового посіву з широкими або неширокими міжряддями, культури суцільного посіву, низькорослі, що повільно розвиваються після появи сходів (проективне покриття менш як 40 %) – баштанні, більшість овочевих (морква, капуста, цибуля та ін.), горох, цукровий буряк, льон.

Бур'яни – це супутники культурних рослин поля і городу. Вони є другим автотрофним компонентом агрофітоценозу. Їх поділяють на дві групи: сегетальні та рудеральні.

Сегетальні бур'яни засмічують польові й городні культури, рудеральні – оселяються на смітниках, узбіччях шляхів, вони також потрапляють на сільськогосподарські землі й завдають великої шкоди сільськогосподарському виробництву.

Культурні рослини і бур'яни – об'єкти вторинних місцезростань, еволюція яких відбувалася за участю людини, тобто агрофіти з'явилися з розвитком землеробства. В Європі вони поширились, починаючи з пізнього кам'яного віку тобто 5000 – 6000 років тому).

Види рослин, які відомі з археологічних знахідок як бур'яни з доісторичного часу, називають археофітами. Найдавніші бур'яни – волошка синя, кукіль звичайний, маки, стоколос житній, ромашка непахуча, талабан польовий, рутка лікарська, сокирки польові. Всі вони поширювалися разом із вирощуваними культурними рослинами з Середньої Азії або Середземномор'я.

Серед бур'янів є і неофіти – занесені рослини, які з'явилися в агрофітоценозах в історично недавній час. Так, злинка канадська була завезена в Європу в 1655 р. з Північної Америки, а галінсога дрібноцвіта – з Мексики у 1880 р. Кількість неофітів зростала з розвитком землеробства, транспорту, збільшенням перевезень вантажів та переміщенням людей. Рослини, які поширилися в місцевій флорі за участю людини (культурні бур'яни) і живуть на місцях вирощування, створених людиною, називають антропофітами.

Аборигенні рослини, які поширилися з природних місцезростань на орні землі, називають апофітами. Види місцевої флори, які знаходять сприятливі умови для росту і розвитку на полях, стають злісними бур'янами – пирій повзучий, осот жовтий польовий, глуха кропива пурпурова, лобода біла, лобода багатонасінна, зірочник середній (мокрець).

Забур'яненість полів призводить до зниження урожайності сільськогосподарських культур і завдає величезних збитків виробникам сільськогосподарської продукції. Аби запобігти цьому, з бур'янами ведуть боротьбу, вдаючись до агротехнічних, хімічних і біологічних заходів. Однак є чимало рослин, які хоч і належать до бур'янів (якщо вони ростуть на городах або полях), та водночас мають лікувальні властивості (рутка лікарська, череда трироздільна, сухоцвіт багновий, чистотіл звичайний), є добрими медоносами або навіть належать до рідкісних, зникаючих видів.

Найчисленнішими як за кількістю видів, так і за кількістю особин є однорічні бур'яни, що мають досить високу насінневу продуктивність. Так, одна рослина лободи білої продукує до 100 тис. насінин, а щиріці загнutoї – до 1 млн., частка одно- і дворічних бур'янів досягає 70 % усієї забур'яненості сільськогосподарських угідь. Найсприятливіші умови для бур'янів складаються в посівах однорічних культур, тоді як у багаторічних травах вони натикаються на сильну конкуренцію з домінантною культурою.

У процесі еволюції значно поширилися види, які найбільш пристосовані до умов поля і мають:

- однакові з домінантною культурою вимоги до навколишнього середовища;
- короткий період вегетації;
- підвищену енергію насінневого і вегетативного розмноження;
- велику насінневу продуктивність;

- раннє дозрівання та осипання насіння задовго до збирання основної культури (тому насіння залишається у ґрунті);
- насіння, яке сходить за температури нижчої ніж 10 °С і може проростати без періоду спокою, але максимальну схожість має після перезимівлі;
- розтягнутий до десяти років період проростання (щорічні сходи становлять менш як 1 % запасу насіння у ґрунті).

2.3. Структура і динаміка. Співіснування в агрофітоценозах

Незважаючи на різноманітність компонентів агрофітоценозу, головними організаційними елементами його структури завжди є культурні рослини та бур'яни.

Структурна організація агрофітоценозу досить спрощена, як і структура природних фітоценозів у тих же екологічних умовах. Чисті одновидові посіви за відсутності бур'янів є одноярусними угрупованнями. З ростом забур'яненості ниви (поля) проявляється вертикальне розчленування агрофітоценозу, тобто формується його ярусність. Переважно верхній ярус формують культурні рослини, забур'янені вівсюгом, осотом польовим, будяком кучерявим.

Бур'яни можуть сформувати і свій власний ярус над ярусом сільськогосподарських рослин. Середній ярус угруповання можуть утворювати волошка синя в агрофітоценозі жита або лобода біла та щиряця загнута в посівах кукурудзи звичайної. Нижній ярус (до 25 см) формують такі бур'яни, як фіалка польова, грицики звичайні, галінсога дрібноцвіта, талабан польовий, незабудка польова. Виткі бур'яни (березка польова, гірчак березковидний, гірчак шорсткий) є позаярусними рослинами.

Ярусне розміщення бур'янів в агрофітоценозах засвідчує їх вимогливість до світла. Більшість бур'янів – це світлолюбні рослини. Найшкідливіші бур'яни розміщуються у верхньому та середньому ярусах агрофітоценозу, розвивають чималу надземну фітомасу, яка затінює культурні рослини. Бур'яни нижнього ярусу конкурують із сільськогосподарськими рослинами за вологу та мінеральні речовини, але не за світло. Ярусність в агрофітоценозах простежується не лише в надземній частині, а й у підземній – в розміщенні кореневих систем.

Аспективність агрофітоценозу цілком залежить від екології культури рослини, тому на добре оброблюваному полі мозаїчність не виявляється. Вона можлива тільки за недосконалої агротехніки при посіві. За масового розвитку бур'янів може розвиватися аспектність агрофітоценозу, тобто його фізіономність. Так, на засмічених посівах ярих зернових поле змінюється спочатку зеленим, а з часом – солом'яно-жовтим аспектом злаків та бур'янів.

Докорінна зміна агрофітоценозів пов'язана із сівозмінами і підлягає агрономічному контролю. Конкретні агрофітоценози можна розглядати як агрофази лише одного агроекоциклу, період якого відповідає одній ротації сівозміни. Короткотривалість існування одного агрофітоценозу в такому циклі призводить до повної заміни культури (домінанта) та певної зміни малорічних і незначної зміни в складі багаторічних бур'янів.

Співіснування в агрофітоценозах. Можливість спільного зростання різних видів зумовлена їхньою екологічною, біологічною специфікою, а також неординарністю умов росту. Кожен вид у фітоценозі займає свою екологічну нішу. Певна ніша характеризується горизонтами середовища, де розміщені надземна і підземна частини фітомаси тіла рослини. Отже, чим різноманітніший видовий склад угруповання, тим повніше використовується потенціал місцезростання за можливого мінімуму конкуренції.

В екології під екологічною нішею розуміють фізичний простір із властивими йому екологічними умовами, що визначають існування будь-якого організму, тобто це місце виду в природі, яке характеризує не лише розміщення його в просторі, а й функціональну роль у біоценозі та відношення до абіотичних чинників середовища існування. Водночас екологічна ніша відображає ступінь біологічної спеціалізації даного виду.

Оскільки в агрофітоценозі умови росту переважно одноманітні (оранка, добрива тощо) й вирощується тільки одна культура, всі особини якої здатні однаково поглинати сонячну енергію, воду, мінеральні елементи, то надзвичайне значення має внутрішньовидова конкуренція. Конкуренцію в агрофітоценозі регулює людина за допомогою норми висіву. Розмір площі живлення в однакових ґрунтово-кліматичних умовах залежить від видової специфічності, причому у сільськогосподарських культур та їхніх бур'янів виробилась здатність успішно рости в густіших травостоях, ніж рослини природної флори.

З поліпшенням умов росту підвищується міцність рослин і водночас їх вплив одна на одну, що призводить до конкуренції та відмирання особин. У період росту конкуренція йде в основному за воду й елементи живлення, тому в цей період відмирають особини зі слабкорозвиненою кореневою системою. З розвитком надземної фітомаси посилюється конкуренція за світло. Збільшення густоти посіву певною мірою сприяє формуванню сприятливого мікроклімату: зменшуються транспірація й випаровування і навіть нівелюється коливання температури, ослаблюється механічна дія вітру. З підвищенням норми висіву збільшується кількість особин на одиницю площі, але водночас зменшується їх могутність. Тому максимальний урожай формується за певної середньої кількості особин. Для кожної сільськогосподарської культури ця величина різна й зумовлюється умовами росту.

Міжвидова конкуренція в агрофітоценозах виникає між висіяними культурними рослинами та бур'янами за світло, вологу, поживні речовини. Осот польовий для утворення 3,6 т зеленої фітомаси поглинає з ґрунту таку кількість поживних речовин, якої було б достатньо для отримання 3,2 т зерна або майже 20 т коренеплодів цукрового буряку.

Під час створення сучасних високоурожайних сортів зернових підбирали рослини, які більшу частину пластичних речовин фотосинтезу витрачають на формування насіння, тобто на збільшення урожаю. Такі рослини – неконкурентоспроможні, вони пристосовані до вузького спектра екологічних чинників і потребують високої технології вирощування, бо за старими технологіями їхня продуктивність буде низькою. В цьому разі продуктивнішими будуть старі сорти.

В агрофітоценозах простежується значний взаємовплив через кореневі виділення і метаболіти ризосферних організмів. Із корінців у ґрунт виділяються різноманітні органічні речовини, які сприяють конкуренції мікроорганізмів, формується особливе для кожної культури середовище, здатне впливати на конкурентні взаємовідносини в угрупованні.

Так, із корінців пшениці в ґрунт виділяється до 10 різних сахарів, 19 амінокислот, 10 органічних кислот, 3 нуклеотиди та 3 ферменти. Експериментально встановлено, що чимало рослин виділяє речовини, які пригнічують проростання насіння і розвиток паростків інших видів.

Алелопатія – взаємний хімічний вплив сумісно існуючих організмів шляхом виділення ними в навколишнє середовище продуктів своєї життєдіяльності (фітонциди, ефірні олії тощо). Явище алелопатії враховують при вирощуванні сільськогосподарських культур (сівозміни, повторні посіви культур-санітарів, підбір культур для змішаних посівів тощо).

Паразитизм – антагоністична форма взаємодії двох різних організмів, за якої один із них (паразит) використовує іншого (хазяїна) як джерело їжі або середовище оселення, відомий серед усіх груп організмів. Паразити можуть бути обов'язковими (облігатними) і факультативними – здатними переходити до іншого способу життя та живлення, тимчасовими і стаціонарними. Серед стаціонарних паразитів виділяють ендопаразитів, які оселяються в тканинах різних органів. Паразити завдають шкоди сільському господарству. У природі вони регулюють чисельність популяцій рослин і тварин, на цьому ґрунтується їхнє застосування для боротьби зі шкідниками та збудниками хвороб.

Внаслідок господарської діяльності людини відбувається відчуження надземної (сінокоси, пасовища, поля), а інколи й підземної (збір коренеплодів цукрового буряку, моркви тощо) фітомаси, що різко знижує здатність агрофітоценозів змінювати навколишнє середовище.

Водночас культурні рослини – доміанти агроценозів – істотно змінюють мікрокліматичні умови в посівах, перетворюючи екотоп на

біотоп. Важливу роль у конкурентній боротьбі між культурними рослинами і бур'янами відіграє освітлення. Під наметом добре розвиненого травостою культурних рослин створюються умови, за яких сходи бур'янів, як правило, не можуть зростати або пригнічені і їхнє розмноження припинене.

Регулюванням строків посіву та норм висіву вдається підвищити конкурентну стійкість культурних рослин. Сучасна агротехніка, яка передбачена для інтенсивних сортів, у багатьох випадках забезпечує зрідження і загибель бур'янів внаслідок затінення.

Має значення синхронізація життєдіяльності вищих рослин та мікроорганізмів у ґрунті. Вона визначає родючість ґрунту, стабілізує запаси поживних речовин і замикає кругообіг речовин. Співіснування у ґрунті зовні малопомітне, але дуже важливе. Відомо, що в середньому в орному шарі на 1 га живе 500 кг дощових черв'яків, 50 кг нематод, 40 кг ґрунтових ракоподібних і 20 кг змій та гризунів. На кожен 1 м² ріллі припадає 2 – 3 кг внутрішньо ґрунтової живої речовини, з якої 1,5 кг – це корені рослин.

У межах окремого посіву стійкість видів забезпечується їхнім генетичним різноманіттям та проживанням у стабільному екологічному середовищі.

Загальна кількість видів бур'янів, шкідників, патогенних мікроорганізмів обчислюється десятками тисяч.

2.4. Екологічні особливості основних сільськогосподарських культур

Накопичений у землеробстві експериментальний матеріал і виробнича практика засвідчують, що найтісніші зв'язки й залежності існують між технологіями вирощування культур, рельєфом і ґрунтом. Крім того, на вибір та оперативне коригування технологій вирощування культур значною мірою впливають погодні умови, попередники, добрива, забур'янення полів.

У конкретних ситуаціях ступінь важливості тих або інших чинників може істотно змінюватись, що зумовлює диференційований підхід до систем обробітку ґрунту, застосування добрив, догляду за посівами сільськогосподарських культур. Диференційований підхід передбачає не тільки обґрунтоване поєднання прийомів обробітку ґрунту, застосування добрив, догляду за посівами, а й максимальне використання біологічних чинників у створенні оптимальних фізичних і агрохімічних властивостей ґрунту, захисту рослин від бур'янів, шкідників, хвороб.

Як уже зазначалося, культурні рослини посідають центральне місце в агрофітоценозі – це головний компонент, ядро агроекологічної системи. Вони здійснюють найсильніший, нерідко домінуючий вплив на

агроекосистему. Рослини-домінанти – не тільки компонент фітоценозу, а й важливий екологічний чинник, який всебічно впливає на навколишнє середовище, екологічну обстановку, що складається в агроекосистемі, тому вони отримали назву «едифікатори». Едифікаторна роль культурних рослин різних видів неоднакова. За ступенем зменшення едифікаторного впливу, за даними Н.Є. Воробйова, їх можна розмістити в такий ряд: багаторічні трави, озимі колосові культури, ярі колосові культури, зернобобові, ярі просапні (картопля, кукурудза, соняшник), баштанні, овочеві.

Багаторічні трави. Травам загалом властива низька вимогливість до умов вирощування та дуже висока екологічна пластичність. Водночас вони мають істотні відміни, зумовлені фітобіологією рослин, різним типом кореневої системи, неоднаковим відношенням до чинників середовища. До найбільш поширених відносяться: конюшина, люцерна, еспарцет, тимофіївка та багато інших

Стрижньові корені бобових трав глибоко проникають у ґрунт, тому вони дуже чутливі до рівнів підґрунтових вод. У злакових трав коренева система теж добре розвинена, але вона мичкувата і характер її розподілу зовсім інший.

Озима пшениця. Озима пшениця має велику екологічну амплітуду. Її можна культивувати на чорноземах, темно-сірих, сірих лісових, лучних та слабко-кислих дернових і дерново-підзолистих ґрунтах. Проте вона не витримує кислих ґрунтів.

Вміст білка в зерні пшениці поліської зони значно нижчий, ніж чорноземної. Це спричинено негативними властивостями дерново-підзолистих ґрунтів, насамперед їх підвищеною кислотністю. При цьому сповільнюється синтез крохмалю, підвищується вміст водорозчинних сахарів. Кисла реакція ґрунту призводить до збільшення вмісту в зерні небілкових форм азоту і водорозчинних фракцій білка.

Озима пшениця витримує значні коливання зволоження – від помірної посухи до затоплення за короткочасної дії цих чинників. Найліпші ж умови зволоження знаходяться в інтервалі 60 – 70 % польової вологомісткості.

В орному шарі ґрунту зосереджена основна маса коренів. З нього протягом періоду вегетації пшениці поглинається 80 – 85 % елементів мінерального живлення. Понад 95 % мінеральних речовин використовується з шару ґрунту 0 – 60 см.

Озиме жито порівняно з іншими зерновими культурами більш пластичне завдяки добре розвиненій кореневій системі, яка засвоює поживні речовини з важкорозчинних сполук. Воно краще витримує кислі ґрунти.

При вирощуванні в подібних умовах з озимою пшеницею жито не поступається їй за урожайністю, а в окремі роки і перевищує її. Водночас

жито менш стійке, ніж пшениця, до вимокання, випрівання, посухи і вилягання, але більш морозостійке. Воно витримує зниження температури в зоні вузла кущіння до 25 – 30 °С. Озиме жито менш вимогливе, ніж пшениця, до ґрунтових, кліматичних та інших умов життя. Воно добре пристосовується до ґрунтів різного гранулометричного складу – від піщаних до глинистих. На піщаних ґрунтах жито прибутковіше за інші злаки, тому тут йому віддають перевагу.

Жито легко витримує слабко-кислу реакцію ґрунтового розчину. Проте воно також сильно реагує на високий агрофон, і добрі урожаї дає на багатих, окультурених легко- і середньосуглинкових ґрунтах із реакцією ґрунтового розчину близькою до нейтральної.

Ярий ячмінь. Враховуючи поширення ячменю на земній кулі, можна твердити про велике пристосування його до різних ґрунтово-кліматичних умов. Ячмінь вважається однією з найбільш засухостійких зернових культур. Він відноситься до рослин довгого дня і при укророченому освітленню затримується його колосіння. Ячмінь також використовується як страхова культура на випадок пересіву озимих культур.

Овес – пристосований до широкого діапазону ґрунтів. Проте його корені проникають у ґрунт на меншу глибину, ніж корені інших зернових культур, тому він потребує доброго зволоження ґрунтів і навіть не боїться перезволоження в другий період вегетації. Овес менш чутливий до кислотності ґрунтів, ніж пшениця і ячмінь, має нижчу потребу в елементах живлення, тому цю культуру вирощують в основному на дерново-підзолистих ґрунтах.

Картопля. Найліпші умови для вирощування картоплі створюються в районах з помірним теплим літом і легкими за гранулометричним складом ґрунтами – дерново-підзолистими і сірими лісовими. Полісся – основна зона вирощування картоплі, оскільки ґрунти тут легкого гранулометричного складу забезпечують одну з важливих ґрунто-екологічних вимог цієї культури, що зумовлено особливостями її кореневої системи.

Льон. Для отримання волокна і насіння вирощують льон культурний, що включає такі різновиди, як льон-довгунець та льон олійний.

Льон-довгунець – однорічна рослина помірного, теплого і вологого клімату. Він дуже вимогливий до температурного і світлового режимів, холодостійкий і тому негативно реагує на спекотну погоду. Кращими для льону-довгунця є легко- і середньосуглинкові ґрунти.

Льон олійний – однорічна, більш теплолюбна і менш вимоглива до вологи, ніж льон-довгунець, рослина. Вегетаційний період сягає до 150 діб. Вітрозапильний.

Кормові і цукрові буряки. Екологію буряків визначають холодостійкість, вологолюбність, вимогливість до режиму освітлення. За

вимогливістю до ґрунтів кормові й цукрові буряки близькі до озимої пшениці, яка часто є їхнім попередником.

Кормові і цукрові буряки добре ростуть на багатих на органічну речовину суглинкових, супіщаних, чорноземних і заплавних ґрунтах з глибоким орним шаром і міцною дрібно-грудочкуватою структурою.

Кукурудза. В сучасному світовому землеробстві кукурудза цілком справедливо посідає одне з чільних місць. Вона є культурою універсального використання, але найбільше значення має у вирішенні кормової проблеми. Це однодольна тепло- і світлолюбна рослина.

Головна екологічна особливість кукурудзи – висока вимогливість до вологи ґрунту протягом періоду вегетації. Її урожайність значною мірою залежить від рівня зволоження.

Високі урожаї кукурудзи отримують на досить різномірних за якостями ґрунтах: чорноземах вилужених, лучно-чорноземних, лучних, темно-сірих.

Контрольні питання

- 1. Що ви знаєте про агрофітоценоз?*
- 2. Що таке едифікатори агроценозів?*
- 3. Що таке співіснування в агроценозах?*
- 4. Що таке алелопатія?*
- 5. Дайте визначення культурних рослин і бур'янів.*
- 6. Наведіть приклади співіснування в агрофітоценозах.*
- 7. Які умови зволоження будуть оптимальними для озимої пшениці?*
- 8. Яке зниження температур витримує озиме жито при перезимівлі?*
- 9. Які умови є найліпшими для вирощування картоплі?*
- 10. В чому полягає головна екологічна особливість кукурудзи?*
- 11. У чому полягає екологічна роль багаторічних бобових трав?*

3. ГРУНТ ЯК ФОКУС АГРОЕКОСИСТЕМИ

3.1. Ґрунт – базова складова агроєкосистеми.

Полікомпонентна і поліфункціональна системи

Ґрунтом називають верхній пухкий шар земної кори (літосфери), який утворився і змінюється в результаті вивітрювання гірських порід і безперервного впливу фізико-хімічних, біологічних процесів та діяльності людини; ґрунт – це складний комплекс органічних і мінеральних сполук, у процесі розвитку він набув основної своєї ознаки – *родючості*.

Поняття про ґрунт і родючість невід’ємні одне від одного.

Ґрунти з їх природною родючістю на земній кулі сформувалися у процесі складного перетворення порід і мінералів під впливом кліматичних і біологічних чинників. Утворення ґрунту – це процес взаємодії гірської породи з водою, повітрям і живими організмами – мікроорганізмами, вищими рослинами і тваринами.

Під впливом живих організмів, що оселяються на породі, верхній шар її збагачується на органічні речовини, які зазнають подальших змін і перетворюються на доступні для рослин поживні речовини. Внаслідок біологічного, хімічного та фізичного вивітрювання у породах накопичуються зольні речовини, змінюються їх склад і властивості, вони поступово перетворюються на нове природне тіло – ґрунт. За різних поєднань цих природних чинників утворюються неоднакові типи ґрунтів.

Територія України характеризується великою різноманітністю природних умов і ґрунтового покриву. Тут простежується як горизонтальна, так і вертикальна зональність ґрунтів, чітко виділяються ґрунтово-кліматичні зони – Полісся, Лісостеп, Степ, передгірні і гірські райони Карпат і Криму.

В Україні понад 600 видів ґрунтів, об’єднаних у 17 типів та 35 підвидів. За родючістю ґрунти різних типів різняться один від одного, що зумовлено неоднаковим поєднанням природних чинників ґрунтоутворення та наслідками господарської діяльності людини.

Ґрунт – найголовніший елемент зовнішнього середовища, базова складова агроєкосистеми. Ґрунти впливають на клімат (мікроклімат) місцевості, на розвиток рослинності, стан окремих галузей народного господарства; їхню родючість враховують при забудові та плануванні населених пунктів, благоустрої й експлуатації останніх.

Стан атмосферного повітря і його переміщення певною мірою залежать від стану повітря у ґрунті. Водний режим ґрунту позначається на ботанічному складі рослин, вологості повітря в приміщеннях. Від фізико-хімічних властивостей ґрунту залежить якість рослинних кормів і питної води.

Ґрунт є основним природним приймачем і поглиначем різноманітних відходів. Як накопичувач різних нечистот він може забруднюватися патогенною мікрофлорою, яйцями і зародками гельмінтів.

Україна має унікальний агротехнічний потенціал, який залишається значним навіть після багатовікового нерационального використання агроресурсів. Екстенсивний розвиток землеробства в Україні призвів до порушення оптимального співвідношення між сільськогосподарськими угіддями й орними землями, порушена рівновага використання ресурсів у басейнах малих річок (табл. 3.1).

Нині в Україні зруйновано водою близько 10,2 млн. га, площа ерозійно-небезпечних ґрунтів досягла 17 млн. га .

Таблиця 3.1. Класифікація використання земельних ресурсів у басейнах малих річок

Показник	Критерій використання, %				
	незадовільне	нижче норми	норми	поліпшене	Добре
Зона Карпат					
Лісистість	< 45	44 – 55	55 – 60	60 – 65	> 65
Сільськогосподарська освоєність	> 40	40 – 35	35	35 – 30	< 30
Розораність	> 25	25 – 15	15	15 – 10	< 10
Урбанізація	> 4	4 – 2	2	2 – 1	< 1
Змив ґрунту, т/га	> 8	8 – 5	5	5 – 2	< 2
Зона Полісся					
Лісистість	< 25	25 – 35	35 – 40	45 – 50	> 50
Сільськогосподарська освоєність	> 60	60 – 55	55	55 – 50	< 50
Розораність	> 35	35 – 30	30	30 – 25	< 25
Урбанізація	> 5	5 – 4	4	4 – 2	< 2
Змив ґрунту, т/га	> 8	8 – 4	4 – 3	3 – 2	–
Лісостеп лівобережний					
Лісистість	> 75	75 – 70	70 – 65	65 – 60	< 60
Сільськогосподарська освоєність	< 12	12 – 14	14 – 15	15 – 17	> 17
Розораність	> 60	60 – 55	55 – 50	55 – 45	< 45
Урбанізація	> 5	5 – 4	4	4 – 2	< 2
Змив ґрунту, т/га	> 12	12 – 9	9 – 8	8 – 2	< 2
Степ лівобережний					
Лісистість	> 75	75 – 65	65	65 – 55	< 55
Сільськогосподарська освоєність	< 7	7 – 10	10	10 – 15	> 15
Розораність	> 60	60 – 55	55	55 – 50	< 50
Урбанізація	> 12	12 – 9	9	9 – 6	< 6
Змив ґрунту, т/га	> 12	12 – 8	8	8 – 3	< 3

Загрозливих розмірів набула дегуміфікація орних земель. Все це знижує не тільки рівень урожайності сільськогосподарських культур та якість урожаю, а й загальний екологічний рівень агроєкосистем усіх рівнів.

За оцінкою науковців, на сьогодні близько 20 % орних земель забруднено важкими металами, понад 9,0 млн. га сільськогосподарських угідь зазнали радіоактивного забруднення внаслідок катастрофи на ЧАЕС, значні площі ґрунтів щорічно забруднюються пестицидами.

Незалежно від походження ґрунти складаються з твердої, рідкої і газуватої фаз, які взаємопов'язані. Незначні зміни однієї з них неминуче призводять до змін інших. Тверда частина ґрунту складається з дрібно- і велико-зернистих мінералів та органічної частини (гумус, нерозкладені рештки рослин тощо).

3.2. Чинники ґрунтотворення

Основними чинниками ґрунтотворення є: рослинний і тваринний світ, материнська (ґрунтотворна) порода, клімат, рельєф місцевості, вік ґрунту, суспільно-виробнича діяльність людини. Всі вони взаємозв'язані і певною мірою взаємообумовлені. Процес ґрунтотворення за своєю природою є біологічним, оскільки в ньому беруть участь різні групи вищих рослин і мікроорганізмів. Перші (хлорофільні) синтезують органічну речовину, другі (безхлорофільні) руйнують її. Без вищих рослин і мікроорганізмів неможливе утворення ґрунту. Кількість і склад органічної речовини, розподіл її по поверхні ґрунту, інтенсивність розкладання неоднакові, вони залежать від складу рослин. Зелені рослини поділяють на дерев'янисті і трав'янисті.

До дерев'янистих рослин належать різні дерева (хвойні і широколисті) і кущі. Основна маса їх (75 – 80 %) знаходиться над земною поверхнею. Відмерле листя, хвоя, гілки і плоди утворюють лісову підстилку. Продукти розкладання рослинних опадів (різні органічні та мінеральні сполуки) вимиваються дощами в нижче розміщені шари і закріплюються в них. Найінтенсивніше мінеральна частина ґрунту руйнується під хвойним лісом, оскільки під час розкладання хвої та гілок утворюються особливі кислоти (фульвокислоти).

Опад широколистих лісів розкладається не в кислому середовищі, а в нейтральному, оскільки кислоти нейтралізуються солями кальцію, на які багаті ці опади. Ґрунти, сформовані під покривом широколистих лісів, родючіші.

Важливу роль у ґрунтотворенні відіграє трав'яниста рослинність луків і степу, що включає різні однорічні й багаторічні трави. Відмерла надземна маса трав з року в рік накопичується на поверхні у вигляді підстилки, маса щорічного накопичення в лучних степах у 2 – 3 рази більша, ніж у хвойних лісах. З часом тут утворюється багато органічної речовини. Цей тип

грунтотворення отримав назву степового, або дернового. Так формуються високородючі ґрунти. У ґрунтотворенні бере участь величезна кількість мікроорганізмів: бактерій, грибів, актиноміцетів, водоростей. В 1 г ґрунту може міститись декілька мільярдів мікроорганізмів. Загальна жива маса їх у чорноземах досягає 10 – 15 т (у 25-ти сантиметровому шарі).

Значна роль у ґрунтотворному процесі й тваринних організмів – простих безхребетних і вищих хребетних, особливо черв'яків. Вони розпушують ґрунт і дещо змінюють його хімічний склад. Комахи, які живуть у ґрунті, живляться рослинними рештками і збагачують його на органічну речовину. Хребетні тварини – кроти, ховрахи, бабаки – копають у ґрунтах ходи, перемішують їх горизонти.

Поверхневі шари земної кори, з яких створюється ґрунт, називають ґрунтотворними, або материнськими, породами.

Мінеральна частина ґрунту залежить від материнської породи. На території України поширені такі основні ґрунтотворні породи: льодовикові, або моренні, відклади, водо-льодовикові наноси, намиті відклади, або ілювій, елювіальні породи, які залишилися на місці свого утворення, делювіальні – продукти вивітрювання гірських порід, що відклалися по схилах височин та біля підніжжя.

До осадових порід належать леси, на місці яких утворюються найродючіші ґрунти. Саме ґрунтотворні породи найбільше впливають на склад і фізико-хімічні властивості ґрунтів, а також на швидкість та інтенсивність ґрунтових процесів.

Від клімату залежать кількості тепла й опадів та характер їхнього розподілу. Кількості світла, тепла та опадів на земній кулі змінюються від екватора до полюсів. Спостерігається також зміна типів ґрунтів, яку називають горизонтальною зональністю. В гірських місцевостях клімат змінюється залежно від висоти, тому тут формується вертикальна зональність у зміні ґрунтів.

Клімат прямо і побічно впливає на процеси ґрунтотворення. Атмосферні опади і тепло визначають інтенсивність біохімічних процесів у ґрунті, водний і тепловий режими. У вологих місцевостях вода проникає в ґрунтову товщу, розчиняє і переносить в інші горизонти, а також у ґрунтові води різні сполуки. На сухих територіях відбувається процес випаровування води з ґрунту, у верхніх шарах накопичуються водорозчинні солі. Так утворюються засолені ґрунти. Побічно клімат впливає через рослини.

Вплив рельєфу на процеси ґрунтотворення особливо сильно виявляється в горах. Різні умови зволоження, тепло- і світлозабезпечення на схилах гір зумовили формування різнобарвної рослинності та різних типів ґрунтів. Навіть відносно рівнинні місця через наявність підвищень, западин, схилів освітлюються, зволожуються, прогріваються по-різному. У

знижених місцях накопичується вода, що призводить до утворення боліт. На стрімких схилах вода розмиває ґрунт.

Ґрунтоутворний процес відбувається по-стадійно не тільки в просторі, а й у часі. Тому в еволюції ґрунтів велике значення має їхній вік. Вік найдавніших ґрунтів Земної кулі – десятки мільйонів років. Старі ґрунти на території України – це ґрунти південних районів, яких не зачепило зледеніння. Наймолодші – у тундрі, де 5 – 10 тисяч років тому вони звільнилися від льодовиків.

Ґрунти мають абсолютний і відносний вік. Під абсолютним віком ґрунтів розуміють проміжок часу, що минув із моменту їхнього формування до теперішнього часу. Різницю в стадіях розвитку ґрунтів на одній спільній території, що має один абсолютний вік, В.Р. Вільямс назвав відносним віком ґрунту. Прояви відносного віку поширені у природі, особливо в місцях з нерівним рельєфом, різними ґрунтоутворними породами, рослинністю, що впливає на напрям і швидкість розвитку ґрунтоутворного процесу. У природних умовах на будь-якій, навіть невеликій території трапляється багато ґрунтів, які перебувають у різних стадіях розвитку.

Інтенсивний розвиток сільського господарства дає можливість не тільки збільшувати виробництво сільськогосподарської продукції і раціонально використовувати ґрунти, а й підвищувати їх родючість. Господарська діяльність людини, спрямована на окультурення ґрунтів, є одним з основних чинників сучасного процесу ґрунтоутворення. Окультурення ґрунтів – це цілеспрямоване поліпшення їхніх властивостей і підвищення родючості. Ґрунти збагачують на поживні речовини внесенням органічних і мінеральних добрив. У широких масштабах запроваджують зрошення й осушення, вапнування кислих і гіпсування солонцюватих ґрунтів, агролісомеліорацію. Всі ці заходи впливають на напрям процесів ґрунтоутворення і сприяють утворенню ґрунтів з високою потенційною й ефективною родючістю.

3.3. Родючість ґрунту – важливий чинник функціонування агроекосистеми. Екологічна роль гумусу. Органічна речовина ґрунту

Родючість ґрунту – це властивість ґрунту задовольняти потреби рослин в елементах живлення, воді, забезпечувати кореневу систему достатньою кількістю повітря, тепла, сприятливими фізичними, хімічними та фізико-хімічними умовами для нормальної життєдіяльності.

Розрізняють такі види родючості ґрунту: природну, або потенційну, та штучну.

Природна, або потенційна, родючість формується і змінюється під впливом природних процесів ґрунтоутворення і залежить від хімічного

складу ґрунту, біологічних процесів, які відбуваються в ньому, фізико-хімічних властивостей, кількості та якості гумусу, реакції ґрунтового розчину, інших показників.

Штучна родючість створюється в процесі використання ґрунту як основного засобу виробництва, залежить від продуктивних сил і виробничих відносин.

Ефективна, або економічна, родючість створюється сукупністю природної і штучної. Вона визначає кількість та якість урожаю. Основні умови родючості ґрунту:

- достатній вміст поживних речовин у доступній для рослин, що вирощуються, формі упродовж усього вегетаційного періоду;
- повна забезпеченість фізіологічно доступною вологою;
- оптимальний газообмін, який підтримує необхідний для рослин вміст кисню у ґрунтовому повітрі;
- відсутність шкідливих речовин;
- легка проникність коренів, яку забезпечує наявність потужного шару ґрунту, звідки рослини поглинають елементи живлення і вологу.

Кожна з цих умов має однаково важливе значення для функціонування конкретної агроєкосистеми.

Агрономічно-значущі показники родючості ґрунту:

- гранулометричний склад;
- вміст гумусу;
- хімічний склад;
- структурність;
- водно-повітряний режим;
- тепловий режим;
- будова профілю;
- рослинність;
- біологічна активність.

Всі ці природні чинники взаємозумовлені і взаємопов'язані. Активна, цілеспрямована діяльність людини щодо поліпшення якості ґрунту визначається поняттям «ефективна родючість». Сьогодні цю проблему розглядають на рівні моделювання родючості ґрунту. Це новий, ефективний, перспективний методологічний підхід у пізнанні і практичній реалізації шляхів керування родючістю ґрунту. Під моделлю родючості ґрунту слід розуміти сукупність агрономічно-значущих властивостей ґрунту, які забезпечують певний рівень продуктивності рослин.

Екологічна роль гумусу. Гумус – складний динамічний комплекс органічних сполук, що утворюється внаслідок розкладання та гуміфікації решток рослинного і тваринного походження.

Розвиваючи вчення В.І. Вернадського, В.А. Ковда підкреслював загальнопланетарну роль ґрунтів, зокрема як акумулятора органічної речовини і пов'язаної з нею енергії, яка формує стійкість біосфери. Він

запропонував вважати гумусний шар ґрунтів планети особливою енергетичною оболонкою – гумосферою. Рослинні рештки, що надходять у ґрунт, мають 17 – 21 кДж енергії на 1 г сухої речовини, 1 г гумінової кислоти – 18 – 22 кДж, 1 г фульвокислоти – близько 19 кДж, 1 г ліпідів – 35 кДж. Ґрунти із середнім вмістом органічної речовини 4 – 6 % і середніми запасами гумусу 200 – 400 т/га накопичують на одному гектарі стільки енергії, скільки дають 20 –30 т антрациту. Наприклад, болгарські вчені підраховали, що майже всі природні енергетичні ресурси їхньої країни зосереджені у гумосфері.

У ґрунті в органічній формі акумульовано 98 % запасів азоту, 60 % – фосфору, 80 % – сірки, велика кількість інших елементів, які перебувають в органічно зв'язаному стані, надійно зберігаються у ґрунті і слугують важливим джерелом поживних речовин для рослин. Наявність у ґрунті навіть невеликої кількості гумусних речовин, які входять до складу орґано-мінеральних і органічних колоїдів, збільшує його вбирну здатність внаслідок підвищення обмінної ємності гумінових кислот. Якщо обмінна ємність мінеральних колоїдів чорноземів становить 70 – 90, то орґано-мінеральних – 150 – 200, органічних – 400 – 500 мг-екв/100 г ґрунту. В середньому обмінна ємність гумусу в 10 разів більша, ніж мінеральної частини ґрунту. Гумусні колоїди – це плазма ґрунту.

Гумусні речовини, особливо свіжо-утворені, проявляють склеювальну здатність, що має великий вплив на утворення агрономічно-цінної, зв'язної, водостійкої і пористої структур ґрунту.

Гумус і живлення рослин. Внаслідок обробітку ґрунту гумус поступово розкладається, поживні речовини, які вивільняються при цьому в мінеральній формі, використовуються рослинами. Особливе значення має азот органічної речовини ґрунту. За відсутності азотних добрив урожай однорічних не бобових рослин майже цілком формується за рахунок азоту, що вивільняється під час мінералізації ґрунту. В процесі розкладання гумусу мікроорганізмами крім азоту вивільняються й інші поживні речовини (фосфор, сірка, мікроелементи), а також діоксид вуглецю CO₂, необхідний для фотосинтезу рослин.

Наприклад, для формування урожаю озимої пшениці 50 ц/га в період її інтенсивного росту добова потреба в CO₂ перевищує 200 кг/га. Оскільки 70 % цієї кількості забезпечується за рахунок мінералізації гумусу ґрунту, органічних добрив, рослинних решток, то ця потреба залишається актуальною навіть за достатнього технічного і ресурсного забезпечення (пальне, мінеральні добрива, засоби захисту рослин, наявність необхідної техніки).

Гумус і урожай. Гумус має прямий і опосередкований вплив на урожай сільськогосподарських культур. Прямий вплив зумовлений використанням рослинами азоту та інших поживних речовин, що містяться в гумусі і вивільняються під час його мінералізації; опосередкований

полягає в поліпшенні умов росту рослин на більш гумусованих ґрунтах і підвищенні коефіцієнта використання поживних речовин добрив.

Вплив гумусу на урожай сильніше виявляється на бідних на органічну речовину ґрунтах, наприклад, на дерново-підзолистих.

Численні дослідження підтверджують що при слабкому ступені змитості, коли вміст гумусу порівняно з розмитими ґрунтами зменшується на 10 – 12 %, урожай більшості культур знижується на 10 – 30 %, при середньому ступені змитості (зменшення вмісту гумусу у ґрунті на 20 – 50 %) – на 30 – 60 %, а при сильному ступені змитості (зменшення вмісту гумусу > 50 %) – на 60 – 80 %.

Існує певний рівень вмісту гумусу, що забезпечує найвищу ефективність застосування засобів хімізації й отримання максимальних урожаїв. Такий рівень вважають оптимальним. Його величина залежить від багатьох чинників і змінюється для різних регіонів України і для різних ґрунтів у межах одного регіону.

Оптимальний вміст гумусу для дерново-підзолистих ґрунтів становить 1,6 – 2,0 %, супіщаних – 2,0 – 2,5 %, суглинкових – 2,5 – 3,0 %, сірих лісових – 3,5 – 4,0 %. У лісостеповій і степовій зонах показники оптимального вмісту гумусу вищі і становлять для чорноземів близько 5 – 7 %. Втрати гумусу ґрунтами пояснюють насамперед умовами мінералізації органічної речовини внаслідок підвищення інтенсивності їх обробітку, збільшення частки просапних культур, скорочення частки багаторічних трав у польових сівозмінах, однобічного застосування мінеральних добрив (особливо на фізіологічно кислих ґрунтах), неповного використання рослинних решток на добрива, випалювання стерні, а іноді й соломи, відчуження органічної речовини ґрунту з урожаєм, прояв водної і вітрової ерозії ґрунтів.

Разом з ростом урожаю збільшується відчуження за межі поля азоту гумусу. При цьому чисті, тобто некомпенсовані новоутворення гумусних речовин за рахунок стерні і коренів, втрати гумусу ґрунтом при вирощуванні зернових культур залежно від рівня урожаю досягають 0,5 – 1 т/га за рік. Під просапними культурами втрати гумусу, зумовлені формуванням урожаю й обробітком ґрунту, зростають у 2 – 3 рази. Так, збільшення в сівозміні частки просапних культур лише на 10 %, за даними ІГА, підвищило втрати гумусу на типових чорноземах на 0,2 – 0,4 т/га.

У деяких регіонах дуже великі втрати гумусу ґрунтом відбуваються під впливом водної та вітрової ерозії (в середньому 0,1 – 0,4 т/га, на окремих ділянках схилів – 1,0 – 1,5 т/га за рік). У змитих ґрунтах запаси гумусу зменшуються на 50 – 60 %. Сучасні чорноземи України, які в середині ХХ ст. містили 10 – 13 % гумусу, містять його всього 7 – 10 % і навіть 4 – 7 %. Найінтенсивніші втрати гумусу спостерігаються з 1960-х років, що пов'язано з переведенням сільськогосподарського виробництва на інтенсивні технології без урахування екологічних наслідків цього

процесу. Найбільше він потерпає від ерозії, яка знищує загалом по Україні понад 23 млн. т гумусу за рік.

Органічна речовина ґрунту – дуже важлива його складова. Її утворення пов'язане з біологічними і біохімічними трансформаціями рослинних і тваринних решток за безпосередньої участі мікроорганізмів, кисню і води. Основним агрономічно-значущим показником органічної речовини ґрунту є кількісна та якісна оцінка вмісту в ньому гумусу. Вміст гумусу в ґрунтах підпорядкований певній зональності й зумовлюється типом і гранулометричним складом ґрунту, характером ґрунтоутворних порід, кліматичними умовами (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Вміст і запаси гумусу в ґрунтах Полісся і Лісостепу, в 0 – 20 см шарі ґрунту

Тип ґрунту	Вміст,%	Запаси, %
Дерново-підзолистий		
– піщаний	0,6 – 1,0	18,6 – 31,4
– глинистосупіщаний	1,0 – 1,5	30,0 – 45,0
– легкосуглинковий	1,5 – 1,7	45,0 – 51,0
Сірий і світлосірий лісовий		
– супіщаний	1,2 – 1,6	36,0 – 48,0
– легкосуглинковий	1,6 – 2,3	44,8 – 64,4
– середньо суглинковий	1,8 – 2,5	48,6 – 67,5
– важко суглинковий	2,3 – 2,4	57,5 – 60,0
Темно-сірий лісовий		
– легкосуглинковий	2,0 – 3,4	56,0 – 95,2
– середньо суглинковий	2,6 – 3,4	70,2 – 91,8
– важко суглинковий	3,0 – 3,6	75,0 – 90,0
Чорнозем опідзолений		
– легкосуглинковий	2,6 – 3,7	72,8 – 103,6
– середньо суглинковий	3,1 – 4,9	83,7 – 132,3
– важко суглинковий	3,2 – 4,5	80,6 – 132,5
Чорнозем типовий		
– легкосуглинковий	3,0 – 3,9	75,0 – 97,5
– середньо суглинковий	3,9 – 4,9	93,0 – 117,6
– важко суглинковий	4,7 – 6,0	117,5 – 150,0

Роль гумусу у формуванні й розвитку родючості ґрунту досить різнобічна. Він постачає поживні речовини, безпосередньо впливає на водно-повітряний режим, структурність, теплоємність, буферність та інші показники родючості ґрунту, слугує джерелом енергії для мікроорганізмів, містить речовини, що активують ріст, посилює ефективність мінеральних добрив.

3.4. Роль мінеральної речовини ґрунту в формуванні його родючості

Мінеральна частина в середньому становить 55 – 60 % об'єму і 90 – 97 % маси ґрунту. За походженням і складом вона пов'язана насамперед із мінералами магматичних і осадових гірських порід, на яких відбувається ґрунтоутворний процес. Польові шпати, силікати, кварци, карбонати, слюди досягають 85 % мінеральної складової ґрунту. Найважливіші хімічні (запас і форми поживних речовин), фізичні (структура, водо- і повітропроникність, набухання) та біологічні властивості ґрунту тісно пов'язані з його мінеральним складом, що великою мірою визначає рівень його природної родючості і виявляється насамперед через гранулометричний склад – важливий показник агрономічної і виробничої характеристики родючості ґрунту.

Під гранулометричним складом ґрунту зазвичай розуміють відносний вміст у ньому механічних елементів різного розміру. Для класифікації ґрунтів за гранулометричним складом використовують спеціальну шкалу, основними критеріями якої є співвідношення у ґрунті вмісту фізичної глини (мінеральні часточки менші за 0,01 мм) і фізичного піску (мінеральні часточки розміром > 0,01 мм).

Піщані ґрунти збіднені на гумус та поживні речовини, добре пропускають воду, але слабо затримують її, добре керовані, навесні швидко прогріваються, легко орються.

Глинисті ґрунти мають підвищену щільність, слабку аерацію, вбирають багато вологи, але погано пропускають її в глибші горизонти, в сирому вигляді мають підвищені в'язкість і липкість, у сухому – велику твердість. Глинисті ґрунти важко орати, питомий опір їх під час обробітку значно вищий, ніж супіщаних. Кращими для сільськогосподарського використання є суглинкові ґрунти, які займають проміжне положення між глинистими і піщаними. На супіщаних ґрунтах добрива слабо вбираються і можуть у великих кількостях переміщуватися з водою по профілю ґрунту. Це призводить до їх великих втрат, особливо в регіонах з достатнім і надмірним зволоженням.

Гранулометричний склад ґрунту – одна з його агрономічно-важливих властивостей, що визначає форму, строки та способи внесення добрив. У глинистих ґрунтах поживні речовини добрив інтенсивно вбираються, повільно пересуваються по профілю. Втрати їх незначні.

3.5. Буферність ґрунту

Під буферністю ґрунту загалом розуміють його здатність підтримувати сталою реакцію середовища (рН) за дії на нього кислот і лугів. Сьогодні це поняття розглядається значно ширше, а саме як

здатність ґрунту протидіяти зовнішнім навантаженням і зберігати свої основні функції (рис. 3.1).

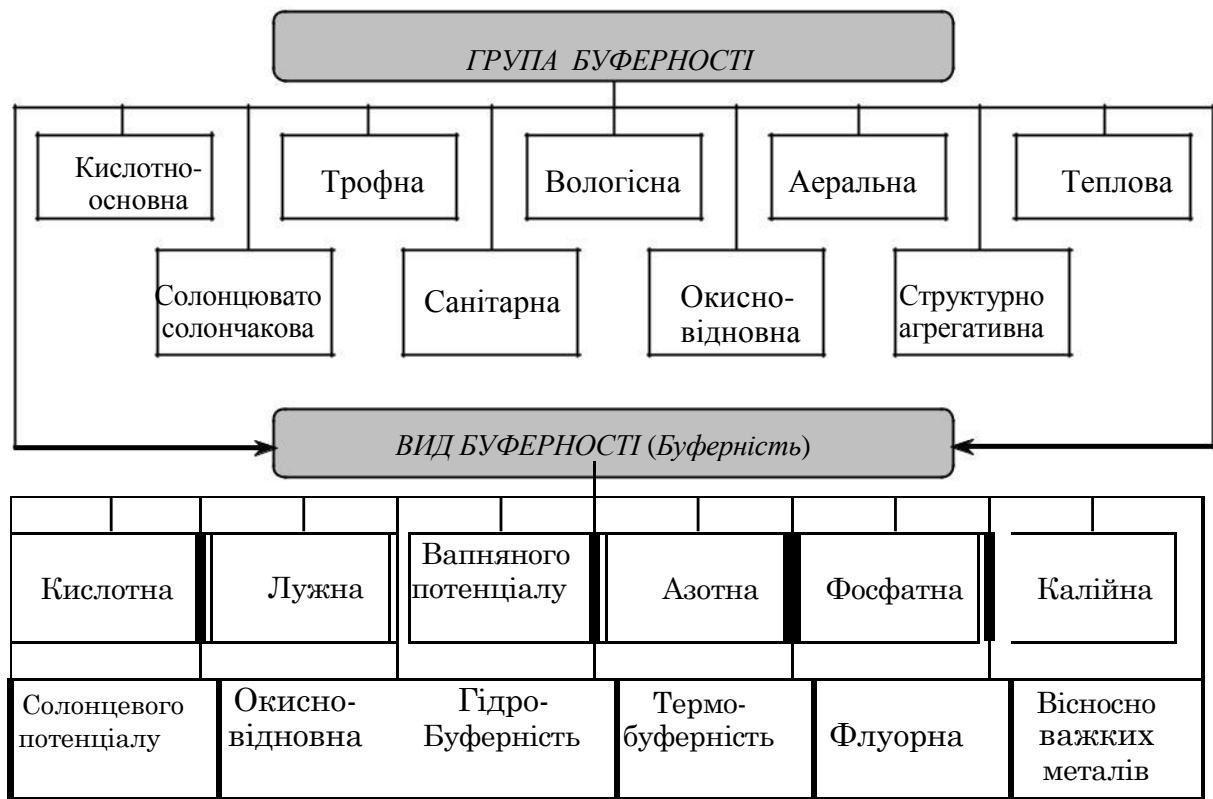


Рис. 3.1. Класифікаційна схема буферності ґрунтів (за Р.С. Трускавецьким, 2003)

Кислотна буферність – здатність ґрунту протистояти впливу кислот органічного і мінерального походження. Має прямий і опосередкований вплив на агрономічно-значущі показники ґрунту та проведення хімічних меліорацій.

Лужна буферність – здатність ґрунту протистояти впливу лугів будь-якого походження. Має істотне еколого-технологічне значення, в тому числі при проведенні хімічних меліорацій.

Буферність вапняного потенціалу є генетичною ознакою ґрунту, визначає особливості еколого-меліоративних та еколого-технологічних вирішень при вапнуванні ґрунтів, визначенні запасу поживних речовин, розробці системи удобрення.

Азотна буферність – здатність ґрунту зберігати азотну рівновагу в процесі іммобілізації та мобілізації мінеральних форм азоту ґрунту і добрив.

Фосфатна буферність – здатність ґрунту протистояти змінам потенціалу фосфору ґрунтового розчину при внесенні фосфору в ґрунт або споживанні його з ґрунту рослинами.

Калійна буферність – здатність ґрунту протистояти змінам калійного потенціалу ґрунтового розчину при внесенні калійних добрив у ґрунт або споживанні його з ґрунту рослинами. Враховують під час розробки системи удобрення сівозміни.

Буферність солонцевого потенціалу – здатність ґрунту протистояти зміні ґрунтово-вбирного комплексу (ГВК) як основи хімічних меліорацій солонцюватих земель.

Окисно-відновна буферність – здатність ґрунту зберігати окисно-відновний потенціал (ОВП) на певному рівні після внесення окисників або відновників та в разі коливання вологості і температури ґрунту. Істотно впливає на живий моноліт ґрунту і всі процеси, пов'язані з живленням сільськогосподарських рослин.

Гідробуферність – здатність ґрунту акумулювати й раціонально витратити депоновану ним продуктивну вологу, а також зберігати оптимальні гідроаеральні умови життєдіяльності рослин під впливом перезволоження або висушування.

Термобуферність – здатність ґрунту протистояти зміні температурного поля насамперед кореневої зони рослин, яка істотно впливає на їхній ріст і розвиток. Високу термобуферність мають торфові ґрунти.

Флуорна буферність – здатність ґрунту протистояти накопиченню флуору (фтору). Фітофлуорна акумуляція не створює небезпеки для рослини. Флуор міцно закріплюється ґрунтом у недоступній для рослин малорозчинній формі, особливо за високої концентрації в ґрунтовому розчині іонів Ca^{2+} . В дерново-підзолистих ґрунтах флуорна буферність значно нижча, ніж у ґрунтах чорноземного типу.

Буферність відносно важких металів – здатність ґрунту протистояти накопиченню важких металів, в тому числі й радіонуклідів. Її розглядають як один із важливих критеріїв еколого-технологічної оцінки сільськогосподарського поля.

Отже, дефініція буферності, за даними Р.С. Трускавецького, ґрунтується на міцності зв'язків структурної і функціональної частин ґрунтової системи. Буферність відносно того чи іншого елемента родючості визначається здатністю ґрунту до зміни параметрів наймобільнішої і найдоступнішої частин елемента родючості («фактора інтенсивності») та до опору зовнішнім діям і впливам, спрямованим на цю зміну.

3.6. Еколого-агрохімічна оцінка ґрунту

На сьогодні комплексна еколого-технологічна оцінка ґрунту в системі ґрунт – рослина – технологія – економіка є основою ведення екологічно збалансованого землеробства, проведення виваженої аграрної реформи,

розробки перспективних державних програм щодо підвищення ефективності роботи АПК – однієї з найважливіших складових національної економіки.

Базовими складовими її є еколого-агрохімічна оцінка ґрунту та агроекологічне групування земель.

Еколого-агрохімічна оцінка ґрунту. Агрохімічні показники ґрунту є основними параметрами, які визначають якість земель, регламентують рівень програмованої урожайності сільськогосподарських культур, а відтак обсяги і перспективи тукової промисловості та ін.

Згідно з Указом Президента України № 1018/95 від 02.12.95 р. і наказом Мінсільгоспроду № 336 від 13.12.95 р. в країні проводиться еколого-агрохімічна паспортизація полів та земельних ділянок. Її мета – створення інформаційної бази землекористувачів, що дасть змогу раціональніше використовувати земельні ресурси, планувати заходи з підтримання та підвищення родючості ґрунтів, оптимізувати технології вирощування сільськогосподарських культур, проводити економічну оцінку земель.

Еколого-агрохімічний паспорт поля – це документ, в якому зосереджена інформація про родючість ґрунтів та їхній агроекологічний стан (табл. 3.3). Він розробляється для кожного поля або земельної ділянки на основі матеріалів агрохімічного, радіологічного та інших видів моніторингу ґрунтів, в тому числі на вміст важких металів і решток пестицидів. Цими паспортами обґрунтовують заходи, спрямовані на раціональне використання й підвищення родючості ґрунтів, поліпшення їхнього агроекологічного стану.

Таблиця 3.3. Еколого-агрохімічний паспорт поля, земельної ділянки

Область _
 Населений пункт _
 Сільськогосподарські угіддя _
 Район _
 Землекористувач _
 Зрошені, осушені землі _
 Поле (земельна ділянка) №
 Площа _ Тип ґрунту, площа (га) _

Показники агроекологічного стану ґрунтів	Метод визначення	Середньозважена величина по роках обстеження				
		Еталон	2005	2010	2015	2020
Агрофізичні						
Щільність ґрунту, г/см ³						
Продуктивна волога (ММЗПВ) у 0–100 см шарі, мм		200				

Продовження таблиці 3.3

Фізико-хімічні та агрохімічні	Капіна рН					
Кислотність:						
– гідролітична, мг-екв/100 г ґрунту	Метричний					
– обмінна, рНсол	Потенціометричний					
– актуальна, рНвод	Потенціометричний					
Сума ввібраних основ, Мг-екв/100 г ґрунту	Капіна – Гільковиця					
Тип засолення:						
Ступінь засолення						
Вміст в орному шарі:						
– гумусу, %	Тюріна	6,2				
– азоту, який легко гідролізується, мг/кг ґрунту	Корнфілда	255				
– рухомого фосфору, мг/кг ґрунту	Чирікова	176				
– обмінного калію, мг/кг ґрунту	Чирікова	151				
– рухомих форм мікроелементів, мг/кг ґрунту:	Колориметричний					
– бору		1,5				
– молібдену		0,15				
– мангану	Атомно-абсорбційної спектрофотометрії	30				
– кобальту		10				
– міді		1,5				
– цинку		1,5				
Агрохімічна оцінка, бал						
Рівень забруднення	Атомно-абсорбційної спектрофотометрії					
Вміст рухомих форм, мг/кг ґрунту						
– кадмію		3,0				
– свинцю		20,0				
– ртуті	2,1					
Рештки пестицидів, ДДТ і його метаболітів, мг/кг ґрунту	Газорідинної та тонкошарової хроматографії	0,1				
Гексахлоран (сума ізомерів), 2,4-Д амінна сіль, мг/кг ґрунту		0,1 0,25				
Щільність радіоактивного забруднення, Кі/км ² :	Гамаспектрометричний Радіохімічний					
– цезієм-137						
– стронцієм-90						
Зведена еколого-агрохімічна оцінка, бал		100				

Агрохімічну оцінку якості ґрунту проводять агроекологічним методом з використанням показників, які характеризують його внутрішні властивості, і виражають у балах. За 100 балів взято еталонний ґрунт із найбільшими значеннями показників властивостей ґрунту, інші ґрунти оцінюють відносно еталона.

Еколого-агрохімічний стан ґрунту визначають внесенням в агрохімічну оцінку поправки на забруднення його радіонуклідами, важкими металами та пестицидами з урахуванням кліматичних умов території, зрошення, осушення, кислотності, засоленості ґрунтів та ін.

Агрохімічна оцінка ґрунтів поля (земельної ділянки), господарства, інших територіальних одиниць (район, область, республіка) визначає рівень їх окультуреності. Еколого-агрохімічні паспорти включають показники не лише родючості, а й дані про забрудненість ґрунтів токсикантами антропогенного походження, тобто зведені показники агроекологічного стану поля, земельної ділянки, інших територіальних одиниць.

Еколого-агрохімічні паспорти розробляються окремо для різних видів сільськогосподарських угідь: орних земель, багаторічних насаджень, сіножатей, пасовищ, в тому числі для зрошуваних та осушених земель.

Зведені відомості еколого-агрохімічної оцінки ґрунтів також складаються окремо по сільськогосподарських угіддях (орні землі, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища, зрошувані та осушені землі). За потреби визначають середньовиважену оцінку земельних угідь по господарству, інших територіальних одиницях (район, область, республіка).

Основними показниками, за якими визначають агрохімічний стан ґрунтів поля, є: вміст в орному шарі гумусу, азоту (легкогідролізованого), рухомого фосфору, обмінного калію, мікроелементів (мангану, молібдену, цинку, міді, бору, кобальту), а також кислотність ґрунту, ємність вбирання, сума увібраних основ, щільність ґрунту, максимально можливі запаси продуктивної вологи у 0 – 100 см шарі.

Екологічний стан поля визначається рівнем антропогенного забруднення радіонуклідами (цезій-137, стронцій-90), важкими металами (рухомі форми кадмію, цинку, міді, свинцю, ртуті), рештками ДДТ, іншими високотоксичними пестицидами.

Основою для складання еколого-агрохімічного паспорта поля є дані безперервного ґрунтово-агрохімічного, радіологічного, просторово-пестицидного моніторингу сільськогосподарських угідь, а також обстеження ґрунтів щодо вмісту важких металів та погіршення їхніх агрофізичних властивостей.

Джерелами вхідної інформації є ґрунтовий опис, карти ґрунтів, нові дані агрохімічного обстеження ґрунтів, матеріали обстеження, результати

аналізів стосовно забрудненості ґрунтів важкими металами та рештками пестицидів.

Складають еколого-агрохімічні паспорти по кожному туру ґрунтово-екологічного обстеження, тобто через кожні п'ять років. З 1997 року розпочався VII тур обстеження (I-й тур був проведений у 1966 – 1968 рр.).

На схемі паспортизації межі угідь позначають суцільними лініями різного кольору: орні землі – червоним, сіножаті – зеленим, пасовища – коричневим, багаторічні насадження – синім. Межі зрошуваних і осушуваних земель, поліпшення сіножатей і пасовищ виділяють штриховою лінією відповідного кольору.

Весь комплекс робіт проводять на рівні елементарної ділянки площею ріллі в Лісостепу – до 10 га, у Поліссі – до 5 га. На осушуваних землях максимальна площа елементарної ділянки дорівнює відповідно 5 і 3 га, на сіножатях і пасовищах – до 10 га, саду – до 4 га, хмільників – відповідає максимальній площі кварталу. Зразки відбирають з орного шару, а на хмільниках – із двох шарів 0 – 20 і 20 – 40 см.

Один зразок з елементарної ділянки формують із 20 – 25 проб. Його маса дорівнює 300 – 400 г, він призначений для визначення вмісту рухомого фосфору, обмінного калію і реакції ґрунтового розчину. Для знаходження інших показників формують змішаний зразок із поля (але окремо для кожної ґрунтової відміни).

Методика встановлення зведеної еколого-агрохімічної оцінки передбачає врахування агрофізичних (максимально можливі запаси продуктивної вологи), фізико-хімічних (обмінна кислотність) та агрохімічних (вміст в орному шарі ґрунту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору, обмінного калію, рухомих форм мікроелементів) показників родючості ґрунту, його забрудненості важкими металами, рештками пестицидів, радіонуклідами та ін.

Порядок встановлення еколого-агрохімічної оцінки:

1. Визначення агрохімічної оцінки ґрунту

З цією метою ґрунт поля оцінюють в балах за його агрофізичними і агрохімічними властивостями відносно еталонних величин (але не більш як 100 балів), виводять середній бал усіх оцінкових показників, вводять поправки на кислотність ґрунту і після цього визначають агрохімічну оцінку ґрунту.

За еталонний ґрунт взято й оцінено 100 балами ґрунт, який містить в орному шарі: гумусу – 6,2 %, легко гідролізованого азоту – 255 мг/кг ґрунту (за Корнфілдом); рухомого фосфору – 176 мг/кг (за Чиріковим); обмінного калію – 151 мг/кг (за Чиріковим); рухомого бору – 1,5 мг/кг; рухомого молібдену – 0,15 мг/кг; рухомого мангану – 30 мг/кг; рухомого кобальту – 10 мг/кг; рухомої міді – 1,5 мг/кг; рухомого цинку – 1,5 мг/кг; оптимальною величиною максимально можливих запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту взято 200 мм.

Наприклад, при вмісті в ґрунті 3,5 % гумусу оцінка його в балах за цим показником становитиме балів. Середній бал є середньою арифметичною величиною з її оцінкових показників. Поправкові коефіцієнти на кислотність ґрунтового розчину встановлюють за даними табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Поправкові коефіцієнти на кислотність ґрунтового розчину

Реакція ґрунтового розчину	рН _{сол}		Поправковий Коефіцієнт	
	Мінеральний ґрунт	Торф'яний ґрунт	Полісся	Лісостеп
Близька до нейтрального	5,6 – 6,0	> 4,8	1,0	0,96
Слабокисла	5,1 – 5,5	4,2 – 4,8	0,92	0,89
Середньокисла	4,6 – 5,0	3,5 – 4,2	0,85	0,81
Сильнокисла	До 4,5	До 3,5	0,74	0,71

2. Визначення зведеної еколого-агрохімічної оцінки ґрунту

Для цього до агрохімічної оцінки вводять поправки.

2.1. На вміст у ґрунті рухомих форм кадмію, свинцю, цинку. Якщо вміст важких металів перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК) в 2 рази, то оцінку знижують на 4 %, в 3 рази – на 8 %, в 4 рази – на 12 % і т.д.

Поправковий коефіцієнт відповідно становить 0,96; 0,92; 0,88.

Д о в і д к а: ГДК, мг/кг: кадмій –3,0; свинець –20,0; ртуть – 2,1.

2.2. На забрудненість рештками пестицидів.

Поправкові коефіцієнти визначаються за таким самим принципом, як і в першому випадку.

Д о в і д к а: ГДК решток ДДТ, його метаболітів та гексахлорану становить 0,1 мг/кг, а 2,4-Д аміної солі) – 0,25 мг/кг ґрунту.

2.3. На забрудненість радіонуклідами.

2.4. На кліматичні умови.

Поправкові коефіцієнти встановлюють для адміністративних областей і ґрунтово-кліматичних зон з урахуванням наявності або відсутності зрошення. Зокрема, для лісостепових районів Житомирської області він дорівнює 0,92, для поліських – 0,93, за умов зрошення – відповідно 1,06 і 1,00.

Поправкові коефіцієнти вводять послідовно.

Значення показників, а також агрохімічну і зведену еколого-агрохімічну оцінку в балах записують в еколого-агрохімічний паспорт поля, земельної ділянки (див. табл. 3.4).

Як нестача, так і надлишок макро- і мікроелементів негативно впливають на продукційний процес агроценозу і агроекосистему загалом, в тому числі тварин.

Нижче наведено оцінку негативного впливу нестачі мікроелементів

Елемент	Оцінка
Азот	Рослини відстають у рості, листки стають блідо-зеленими, дрібними, інтенсивність фотосинтезу істотно знижується.
Фосфор	Уповільнюється розвиток рослин, особливо утворення репродуктивних органів, різко ослаблюється ріст пагонів і коренів.
Калій	Відмирають тканини на старіших листках у периферійній частині (виявляється як крайовий «опік» листка), гальмується продукційний процес рослини і агроценозу загалом.
Кальцій	Навіть за незначного дефіциту кінці коренів перестають рости, за гострого дефіциту корені відмирають, листки дрібнішають, продукційний процес гальмується.

В сучасних умовах набуває підвищеної актуальності екологічна оцінка вмісту мікроелементів у ґрунтах (табл. 3.5).

Таблиця 3.5. Екологічна оцінка вмісту мікроелементів у ґрунтах, мг/кг (за В.В. Ковальським, 1969)

Мікро-Елемент		Нестача (нижня межа)	Норма	Надлишок (верхня межа)
Кобальт	2400	2 – 7 Акобальтози, лизухи, анемія, гіпо- та авітамінози В ₁₂ , загострення ендемічного зобу	7 – 30	> 30 Можливе пригнічення Синтезу вітаміну В ₁₂
Мідь	3194	< 6 – 15 Анемія, захворювання кісткової системи у тварин, полягання і недозрівання злаків, суховерхість плодкових дерев	15 – 60	> 60 Анемія, гемолітична жовтяниця, ураження печінки у тварин, хлороз рослин
Манган	1629	До 400 Захворювання кісткової системи, можливе загост- рення ендемічного зобу, у тварин; хлороз рослин, плямиста жовтяниця цукрових буряків	400 – 3000	> 3000 Захворювання кісткової системи у тварин; на кислих ґрунтах можлива токсична дія на рослини

Продовження табл. 3.5				
Цинк	1927	До 30 Паракератоз свиней, хлороз, дрібнолистість та розетковість плодових дерев	30 – 70	> 70 Можлива анемія, пригнічення окислювальних процесів
Молібден	1216	До 1,5 Захворювання рослин, особливо конюшини	1,5 – 4	> 4 Порушення пуринового обміну у людини, молібденовий токсикоз у тварин
Бор	897	< 3 – 6 Захворювання рослин, відмирання точки росту стебла та кореня, гниль сердечка буряків, побуріння капусти	6 – 30	> 30 Борні ентерити у тварин і людини, захворювання у рослин
Стронцій	1269	Не встановлено	До 600	600 – 1000 Хондро-і остеодистрофія, рахіти, крихкість кісток у тварин
Йод	491	< 2 – 5 Ендемічний зоб, ендемія може посилюватись у рази	5 – 40	> 40 Можливе ослаблення синтезу

Агроекологічне групування земель. Земельні ресурси та сприятливі кліматичні умови України забезпечують високий потенціал виробництва продукції рослинництва і реалізуються через родючість ґрунтів, поліпшення їхніх функціональних властивостей. Проте в нашій державі особливо небезпечних масштабів набуло антропогенне спрощення агроландшафтів, погіршення якості, корисних властивостей і біосферних функцій ґрунтів, що наближає їх до критичної межі як базової основи сталого розвитку агроєкосистем. З урахуванням цього в Україні розпочинається практична реалізація концепції ґрунтозахисного землеробства з контурно-меліоративною організацією території як основи створення ерозійно-стійких агроландшафтів. Для цього орні землі залежно від нахилу схилів поділяють на три еколого-технологічні групи, проводять організацію полів і робочих ділянок із криволінійними межами, що збігаються з відповідними геодезичними горизонталями та так званими геохімічними бар'єрами і ґрунтовими катенами.

Перша еколого-технологічна група – це ділянки ґрунтів з нахилом схилів 0 – 3°. Їх використовують в інтенсивних польових сівозмінах, в яких зосереджуються всі просапні культури.

Друга еколого-технологічна група включає ділянки з нахилом схилів 3 – 7°. Тут організовують ґрунтозахисні сівозміни з просапними культурами, де збільшується частка багаторічних трав.

Третя еколого-технологічна група включає орні землі з нахилом схилів понад 7°. Їх залужують багаторічними травами і виводять з використання як ріллі. Ці підходи є одним зі стратегічних напрямів екологізації сучасного землеробства.

Контрольні питання

- 1. У чому виявляється поліфункціональна роль ґрунту в біосфері?*
- 2. Охарактеризуйте основні чинники ґрунтоутворення.*
- 3. Що розуміють під гранулометричним складом ґрунту?*
- 3. Що таке родючість ґрунту?*
- 4. Що таке штучна родючість ґрунту?*
- 5. Що таке гідробуферність?*
- 7. Що таке термобуферність?*
- 8. У чому полягає агроекологічна роль гумусу?*
- 9. Дайте комплексну оцінку буферності ґрунту.*
- 10. Що таке еколого-агрохімічний паспорт поля?*
- 11. Висвітліть основний зміст еколого-агрохімічної оцінки ґрунту.*
- 12. Дайте еколого-технологічну характеристику ґрунтового біотичного комплексу.*
- 13. На які еколого-технологічні групи поділяють орні землі залежно від нахилу схилів?*

4. КЛІМАТ АГРОЕКОСИСТЕМИ

4.1. Основи теорії клімату

Поняття про клімат і погоду. *Погодою* називають фізичний стан атмосфери в певний момент або інтервал часу, який характеризується сукупністю метеорологічних елементів (величин) і атмосферних явищ.

Метеорологічні величини – це кількісні характеристики стану атмосфери (температура, вологість повітря, швидкість і напрямок вітру, кількість і товщина хмар, інтенсивність опадів, потік радіації і тепла).

Атмосферне явище є фізичним процесом, який супроводжується різкою (якісною) зміною стану атмосфери (туман, ожеледь, роса, опади, пилова буря, хуртовина тощо).

Клімат – це багаторічний режим погоди, характерний для даної місцевості, зумовлений кількістю сонячної радіації, її перетвореннями у верхньому шарі земної поверхні та пов'язаних з ними циркуляцій атмосфери та океанів. Таким чином, клімат Земного шару був похідним від кліматів окремих регіонів, які сформовані регіональними особливостями кліматотворних факторів. Останнім часом сформувалася нова концепція, згідно з якою клімат окремого регіону є проявом значно ширшого та більшого фізичного явища – **глобального клімату**, який визначається як «статистичний ансамбль фізичних станів, які проходить глобальна кліматична система океан – суша – атмосфера за період часу в декілька десятиріч».

Поєднання фізичних характеристик повітряного або водного середовища, істотних для організмів, які його населяють, називають *кліматом*.

Основи теорії клімату. Питаннями кліматотворення, типів клімату, чинників його формування, закономірностей географічного поширення і зміни в часі, антропогенних впливів на клімат займається наука *кліматологія*, однією з прикладних галузей (розділів) якої є *агрокліматологія*, що вивчає клімат як чинник впливу на сільськогосподарське виробництво. Основними завданнями агрокліматології є обґрунтування агротехнічних заходів для територій з різними кліматичними умовами на основі дослідження залежностей росту, розвитку та урожайності сільськогосподарських культур від кліматичних показників, їх розподілу залежно від рельєфу, несприятливих явищ клімату.

Кліматотворні чинники. Сучасна теорія клімату ґрунтується на концепції *кліматичної системи*, яка складається з атмосфери, гідросфери, літосфери, кріосфери і біосфери, які відрізняються одна від одної за фізичними властивостями, характерним часом відгуку на зовнішні

збурення (інерційність) тощо. Ланки кліматичної системи взаємодіють між собою.

Чинники, які визначають взаємодію між цими ланками, а також зовнішні впливи на кліматичну систему, називають *кліматотворними*. Їх поділяють на зовнішні і внутрішні.

Зовнішні чинники визначають енергетичні впливи на кліматичну систему ззовні:

- астрономічні (сяяння Сонця, положення орбіти Землі в Сонячній системі, кут нахилу її осі до площини орбіти, швидкість обертання навколо осі), від яких залежить розподіл сонячної енергії на верхній межі Землі, гравітаційний вплив Сонця, планет Сонячної системи, Місяця;

- геофізичні (розмір і маса Землі, гравітаційне і магнітне поля Землі, внутрішнє тепло тощо).

Внутрішні чинники характеризують властивості самої кліматичної системи:

- склад атмосфери (постійні компоненти та змінні термодинамічно-активні домішки), її маса;

- льодовики;

- рельєф поверхні;

- маса і склад океану;

- особливості розподілу суші й океану;

- структура підстильної поверхні;

- біогеохімічні процеси, які відбуваються в атмосфері, океані та літосфері.

Кліматична система. У сучасній теорії клімату спрощено як внутрішню кліматичну систему розглядають атмосферу. При цьому зовнішніми кліматотворними чинниками вважають характеристики, які визначають енергетичну взаємодію між атмосферою та іншими ланками кліматичної системи, особливості рельєфу земної поверхні, а внутрішніми – загальну циркуляцію атмосфери та вологообіг.

Клімат формують фізичні (кліматотворні) процеси, які безперервно відбуваються в атмосфері та в активному шарі (приплив, перетворення і перенесення теплової, кінетичної та інших форм енергії, випаровування, конденсація, перенесення вологи тощо) і визначаються основними кліматотворними (кліматичними) чинниками – сонячною радіацією, газовим складом атмосфери, рельєфом, структурою підстильної поверхні, а також похідними від основних – вологістю повітря, атмосферними опадами, тиском і електричним полем, циркуляцією повітряних мас та ін.

О.І. Воєйков запропонував термін *активна поверхня*, що є межею між вільною атмосферою та об'єктами на земній поверхні. В межах активної поверхні відбуваються визначальні процеси: трансформація енергії (нагрівання поверхні внаслідок поглинання сонячної радіації,

випромінювання тепла поверхнею та її охолодження), фазові переходи води.

Місцеві особливості клімату зумовлюються неоднорідністю будови активної поверхні, їх називають *мікрокліматом*. У сучасному розумінні мікроклімат формується на ділянках рельєфу площею до 100 км² і перепадом висоти до 200 м. Його прояви залежать від *мезо-* та *макроклімату*, які належать до географічних одиниць площею відповідно до 10000 і понад 10000 км² і перепадом висот до 1000 і понад 1000 м. Розрізняють мікроклімат вершин, пагорбів, долин, схилів, річок, озер, населених пунктів та ін. Okремо виділяють *наноклімат*, характерний для мікропідвищень та мікрознижень (пагорбів, гребенів, борозен, западин) із перепадом висот, що вимірюється дециметрами або кількома метрами.

Фізичні явища, які відбуваються в межах рослинних сукупностей, характеризують поняттям *фітоклімат*; його вважають одним із видів мікроклімату.

Значення клімату і погоди для сільського господарства. Ріст, розвиток і урожайність сільськогосподарських культур істотно залежать від кількості сонячного світла, тепла і вологи, зміни погодних умов, особливостей клімату. Розміщення галузей сільського господарства, зон вирощування сільськогосподарських культур, спеціалізація господарств, системи машин і знарядь, які використовують у сільському господарстві, строки проведення польових робіт, технологічні прийоми великою мірою визначаються кліматом і погодою.

Хоча науково-технічний прогрес і зменшує залежність людини від стихійних природних (гідрометеорологічних) явищ (приморозків, сильних морозів, посух, суховіїв, пилових бур, граду, злив, льодяної кірки тощо), він не гарантує отримання значного урожаю за будь-яких умов клімату і погоди. З інтенсифікацією виробництва залежність сільського господарства від клімату і погоди посилюється, оскільки для синтезу великої кількості органічної речовини рослинам потрібні більші кількості світла, тепла, вологи та елементів живлення.

4.2. Основи біокліматології

Агрокліматологія розвивається як галузь кліматології у тісному зв'язку з її іншою прикладною галуззю – *біокліматологією*.

Об'єкт і коротка історія розвитку. Біокліматологія вивчає чинники, які визначають поширення, функціонування та чисельність організмів у навколишньому середовищі.

Біокліматологічні дослідження культурних рослин започаткував французький вчений Р. Реомюр (1683 – 1757), який у своїй праці, присвяченій термометричним вимірюванням (1735), визначив, що сума денних температур, виміряних у тіні, стала для певних фенологічних

періодів рослин. А. Кетле (1846) вперше запровадив поняття температурного порогу переходу організму в біологічно активний стан. А. Е. де Гаспарен (1844) запропонував термометричні дані виражати в калоріях, а не в градусах; він висловив припущення, що для проходження фази розвитку необхідна певна кількість тепла. Дж.В. Дрейпер (1844), Дж. Закс (1864) та В.Ф.П. Пфедфер (1871) визначили вплив світлових хвиль різної довжини на фотосинтез.

Теоретичною основою біокліматології є *принцип єдності організму і навколишнього середовища*, сформульований І.М. Сеченовим (1861), згідно з яким живий організм тісно зв'язаний зі своїм оточенням через процеси обміну матерією й енергією, і цей зв'язок двосторонній.

Основна схема життєдіяльності кожного організму зумовлена його генотипом, а умови навколишнього середовища є сигналами, від яких залежить спосіб використання генетичної інформації. Рослини, які не пройшли певні етапи розвитку, не можуть використати сприятливі погодні умови для наступних етапів, хоча за несприятливих погодних умов їх перехід до наступного етапу розвитку все ж відбувається. На кожному етапі розвитку рослин існують певні вимоги до погодних умов, які нерідко можуть значно різнитися.

Погодні умови впливають на формування урожаїв практично на всіх рівнях – молекулярному, субклітинному, органів, організмів, екологічному.

Зв'язки організмів з кліматом і погодою мають просторово-часовий характер. Часові зв'язки відображають послідовність явищ і процесів. Вони незворотні й односпрямовані. Просторові зв'язки виражають географічний розподіл фізичних явищ.

Погода і клімат істотно впливають на напрям та інтенсивність екологічних процесів в екосистемі. Радіаційний, термічний, водний режими екосистеми визначають швидкість обміну речовин в організмах і тим самим характеризують швидкість колообігу речовин і енергії в екосистемі. Вони є основними чинниками екологічної рівноваги. Пристосування екосистем до кліматичних умов відбувається в ході їх розвитку – екологічної сукцесії біоценозів.

Основні кліматичні чинники середовища (світло, тепло, волога) здійснюють безпосередній і прямий вплив на рослини в основному через ґрунт протягом усього періоду життя і на всій території. *Другорядні кліматичні чинники* (вітер, хмарність, туман тощо) відіграють допоміжну роль, коригують дію основних чинників і впливають лише в окремі періоди і на невеликих територіях. Наприклад, вітер ослаблює згубну дію приморозків, хмарність зменшує охолодження ґрунту вночі.

Більшість кліматичних чинників діє на організми градієнтно, тобто інтенсивність чинника визначає екологічну реакцію організмів.

Основні терміни та визначення. *Агрометеорологічні чинники* – метеорологічні й гідрологічні величини, які визначають стан і продуктивність агроєкосистем.

Агрометеорологічні умови – режим погоди, що визначається сукупністю метеорологічних і гідрологічних величин, які мають істотне значення для агроєкосистеми і сільського господарства загалом (температура і вологість повітря, ґрунту, сонячна радіація, сніговий покрив, опади, вітер тощо; під час їх дослідження основну увагу приділяють виявленню часових закономірностей).

Агрокліматичні умови – багаторічний режим агрометеорологічних умов (можна розглядати і як агрокліматичні ресурси; під час їх вивчення увагу зосереджують на просторових закономірностях).

Агрокліматичні та агрометеорологічні показники – кількісно виражені просторово-часові зв'язки між агрокліматичними й агрометеорологічними чинниками і характеристиками росту, розвитку, стану, продуктивності, зимостійкості рослин (відображають як вимоги сільськогосподарських культур до клімату, так і реакцію їх на окремі кліматичні параметри або їхні комплекси; вони мають бути інтегральними, мати біологічний і фізичний зміст, бути відносно простими у застосуванні й забезпечувати можливість здійснення кількісних розрахунків на основі масових спостережень).

Розрізняють *основні, додаткові і регіональні* показники, їх поділяють на групи, які характеризують: 1) тепло- і світлозабезпеченість; 2) вологозабезпеченість; 3) умови перезимівлі; 4) бонітет, або загальну оцінку комплексу всіх умов.

Наприклад, агрокліматичні показники *забезпеченості рослин теплом* – суми кліматичних і біологічних температур; *забезпеченості вологою* – суми опадів і запаси продуктивної вологи у ґрунті, показники зволоження. Для оцінки умов перезимівлі рослин застосовують абсолютний мінімум температури повітря і ґрунту, середній з абсолютних мінімумів температури повітря і ґрунту, суми мінусових температур нижче 0, –5, –10 і –15 °С. Додатковими показниками є середні, оптимальні та критичні для рослин температури, тривалість беззаморозкового періоду та періодів з різними температурами та вологою повітря і ґрунту, висота снігового покриву, глибина промерзання ґрунту тощо.

4.3. Вплив сонячної радіації на агроєкосистему

Промениста енергія. Головним джерелом енергії майже всіх процесів, які відбуваються на Землі і в атмосфері є промениста енергія Сонця. Сонячна енергія є головною умовою існування біосфери та одним із найголовніших кліматотворних факторів. У зв'язку з тим, що Земля охоплена суцільною оболонкою атмосфери, сонячне проміння проходить

крізь всю товщу атмосфери, яка частково відбиває це проміння, або розсіює його. При відбитті та розсіюванні променів змінюється кількість і якість світла, що приходить на Землю. Промениста енергія Сонця розподіляється на потоки: пряма сонячна радіація, розсіяна, сумарна, відбита сонячна радіація, власне випромінювання Землі та пересічне випромінювання атмосфери.

Інтенсивність сонячної радіації – це потік радіації, яка надходить за одиницю часу на одиницю поверхні. У міжнародній системі (СІ) інтенсивність потоку сонячної радіації виражають у $\text{Вт}/\text{м}^2$ [$1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \text{ хв}) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2$]. Суми радіації виражають у $\text{Дж}/(\text{м}^2 \text{ год.})$, $\text{Дж}/(\text{м}^2 \text{ доба})$ та ін. ($1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 4,19 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{м}^2$).

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

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

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

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

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

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

Розсіяна сонячна радіація. Коли сонячне проміння проходить крізь товщу атмосфери, відбувається його послаблення, викликане поглиненням (15 %), відбиттям від хмар і розсіюванням (25 %). Та частина радіації, яка після розсіювання атмосферою та відбиття від хмар надходить на поверхню Землі, називається *розсіяною сонячною радіацією* (D).

Кількість розсіяної радіації залежить від кількості хмар, їх вертикальної потужності та оптичних властивостей. Середні багаторічні суми розсіяної радіації за рік на території країни складають $200 - 215 \text{ МДж}/\text{м}^2$.

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

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

Співвідношення прямої та розсіяної радіації у складі сумарної радіації залежить від висоти Сонця, хмарності і забруднення атмосфери, висоти

поверхні над рівнем моря. Висота Сонця змінюється в залежності від: географічної широти, від місяця або сезону, від часу доби.

Рослини отримують світло та тепло завдяки сумарній сонячній радіації. Тому для сільського господарства мають велике значення величини сумарної радіації за добу, місяць, вегетаційний період. Суми сумарної радіації на території України за період від дати переходу температури повітря через 10 °С навесні до дати переходу її через 10 °С восени наведені на рис. 4.1. Як видно з рис. 4.1, суми сумарної радіації змінюються за вегетаційний період в значних межах від 2700 МДж/м² на півночі до 3750 МДж/м² на півдні.

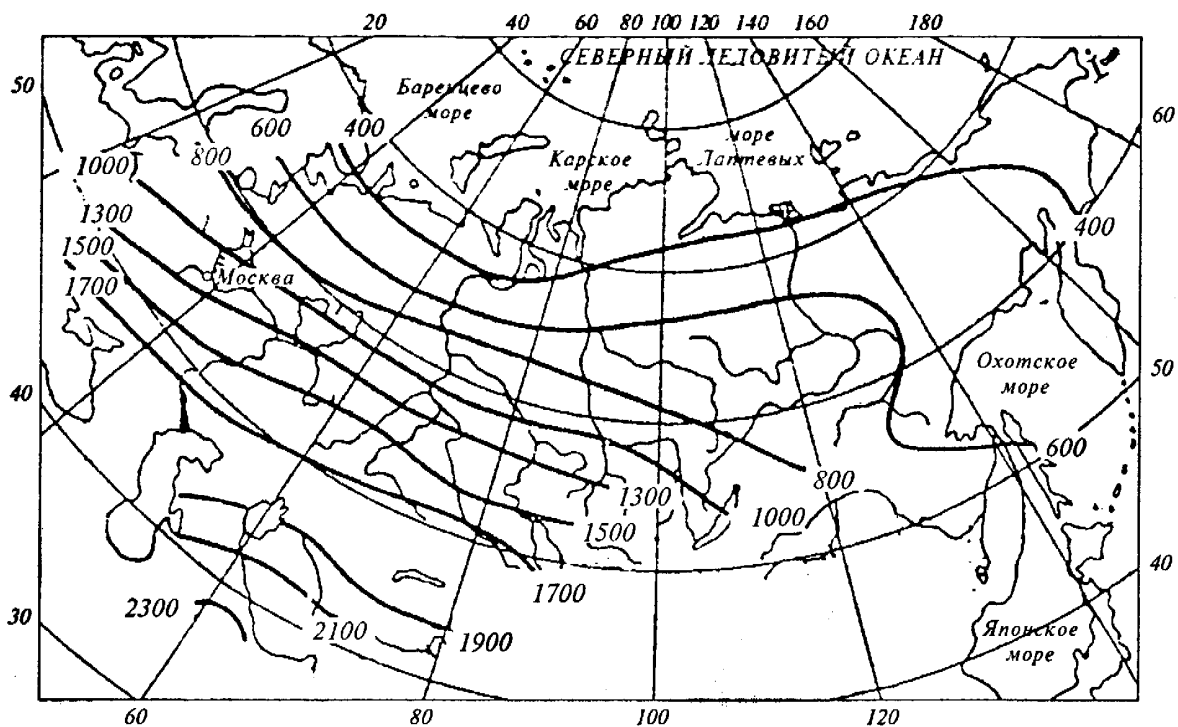


Рис. 4.1. Розподіл середніх багаторічних сум ФАР за період активної вегетації, МДж/м².

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

Відбивна здатність поверхні характеризується *альbedo* (A_e).

Альbedo – це відношення відбитої радіації до сумарної

$$A_e = (R_e / Q) \cdot 100\% . \quad (4.3)$$

Альbedo залежить від вологості ґрунту Із збільшенням вологості значення альbedo зменшується.

Альbedo має досить добре визначений денний та річний хід. Найменше його значення у полуденні години, а впродовж року – влітку.

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

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

$$B = S' + D - E_a - E_s - R \quad (4.4)$$

Для нічної пори рівняння радіаційного балансу має вигляд

$$B = E_a - E_s \quad \text{або} \quad B = -E_{\text{до}} \quad (4.5)$$

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

Радіаційний баланс в районах, де встановлюється стійкий сніговий покрив, в холодну пору року має від'ємний знак, в теплу – позитивний. Радіаційний баланс має ярко виражений добовий хід (рис. 4.2).

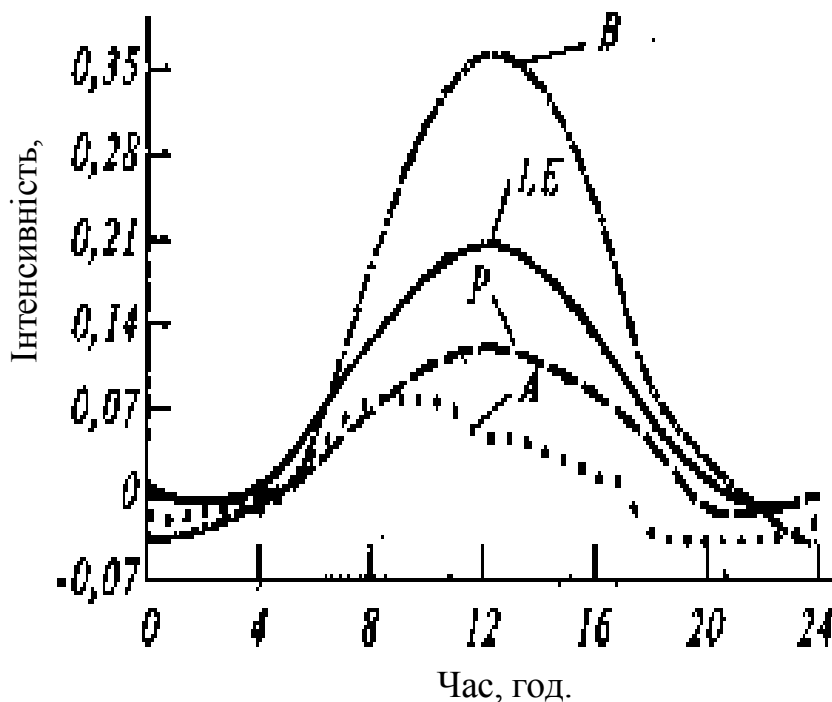


Рис. 4.2. Добовий хід складових теплового балансу.

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

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

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

Спектральний склад сонячної радіації. Сонячне світло є практично єдиним джерелом енергії для Землі. Спектр випромінювання Сонця (сонячної радіації) поділяється на такі частини:

- *γ*-випромінювання — довжина хвиль $\lambda < 10^{-5}$ мкм;
- рентгенівське випромінювання — $10^{-5} < \lambda < 10^{-2}$ мкм;
- ультрафіолетове (УФ) випромінювання — $10^{-2} < \lambda < 0,39$ мкм;
- в тому числі ближнє — $0,29 < \lambda < 0,39$ мкм;
- видиме випромінювання (світло) — $0,39 < \lambda < 0,76$ мкм;
- інфрачервоне (ІЧ) випромінювання — $0,76 < \lambda < 3000$ мкм;
- в тому числі ближнє — $0,76 < \lambda < 4$ мкм;
- радіохвильове випромінювання — $\lambda > 3000$ мкм.

Для енергетичної характеристики сонячного випромінювання застосовують такі показники:

- *потік випромінювання* – енергія, яка переноситься за одиницю часу (виражають у ватах: 1 Вт = 1 Дж/с);
- *щільність випромінювання* – потік випромінювання, що падає на одиницю площі (виражають у ватах на квадратний метр: Вт/м²);
- *кількість випромінювання* – енергія, яка надходить на одиницю опромінюваної поверхні протягом певного часу (виражають у ват-секундах на квадратний метр: Вт·с/м² або Дж/м²).

За прийнятою в Міжнародній системі одиниць (СІ) термінологією ближнє УФ, видиме та ІЧ-випромінювання називають *оптичним*. Понад 99 % енергії Сонця припадає на частину спектра з довжиною хвилі 0,1 – 4 мкм, в зв'язку з чим сонячну радіацію називають *короткохвильовою*, на відміну від *довгохвильової радіації* Землі та атмосфери, понад 99 % якої відповідає інтервалу 4 – 120 мкм. Частка ультрафіолетового спектра (0,10 – 0,39 мкм) в середньому становить 8 %, видимого (0,39 – 0,76 мкм) – 56 %, інфрачервоного (0,76 – 4 мкм) – 36 % енергії короткохвильової радіації. Максимальна інтенсивність випромінювання припадає на хвилі завдовжки 0,47 мкм.

У спектрі короткохвильової радіації виділяють діапазон, що майже збігається з ділянкою видимого випромінювання, яке поглинається пігментами хлоропластів (0,38 – 0,71 мкм). Воно отримало назву

фотосинтетично-активна радіація (ФАР). Найінтенсивніше поглинаються синьо-фіолетові та оранжево-червоні промені з довжиною хвиль відповідно 0,40 – 0,48 та 0,65 – 0,68 мкм, найменше – жовто-зелені (0,50 – 0,58 мкм) та дальні червоні (понад 0,69 мкм).

Екологічна роль сонячної радіації. Іонізуюче випромінювання (γ – рентгенівське) характеризується мутагенною, патогенною дією, але в енергетичному балансі Землі його частка невелика, оскільки випромінювання з довжиною хвилі менш як 0,28 мкм поглинає озон атмосфери, і воно не досягає земної поверхні.

Оптичне випромінювання чинить на живі організми *енергетичну* (насамперед теплову); *біосинтетичну* (фотосинтез, синтез хлорофілу, вітаміну D); *морфологічну* (визначає величину фітоелементів – стебел, листків); *інформативну* (фотоперіодизм, фототаксис, морфогенез) і *каталітичну* (регулювання активності ферментів) дію.

Оптичне випромінювання впливає на:

- інтенсивність синтезу органічної речовини, рівень обміну речовин;
- динаміку росту рослин, урожайність та якість урожаю;
- швидкість розвитку рослин, тривалість міжфазових періодів і вегетації загалом;
- архітектоніку рослинного покриву (просторове розміщення фітоелементів);
- тепловий та водний режими агроєкосистеми.

Для багатьох рослин *світло*, яке досягає вологого насіння, є обов'язковим чинником, що забезпечує його проростання. Насіння інших рослин здатне проростати без впливу світлових стимулів, однак за наявності видимого випромінювання процес проростання відбувається краще, наприклад у моркви. Встановлено, що зволене, опромінене, а потім висушене насіння зберігає ефект, викликаний світловим подразненням, і проростає після висівання у ґрунт. Для деяких видів рослин світло є чинником, який гальмує проростання насіння, наприклад для багатьох гарбузових. Видиме випромінювання крім енергетичних показників характеризують і світловими, які дають змогу оцінити викликаний ним ефект:

- а) світловий потік – характеризує світлове відчуття (вимірюють у люменах, лм);
- б) сила світла – відповідає просторовій щільності світлового потоку (вимірюють в канделах, кд);
- в) освітленість – характеризує поверхневу щільність світлового потоку (вимірюють в люксах, $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$).

Вплив *видимого сонячного випромінювання* на рослини оцінюють за *щільністю випромінювання, спектральним складом, тривалістю освітлення*. За реакцією на інтенсивність освітлення розрізняють *світлолюбні, тіневитривалі та проміжні* рослини.

До перших належать: соняшник, кукурудза, цукрові буряки, рис, бавовник, соя, томати, огірки, баклажани, перець, баштанні культури.

До других – бобові трави, горох, цвітна капуста, петрушка.

До проміжних – гречка і більшість зернових культур, які добре ростуть і розвиваються як за недостатнього, так і за надмірного освітлення.

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

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

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

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

$$Q_{\text{ФАД}} = 0,43S' + 0,57D; \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{ФАД}} = 0,52 \cdot Q. \quad (4.7)$$

Ефективність використання сонячної радіації фітоценозами характеризується *коефіцієнтом корисної дії ФАР* (ККД). Він визначається відношенням кількості енергії, що накопичилась у продуктах фотосинтезу або утвореного у фітомасі до кількості поглиненої радіації

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

де q – калорійність рослин, кДж/г;

V – біологічний врожай загальної фітомаси, г/см²;

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

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

ККД посівів залежить від строків сівби та гущини посіву, кількості внесених добрив, погодних умов та ін. За значеннями ККД (О.О. Ничипорович) посіви поділяються на групи: що звичайно

спостерігаються – 0,5 – 1,5 %, добрі –1,6 – 3%, рекордні –3,1 – 5 %, теоретично можливі – 6 – 8 %. ККД листя рослин більше, ніж ККД всього посіву і залежить від зміни інтенсивності освітлення.

Залежність інтенсивності фотосинтезу від щільності світла (освітленості) наведено в табл. 4.3.

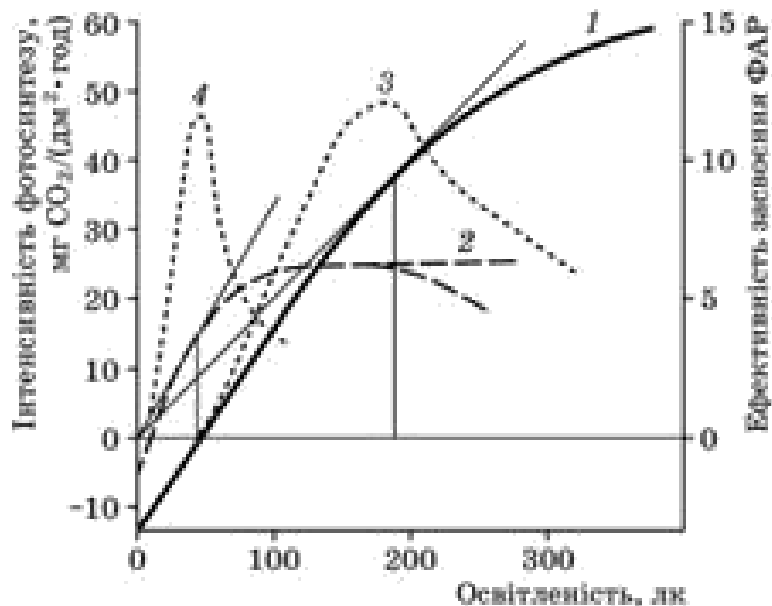


Рис. 4.3. Світлові криві (1, 2) та ККД (3, 4) фотосинтезу світлолюбних (1, 3) та тіневитривалих (2, 4) рослин (за О.М. Шульгіним, 1978).

Залежність інтенсивності фотосинтезу від щільності світла (освітленості) виражають *світловими кривими*, на яких виділяють:

- *компенсаційну точку* (світловий компенсаційний пункт), в якій фотосинтез і розщеплення органічної речовини врівноважені (протягом життя рослини змінюється, в умовах України відповідає щільності випромінювання 20 – 35 Вт/м²);

- *зону оптимального освітлення, або радіації пристосування* (інтенсивність фотосинтезу в цій зоні відповідає темпам накопичення біомаси та характеризує світлолюбність рослин);

- *точку світлового насичення фотосинтезу*, тобто його максимальної інтенсивності за даних умов (з цієї точки на світловій кривій розпочинається рівень «плато», щільність випромінювання 200 – 250 Вт/м²).

За максимальною інтенсивністю фотосинтезу в умовах світлового насичення (F_d) сільськогосподарські культури згідно з *моделлю агроекологічних зон ФАО* поділяють на чотири групи:

- 1) культури C_3 помірного клімату (пшениця, ячмінь, картопля, цукрові буряки, бобові); $F_d = 27$ кг $CO_2/(га \cdot год.)$ за температури 15 – 20 °С;
- 2) культури C_3 теплого клімату (рис, соя, бавовник);
 $F_d = 50$ кг $CO_2/(га \cdot год.)$ за температури 25 – 30 °С;
- 3) культури C_4 (кукурудза, просо, сорго, цукрова тростина);
 $F_d = 87$ кг $CO_2/(га \cdot год.)$ за температури 25 – 35 °С;
- 4) окремі сорти кукурудзи і сорго, пристосовані до нижчих температур; $F_d = 87$ кг $CO_2/(га \cdot год.)$ за температури 20 – 25 °С.

Залежність інтенсивності фотосинтезу у рослин від освітленості наведено на рис. 4.4 а.

У багатьох рослин через нестачу світла затримується цвітіння і тим самим гальмується процес розмноження.

За низької освітленості утворюється більше вузлів кущіння, але для подальшого їх розвитку потрібне достатнє освітлення, інакше число продуктивних пагонів зернових культур зменшується, вони тоншають.

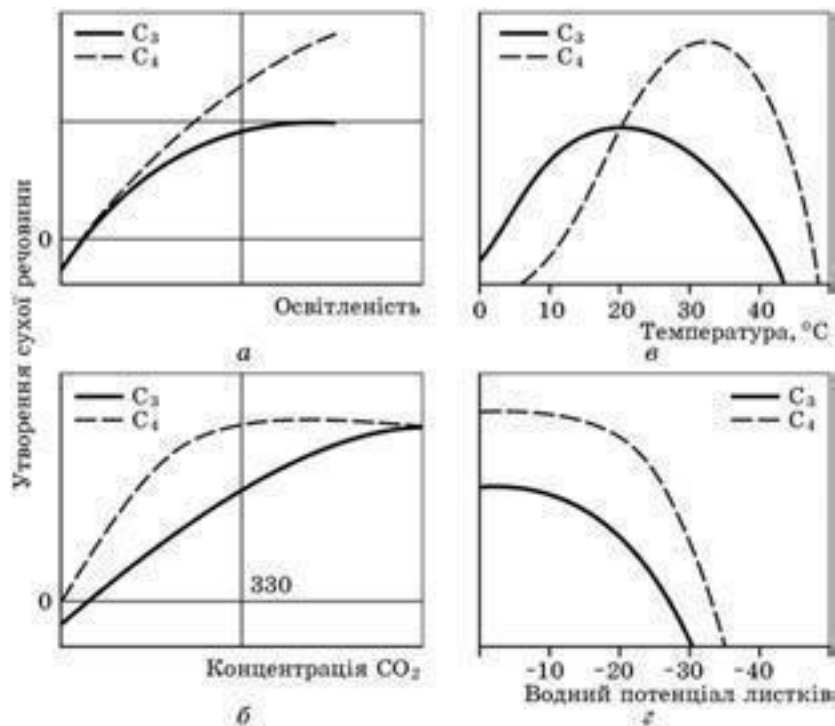


Рис. 4.4. Залежність інтенсивності фотосинтезу (накопичення сухої речовини) у рослин типу C_3 і C_4 від освітленості (а), концентрації CO_2 (б), температури (в) і водного потенціалу листків (г) (Зауглер, 1982).

Якщо в світловому потоці переважає короткохвильова радіація, зменшуються висота рослин, розмір листків та довжина міжвузлів, утворюється більше амінокислот і білків.

Збільшення надходження прямої сонячної радіації сприяє підвищенню вмісту цукру в буряках, білка в зерні, олії в насінні соняшнику, поліпшенню засвоєння фосфору і калію, глибшому закладанню вузла кущіння озимих зернових і, як наслідок, підвищенню їх зимостійкості, сприятливо позначається на закладанні колосків. У зв'язку з пристосованістю рослин до орієнтації листків та суцвіть за сонцем (геліотропізм) для їх росту і розвитку важливий вплив прямої сонячної радіації.

Зміна освітленості протягом доби впливає на активність більшості тварин. Розрізняють три типи добової активності: денну, нічну та цілодобову. Нестача сонячної радіації пригнічує сільськогосподарських тварин, які виявляють денну активність, а її надлишок призводить до перегрівання організму.

Реакція тварин на *напрямок освітлення* може виявлятися у зміні їх положення відносно джерела світла (*фототропізм*) або напрямку руху (*фототаксис*). Більшість дорослих комах виявляють позитивний фототаксис, негативний характерний для тварин, які живуть у темряві, наприклад для дощових черв'яків. Деякі комахи мають компасні реакції, тобто здатні рухатися під певним кутом до сонячних променів, наприклад бджоли.

Реакцію рослин на *тривалість освітлення* називають *фотоперіодизмом*. Для видів рослин, які виявляють фотоперіодичні реакції, є специфічна (критична) тривалість дня, як правило, між 12 і 14 годинами (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Фізіологічна тривалість дня на широтах від 0 до 70° на 15 число кожного місяця (за І.А. Шульгіним)

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

Рослини довгого дня переходять від вегетативного етапу розвитку до генеративного, тобто зацвітають, якщо до цього моменту вони розвиваються протягом певної кількості днів, тривалістю понад 14 – 17 год. До них належить більшість рослин помірної смуги: пшениця, жито, ячмінь, картопля, редис, салат тощо.

Рослини короткого дня, навпаки, нормально розвиваються за тривалості світлового дня 8 – 12 год.; це рослини південних широт: просо, соя, рис, кукурудза, бавовник, огірки, баклажани та ін. Деякі рослини (гречка, бобові тощо) не реагують на тривалість світлового дня.

Характер фотоперіодичної залежності у рослин приблизно можна оцінити на основі даних про час цвітіння. Рослини, які цвітуть навесні і наприкінці літа, зазвичай є рослинами короткого дня, а рослини, які цвітуть влітку, – довгого.

Рослини довгого дня швидше розвиваються при переважанні в світловому потоці червоних променів, короткого дня – синьо-фіолетових. У північних широтах навесні і восени характерне переважання в світловому спектрі червоних променів, протилежне явище спостерігається в південних широтах і влітку.

Рослини, які ростуть в екваторіальній зоні, як правило не виявляють фотоперіодичних реакцій. Північні рослини, що розвиваються у смузі широт вище за 60°, зазвичай належать до рослин довгого дня або не мають розвинених фотоперіодичних властивостей.

Утримання рослин короткого дня в умовах довгого світлового дня призводить до гігантизму вегетативних частин, затримання розвитку органів розмноження. Наприклад, у цибулі і буряків збільшуються запасуючі органи, тоді як картопля, яка належить до рослин довгого дня, дає найбільші бульби восени, коли тривалість дня помітно менша за мінімальну для її надземних частин. У рослин довгого дня, які розвиваються в умовах короткого світлового дня, іноді спостерігається вкорочення міжвузлів і формування приземних розеток листків.

Оскільки розвиток органів розмноження негативно корелює з розвитком вегетативних органів, це практично використовують при вирощуванні рослин. Відомо, що чинники, які гальмують розвиток рослин, сприяють їх росту, тому при скороченні тривалості дня у зернових довгого дня посилюється кушіння. Підготовка рослин як довгого, так і короткого дня до перезимівлі успішно відбувається при скороченні тривалості дня. Навесні збільшення тривалості дня для рослин, яким властиві фотоперіодичні реакції, є сигналом для пробудження бруньок. Ранні строки висівання ярого ячменю забезпечують краще кушіння в умовах короткого дня.

Інфрачервоні (ІЧ) промені сприяють посиленню синтезу органічної речовини рослинами. Під їх впливом рослини набувають компактнішої

будови. Велике екологічне значення ІЧ-променів у зв'язку з їх тепловим впливом на організми.

Ультрафіолетові (УФ) промені мають високу проникну здатність. Під їх впливом у рослинних і тваринних організмах синтезується вітамін D. Ближнє ультрафіолетове випромінювання майже не чинить негативного впливу на зелені рослини, оскільки тканини їхніх зовнішніх покривів адаптуються до нього в процесі розвитку, а в помірних дозах воно корисне і сприяє нормальному обміну речовин і росту рослин.

УФ-випромінювання з довжиною хвилі 0,29 – 0,32 мкм за тривалої експозиції (понад 10 год.) шкідливе для рослин, особливо в умовах слабкої освітленості, а менш як 0,29 мкм – згубне. Дводольні рослини чутливіші до УФ-випромінювання, ніж однодольні.

4.4. Вплив температурного режиму на агроєкосистему.

Температура повітря і ґрунту

Промениста енергія Сонця, яка поглинається поверхнею суші, океану, перетворюється в тепло. *Тепловим режимом атмосфери* називається характер розподілу і зміни температури в атмосфері. Тепловий режим атмосфери визначається здебільшого її теплообміном з навколишнім середовищем. Велику роль у розвитку процесів, пов'язаних із взаємодією атмосфери та зеленої поверхні, відіграє приземний шар атмосфери. Він має товщину декількох десятків метрів і його стан дуже впливає на флору і фауну, на умови життєдіяльності всього живого.

Основним джерелом нагрівання приземного шару є тепло, що надходить від діяльної поверхні.

Перенесення тепла між діяльною поверхнею і атмосферою, а також у самій атмосфері, здійснюється через конвективний і турбулентний потоки. *Потік тепла* – це об'єм тепла, що переноситься потоком повітря через одиницю площі за одиницю часу у напрямку, перпендикулярному до площі.

Конвективний потік тепла обумовлюється горизонтальними складовими швидкості вітру. Турбулентний потік тепла формується завдяки переносу тепла турбулентними полями. Він формується всередині атмосфери внаслідок закрученого хаотичного руху повітря, тобто турбулентності.

Турбулентні потоки поділяються на *динамічні* і *термічні*. Динамічні потоки виникають внаслідок появи сили тертя. Теплові потоки (теплова конвекція) – виникає внаслідок нерівномірного нагрівання різних ділянок поверхні. Теплова конвекція на суші розвивається вдень і влітку, над морем – вночі і взимку.

Конвективні і турбулентні потоки тепла обумовлюють зміну температури приземного шару повітря як впродовж доби, так і впродовж

року. Добовий хід температури повітря має максимум о 14 – 15 год. І мінімум перед сходом сонця. Амплітуда температурних коливань залежить від погодних умов, пори року, рельєфу, фізичних властивостей ґрунту та є важливою характеристикою клімату.

У ясну погоду амплітуда температур вища ніж у похмуру, оскільки хмари затримують випромінювання і тим самим підвищують нічну температуру. Також амплітуда температур у середніх широтах взимку менше, ніж влітку.

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

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

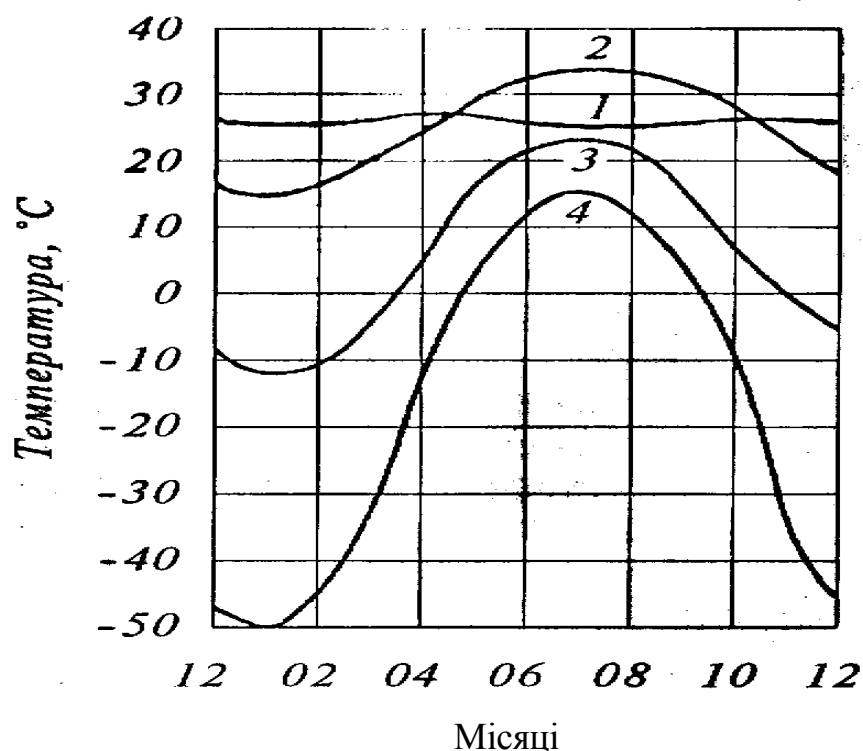


Рис. 4.5. Типи річного ходу температури повітря:
 1 – екваторіальний (Джакарта, $\varphi = 6^\circ$ півд. ш.);
 2 – тропічний (Асуан, $\varphi = 24^\circ$ півн. ш.);
 3 – помірного поясу (Саратов, $\varphi = 52^\circ$ півн. ш.);
 4 – полярний (Верхоянськ, $\varphi = 67^\circ$ півн. ш.).

Температура повітря у тропосфері з висотою зменшується приблизно на 0,6 °С на кожні 100 м висоти. Але в приземному шарі повітря розподіл температури може бути будь-яким: збільшуватись, зменшуватись, залишатись без змін.

Розподіл температури з висотою характеризується вертикальним градієнтом, який розраховується у більшості на 100 м висоти

$$\hat{A}\tilde{O}=(t_i - t_A)/(Z_A - Z_i) \quad (4.9)$$

де $t_H - t_B$ – різниця температури між нижнім та верхнім рівнями, °С;
 $Z_B - Z_H$ – відстань між двома рівнями, м.

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

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

Якісний і кількісний вплив тепла на організми. Якісний вплив тепла на організми визначається специфікою їх індивідуального розвитку, на різних стадіях якого вимоги змінюються. Короткочасний вплив екстремальних температур, особливо низьких, на певних стадіях визначає хід подальшого розвитку організмів. Наприклад, озимі сорти пшениці можна пристосувати до весняної сівби за допомогою яровизації, яка полягає у витримуванні насіння протягом кількох діб за знижених температур. За зниженої температури гальмується розвиток рослин, що збільшує вірогідність формування продуктивніших пагонів.

Вплив температури на розвиток підземної і надземної частин рослин дещо різний. За низької температури коренева система розвивається краще, ніж надземна частина. Ранньою сівбою можна досягти доброго розвитку кореневої системи, що особливо важливо для забезпечення стійкості рослин в умовах нестачі вологи. Пізня сівба, навпаки, приводить до відносно інтенсивнішого розвитку надземної частини, що важливо для боротьби з бур'янами у зв'язку з вищою конкурентною здатністю культурних рослин та наявністю резерву часу для передпосівного знищення бур'янів.

За підвищеної температури ґрунту вузол кущіння закладається ближче до поверхні, що впливає на зимостійкість рослин та їх урожайність. Для багатьох рослин необхідною умовою формування бруньок та їх проростання є охолодження відповідно під час розвитку рослин і взимку. Отримувані ефекти часто несумісні з величиною і тривалістю дії стимулу, тому їх можна визначити як сигнальні впливи.

Для багатьох рослин характерна періодичність явищ, яка пов'язана з добовою циклічністю температури навколишнього середовища (термоперіодизм): одні процеси відбуваються краще за вищої температури (вдень), інші – за нижчої (вночі). Активність тварин також часто має циклічний характер.

Температура середовища може бути чинником, що визначає форму розмноження у комах – статеву чи нестатеву; перехід до останньої в одних комах відбувається за зниження температури, в інших – за підвищення.

Для *кількісного впливу* температури на організми характерна наявність кореляційних зв'язків між величиною температурного впливу і масштабами біологічних проявів.

Від температури тіла великою мірою залежать швидкість і характер процесів, які відбуваються в організмі (фотосинтез, обмін речовин тощо). Це стосується як ферментів, які керують біохімічними процесами, так і самих процесів. Для фотосинтезу оптимальна температура нижча, ніж для дисиміляції. За надмірно високих або низьких температур фермент може втратити здатність виконувати належні йому функції. Ілюстрацією цього може бути залежність інтенсивності фотосинтезу від температури (див. рис. 5.2, в).

Діапазон температур, в якому організми нормально розвиваються і розмножуються, називають *зоною температурної толерантності*. Організми з широкою зоною температурної толерантності називають *евритермними*, з вузькою – *стенотермними*. Центром зони є тепловий оптимум, ближче до її країв знаходяться зони температурного залякання – теплового і холодного; вони можуть змінюватися з віком чи фазою розвитку.

Концепції біологічного часу організмів як функції тепла. Температура навколишнього середовища, за якої відбувається розвиток організмів, є головним чинником, що визначає час (тривалість) цього розвитку. Є дві концепції залежності часу розвитку від температурних реакцій.

Перша концепція виходить зі швидкостей біологічних процесів і ґрунтується на правилі Вант-Гоффа, згідно з яким швидкість хімічних реакцій подвоюється або потроюється з підвищенням температури на 10 °С.

С. Арреніус розвинув правило Вант-Гоффа і запропонував формулу, згідно з якою залежність швидкості реакції від температури має

експоненціальний характер. І. Белехрадек виявив відхилення від цього правила і запропонував нове, яке описується рівнянням степеневі кривої.

Подальшими дослідженнями було виявлено відрізок у зоні високих температур, де швидкість перебігу процесів не підлягає закону пропорційності відносно температури. Для цього випадку І. Давідсон ввів логістичну функцію.

Концепції, які зводять залежність темпів розвитку організмів від температури до простих математичних функцій, викликають низку зауважень, основні з яких є:

- невелика точність у зоні високих температур;
- справедливість лише для вузького діапазону температур;
- деякі явища не підлягають правилам залежності розвитку організмів від температури, зокрема процесів розвитку, для яких потрібна стала температура;
- відмінність у темпах розвитку за сталих і змінних температур, які не виходять за межі критичних.

Друга концепція виходить з кількості тепла, необхідного для здійснення процесів розвитку рослини (*суми ефективних температур*).

Вік рослини або стадію її розвитку – настання окремих фаз – характеризують поняттям «біологічний час», як правило, за десяти- або стобальною шкалою. Визначальними чинниками розвитку рослин вважають температуру та тривалість світлового дня, а також умовами вологозабезпечення.

Кожен міжфазовий період рослини проходять лише при температурі, яка перевищує певний поріг t_n , який називають *біологічним мінімумом*.

Міжфазний період – це відрізок часу в днях між двома якісно новими фазами, що настають одна за одною впродовж всієї вегетації рослин. *Якісно нова фаза рослини, яка настає після проходження певного відрізка часу та накопичення фізіологічних змін у фазі рослин* (наприклад: сходи пшениці та утворення третього листка або розпускання бруньок плодкових дерев та цвітіння і т.д.).

Для повного проходження міжфазового періоду рослини мають отримати певну суму температур понад біологічний мінімум ($t_a - t_n$, яку теж можна вважати пороговою) – *суму ефективних* ($\sum t_{\text{еф}}$) або *біологічних* ($\sum t_{\text{б}}$) температур, t_a – середньодобова температура, що перевищує біологічний мінімум певного періоду розвитку культури і називається *активною*. Під *активною температурою* найчастіше спрощено розуміють середньодобову температуру повітря після переходу її через біологічний мінімум («нуль») розвитку певної культури, тобто початку вегетації. *Ефективною* називають різницю між середньодобовою температурою середовища і біологічним мінімумом для цієї культури.

Для оцінки температурного режиму використовуються такі температурні характеристики:

- середня за добу температура повітря ;
- середня температура за декаду;
- середня температура за місяць;
- середньорічна температура.

У сільськогосподарському виробництві найчастіше використовуються значення середньої температури за декаду, міжфазний період розвитку рослин. Однак середні характеристики на відтворюють добовий хід температури повітря, що дуже важливо для сільськогосподарського виробництва. Особливо це необхідно у перехідні сезони року (весна, осінь). Тому вживається поняття максимальних та мінімальних температур вище або нижче будь-якої межі (0, 5, 10, 15, –5, –10 С).

Окрім середніх, максимальних та мінімальних температур ще використовуються для характеристики теплового режиму суми температур. Відрізняють кліматичні і біологічні суми.

Кліматичні суми температур – це суми температур вище будь-якої межі (наприклад, від дати переходу температури повітря через 5 °С навесні до такої ж дати восени).

Біологічні суми температур – це суми температур за вегетаційний період культури.

Веgetаційним періодом називається період у днях від сівби до збирання урожаю. Рослини розвиваються тільки у тому випадку, якщо середня температура повітря досягає межі біологічного мінімуму. *Біологічний мінімум* для холодостійких рослин (пшениця, жито, овес, ячмінь та ін.) становить 5 °С, для теплолюбних рослин він становить 10 – 15 °С (кукурудза, рис, виноград, бавовна, деякі овочеві культури). Біологічний мінімум розвитку культур змінюється впродовж вегетації (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Біологічний мінімум температури у різні періоди вегетації (за В.М. Степановим)

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

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

Таким чином, *сума активних температур* – це сума середніх за добу температур після переходу їх через біологічний мінімум, а *сума ефективних температур* – це сума середніх за добу температур, зменшена на величину біологічного мінімуму. Оскільки значення біологічного мінімуму різне не тільки для різних рослин, а й для різних міжфазних періодів однієї і тієї ж рослини, то сума ефективних температур також різна при однакових значеннях середньої за добу температури.

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

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

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

Точка на осі абсцис, що відповідає найкращим умовам життєдіяльності рослинних організмів, визначає оптимальне значення елемента. Одну точку визначити досить складно тому, визначають зону оптимуму (*зону комфорту*). Точки мінімуму, оптимуму та максимуму визначають можливі реакції рослинного організму на даний фактор.

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

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

Для оцінки загальних термічних ресурсів території використовується сума активних температур вище 10 °С, оскільки за такого значення температури активно відбувається вегетація більшості рослин. Для оцінки потреб рослин у теплі використовується біологічна сума температур, тобто сума температур повітря за вегетаційний період рослин (табл. 4.3).

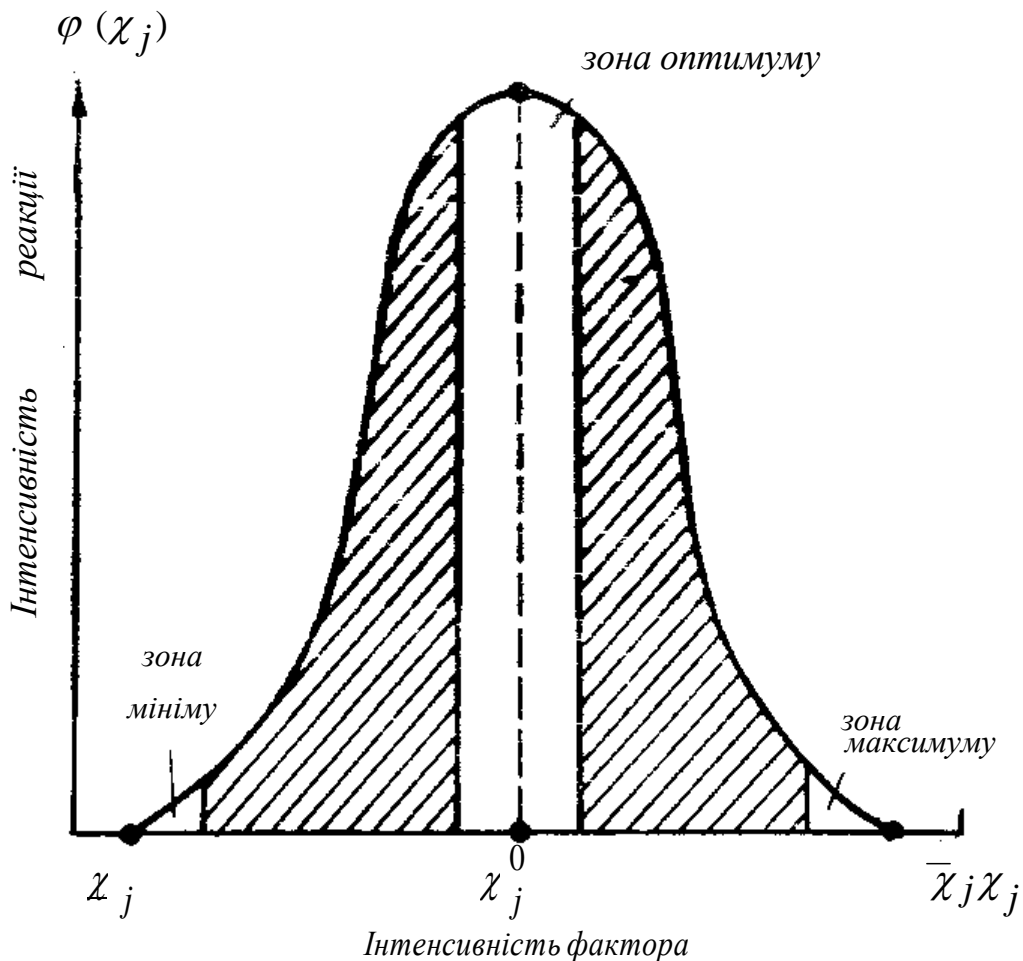


Рис. 4.6. Схема дії температури повітря на рослини (за К.М.Ситником, А.В.Брайоном, О.В.Городецьким).

x_j – точка мінімуму, x_j^0 – точка оптимуму; \bar{x}_j – точка максимуму.

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

Характеристика термічного режиму тієї чи іншої місцевості не вичерпується тільки середніми сумами температур за період вегетації сільськогосподарських культур. Для вирішення цілої низки питань необхідно знати, як швидко накопичується тепло навесні та які суми температур бувають за окремі міжфазні періоди.

Ф.Ф. Давітая встановив, що розвиток весняних, літніх та осінніх процесів на великих просторах іде закономірно.

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

Таблиця 4.3. Потреба сільськогосподарських культур в теплі
(в біологічних сумах температур повітря)

Культура	Скоростиглість сорту	Період	Біологічна сума температур для 55° 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
	Середньопізні	”	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

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

Денне нагрівання і нічне охолодження ґрунту викликають добові коливання його температури. Максимум температури на поверхні ґрунту

спостерігається близько 13 год. (за сонячним часом). Мінімум температури ґрунту спостерігається перед сходом Сонця.

Різниця між максимумом і мінімумом у добовому або річному ході називається *амплітудою ходу температури*.

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

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

Нагрівання та охолодження ґрунту залежать здебільшого від його теплофізичних характеристик: теплоємності та теплопровідності.

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

Питома теплоємність ($C_{пит}$) – 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 м³ ґрунту на 1°С. Одиниця вимірювання питомої теплоємності – Дж/(кг·К), об'ємної – Дж/(м³·К).

Теплоємність різних ґрунтів залежить від складу твердої частини ґрунту і кількості повітря і води, що знаходяться у порах. Теплоємність води становить 4,2·10³ кДж/(м³·К), а теплоємність повітря – 1,2 кДж/(м³·К). Таким чином видно, що за однакової кількості надходження тепла сухі ґрунти нагріваються і охолоджуються більше і швидше, ніж вологі.

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

Теплопровідність збільшується при збільшенні вологи і зниженні температури. Із зменшенням щільності ґрунту теплоємність і теплопровідність сухого ґрунту зменшуються. Деякі теплофізичні характеристики наводяться у табл. 4.4.

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

Мірою температуропровідності ґрунту є коефіцієнт температуропровідності, який характеризує швидкість розповсюдження

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

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

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

Таблиця 4.4. Теплофізичні характеристики і щільність основних компонентів ґрунтів (по де Фрізу)

Складові частини ґрунту	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Щільність кг/м ³	Об'ємна теплоємність, кДж/(м ³ ·К)	Коефіцієнт	
				теплопровідності, Вт/(м·К)	температуропровідності, м ² /с
Пісок	0,74	2,65·10 ³	2,0·10 ³	8,80	4,40·10 ⁻⁶
Більшість ґрунтових мінералів	0,80	2,65·10 ³	2,1·10 ³	2,90	1,0·10 ⁻⁶
Органічна речовина	2,50	1,10·10 ³	2,7·10 ³	0,25	0,09·10 ⁻⁶
Вода	4,20	1,00·10 ³	4,2·10 ³	0,60	0,14·10 ⁻⁶
Повітря (t = 20 °С)	1,00	1,20	1,20	0,03	21·10 ⁻⁶

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

- незалежно від типу ґрунту період коливань температури з глибиною не змінюється;
- незалежно від типу ґрунту період коливань температури з глибиною не змінюється;
- незалежно від типу ґрунту період коливань температури з глибиною не змінюється;
- зростання глибини в арифметичній прогресії викликає зменшення амплітуди в геометричній прогресії.

Це видно з добового ходу температури ґрунту на різних глибинах (рис. 4.7) максимальні і мінімальні температури на глибинах наступають пізніше.

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

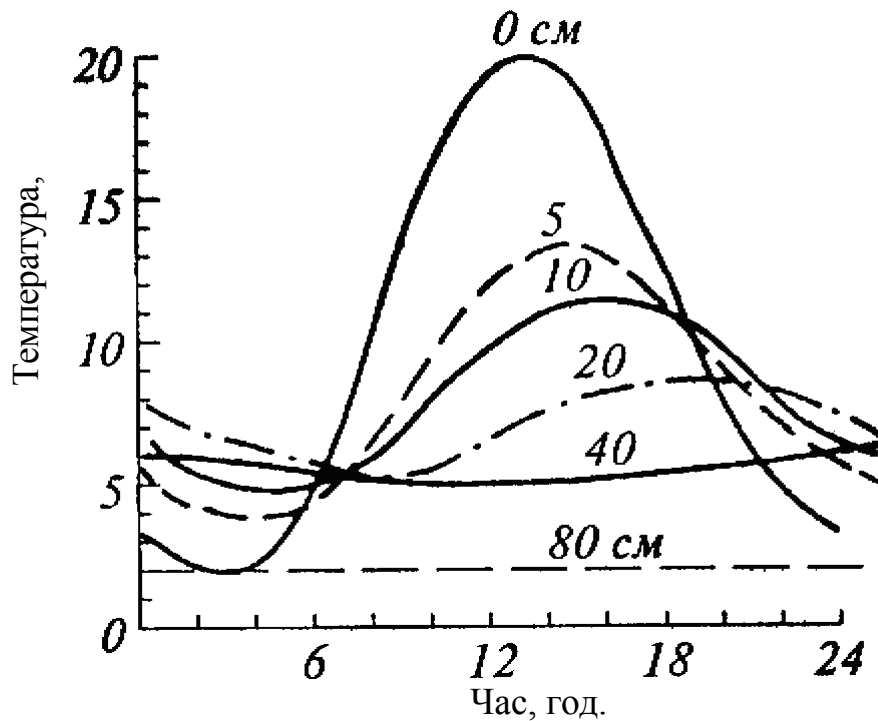


Рис. 4.7. Добовий хід температури ґрунту на різних глибинах

З особливостями добового та річного ходу температури пов'язаний розподіл температури ґрунту по вертикалі в різний час доби і пору року. Розподіл температури впродовж доби, декади, місяця, року можна розглядати за допомогою графіків (рис. 4.8).

Ці графіки 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.

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

На температуру ґрунту впливає наявність рослинного покриву. Дія рослинного покриву на термічний режим ґрунту і приземного шару повітря дуже різноманітна. Нерівномірне затінення ґрунту викликає неоднорідність термічного і радіаційного поля під посівами. Вдень поверхня під рослинами нагрівається менше і менше охолоджується вночі за рахунок зменшення випромінювання.

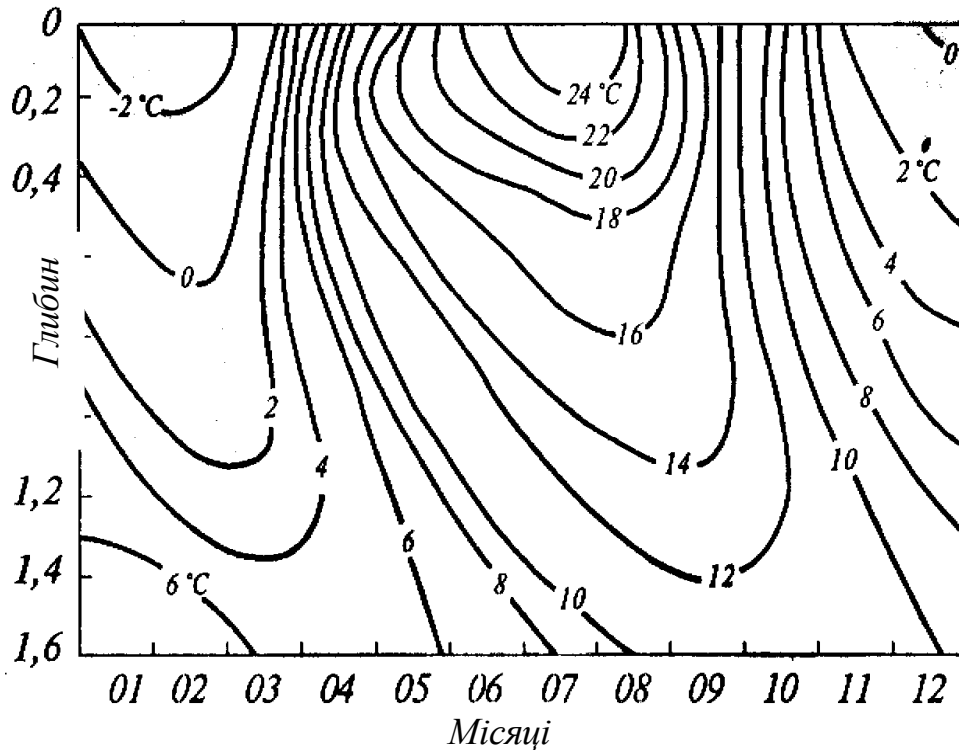


Рис. 4.8. Термоізоплети річного ходу температури ґрунту

Транспірація рослин та її мінливість з часом в значній мірі визначає розподіл температури у міжлистяковому 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.

Значення температури ґрунту для рослин. Температура ґрунту має велике значення для перезимівлі озимих культур. Особливо велике значення має температура ґрунту на глибині 3 см. На цій глибині здебільшого розташовується вузол кущіння озимих культур – головний орган, у якому накопичуються речовини, необхідні рослинам у суворих умовах зими.

О.М. Шульгіним встановлено, що головними показниками умов перезимівлі озимини є температура ґрунту на глибині 3 см, висота снігу, глибина промерзання ґрунту. Ці три чинники обмежують просування озимих культур у більш північні райони у ЄЧ СНД і в райони Сибіру. Якщо у озимих культур або багаторічних трав пошкоджується вузол кущіння і коренева шийка, то рослини гинуть і навесні їх життєдіяльність не відновлюється.

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

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

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

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

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

У холодному ґрунті ($t \leq 5$ °С) збільшується кількість личинок проволочника, а у теплому ґрунті ($t = 10 - 12$ °С) збільшується кількість бурякового довгоносика, капустяної мухи, озимої совки та ін.

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

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

Ці надбання і витрати енергії на діяльній поверхні характеризуються рівнянням теплового балансу

$$B = A + P + LE, \quad (4.11)$$

де B – радіаційний баланс діяльної поверхні;

A – потік тепла між діяльною поверхнею і нижніми шарами;

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

LE – витрати тепла на випаровування.

Інші складові теплового балансу: потоки тепла від опадів, енергії вітру, витрати на фотосинтез та ін. дуже незначні й до уваги приймаються лише при занадто точних розрахунках. Складові теплового балансу мають чіткий добовий хід.

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

Контрольні питання

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

4.5. Вплив режиму зволоження на агроєкосистему

Значення води для організмів. Розглянемо в чотирьох аспектах: як компонент, розчинник, носій і чинник термобуферності. Вода є основною частиною всіх живих організмів. У живих клітинах вміст води досягає 90 %, причому в біохімічних процесах значення води як структурного чинника навіть важливіше, ніж як сировини в процесах продукування і розчинника хімічних сполук.

Важлива функція води і як розчинника. В ній може розчинятися велика кількість хімічних сполук. Як рослини, так і тварини засвоюють мінеральні солі тільки у формі водних розчинів.

Транспорт речовин в організмах здійснюється тільки через водні розчини. Процеси росту залежать від надходження води, оскільки вона також є будівельним елементом.

Вода – важливий чинник термобуферності організмів, тобто дає їм змогу підтримувати відносну стабільність температури в умовах різкої зміни теплового режиму середовища.

Значення води в житті організмів відбиває її екологічну роль. Тільки окремі організми можуть жити без споживання води з навколишнього середовища, і не може жити жоден – без виділення води. Водний баланс живих організмів має першочергове значення для оцінки екологічної ситуації серед тварин і рослин. Залежність інтенсивності фотосинтезу від водного потенціалу листків рослин ілюструє рис. 5.2 г.

За значенням води в житті організмів їх поділяють на *пойкілогідричні*, тобто ті, які витримують зневоднення тканин внаслідок зниження вологості середовища, і *гомойогідричні*, які потребують стабільного вмісту води в тканинах.

Особливо чутливі до нестачі води тіневитривалі рослини-мезофіти, в яких втрата 1 % води може спричинити в'янення. У степових ксерофітів втрата навіть 25 % води не призводить до припинення життєдіяльності. Рекордсменом є торф'яний мох (сфагнум), який витримує втрату 95 – 97 % води з організму.

Джерела води для організмів. Водний баланс організмів, тобто співвідношення надходження і витрати води, регулюється як самим організмом, так і умовами навколишнього середовища.

Організми споживають воду такими основними шляхами:

- абсорбцією з водного середовища крізь поверхню тіла (організми, які живуть у воді);
- всмоктуванням за допомогою кореневої системи;
- абсорбцією водяної пари (переважно нижчі рослини – мохи, лишайники, водорості, а також комахи);
- отриманням води з дощових опадів (деякі рослини);
- споживанням з їжею;
- за рахунок вивільнення води в процесі метаболізму.

Джерелом води для рослин в основному є волога ґрунту, яку поділяють на категорії. Найважливіша з них – продуктивна. Її нижньою і верхньою межею є вологість в'янення рослин (ВВР) та повна вологоємність (ПВ). Оптимальна для рослин продуктивна волога в діапазоні від вологості розриву капілярів (ВРК) до найменшої (польової) вологоємності (НВ).

Організми виділяють воду:

- шляхом транспірації (залежить від відносної вологості повітря, вітру та ін.);

- шляхом випаровування води з поверхні тіла (найчастіше нижчими рослинами і тваринами);
- з водяною парою;
- через екскрецію у тварин; у рослин – гутація.

Кількісний та якісний вплив води на організми. За ставленням до води розрізняють такі групи організмів:

- *гідробіонти* – організми, які живуть у воді;
- *гелобіонти* – організми, які живуть у межевій зоні води й суходолу;
- *гігрофіли* – організми, які потребують високої вологості середовища (атмофіли – високої вологості повітря, власне гігрофіли – високої вологості ґрунту);
- *мезофіли* – організми, які живуть в умовах середнього зволоження;
- *ксерофіли* – організми, найстійкіші в умовах сухого середовища.

Критичними періодами за потребами у воді для *озимих і ярих зернових колосових культур* є період від фази виходу в трубку до колосіння, для *кукурудзи* – від цвітіння до молочної стиглості, для *бобових і гречки* – в період цвітіння, для *соняшнику* – від утворення кошика до цвітіння, для *картоплі* – в період цвітіння і формування бульб, для *бавовнику* – від цвітіння до закладання коробочок, для *баштанних* – від цвітіння до досягання.

За помірного і недостатнього забезпечення рослин водою урожайність їх знижується, але якість продукції, зумовлена вмістом цінних речовин, поліпшується. Так, за сухого клімату в зерні збільшується вміст білка, у насінні соняшнику – жиру, в бульбах картоплі – крохмалю, в ягодах винограду і коренеплодах цукрових буряків – цукру і т.д.

Надмірна вологість повітря:

- призводить до вилягання зернових культур;
- перешкоджає нормальному запиленню рослин;
- затримує підсихання зерна і соломи, збирання урожаю;
- зумовлює поширення грибкових захворювань рослин. Занадто низька вологість повітря (< 30 %):
- призводить до підсихання листків, зменшення фотосинтетичного потенціалу посівів;
- спричинює пересихання пилку, неповне запліднення;
- зумовлює слабе закладання бруньок;
- знижує якість льоноволокна;
- призводить до розтріскування зерна, дострокового його досягання, але підвищує хлібопекарські якості пшениці, вміст цукру в коренеплодах цукрових буряків.

Особливо небезпечне поєднання низької вологості повітря з нестачею води в ґрунті. Зокрема, в період після цвітіння це прискорює досягання зерна (так «званий запал зерна»), воно виходить щуплим, невиповненим.

Кількість води, яка витрачається на утворення одиниці маси сухої речовини рослин, називають *коефіцієнтом водоспоживання* k_v , його виражають у грамах води на грам сухої речовини. Для певної рослини він не є сталою величиною: за обмежених ресурсів вологи він зменшується, тобто рослини економніше витрачають вологу, за достатніх – збільшується. Найкраще характеризують потреби рослин у воді протягом вегетаційного періоду *біологічні криві водоспоживання* рослин фітоценозу за оптимальної вологості ґрунту – сукупність змінних у часі біологічних коефіцієнтів випаровування за вегетаційний період. Біологічні коефіцієнти залежать від ґрунтово-кліматичних умов та особливостей фітоценозу.

Випаровування з поверхні води, ґрунту, рослин. Випаровуванням називається процес переходу речовин із рідкого або твердого стану у газоподібний. Кількісно випаровування характеризується *швидкістю випаровування* – масою води (товщина шару її), яка випаровується за одиницю часу.

Шар води висотою в 1 мм, що випарувалась з площі 1 м², відповідає масі води в 1 кг або в 1 л (1 мм шару води = 10 м³/га = 10 т/га). У природних умовах інтенсивність випаровування залежить від багатьох факторів: від температури поверхні, з якої відбувається випаровування, нестачі насичення повітря вологою у шарі повітря та швидкості вітру.

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

$$w = A(E_1 - e) / p, \quad (4.12)$$

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

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

Залежність швидкості випаровування від швидкості вітру пояснюється турбулентною дифузиею водяної пари, яка зростає при підсиленні вітру. Швидкість випаровування залежить не тільки від перелічених вище метеорологічних факторів, а і від властивостей поверхні, з якої йде випаровування.

З поверхні води швидкість випаровування зростає із підвищенням температури води, зростанням нестачі насичення повітря вологою, швидкості вітру. Крім того, вона залежить від розмірів водоймища. З малих водоймищ випаровування йде більш інтенсивно завдяки приходу з

суші більш сухого повітря. Швидкість випаровування також залежить від солоності води. З водоймища з прісною водою випаровування збільшується, оскільки пружність насичення над прісною водою вище, ніж над розчином. У деякій мірі випаровування з водної поверхні залежить і від прямої сонячної радіації, що значно прогріває товщу води. Чим прозоріша вода, тим глибше вона прогрівається.

Швидкість випаровування з поверхні ґрунту залежить від стану його поверхні, фізичних властивостей, температури і вологості, рельєфу, наявності та виду рослинного покриву, вологості повітря, швидкості вітру та ін. З вологих і темних ґрунтів випаровування більше, з нерівної поверхні поля (оранка) інтенсивність випарування більше. Тому навесні у посушливих районах для зменшення випаровування оранку поля притрамбовують катками. Піщані ґрунти випарюють води менше, ніж глиняні. Чим більші частинки піску, тим менше випаровування. Якщо діаметр піщинок 2 мм і більше, випаровування майже не спостерігається.

П.А. Костичев встановив, що випаровування з поверхні ґрунту різко зменшується, якщо орний шар ґрунту має будову грудочками. На випаровування води впливає також глибина залягання ґрунтової води. Випаровування буде більше там, де ґрунтова вода ближче до поверхні.

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

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

Кількість води, яка необхідна рослинам для утворення одиниці маси сухої речовини, називається *коефіцієнтом транспірації*. Значення коефіцієнта транспірації залежить від виду і сорту рослини, стану та фази її розвитку, а також від стану навколишнього середовища. Для багатьох рослин помірного поясу коефіцієнт транспірації змінюється від 300 до 800 (табл. 4.5).

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

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

Таблиця 4.5. Значення коефіцієнтів транспірації різних культур (орієнтовано)

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

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

Складові сумарного випаровування впродовж вегетаційного періоду значно змінюються (рис. 4.9).

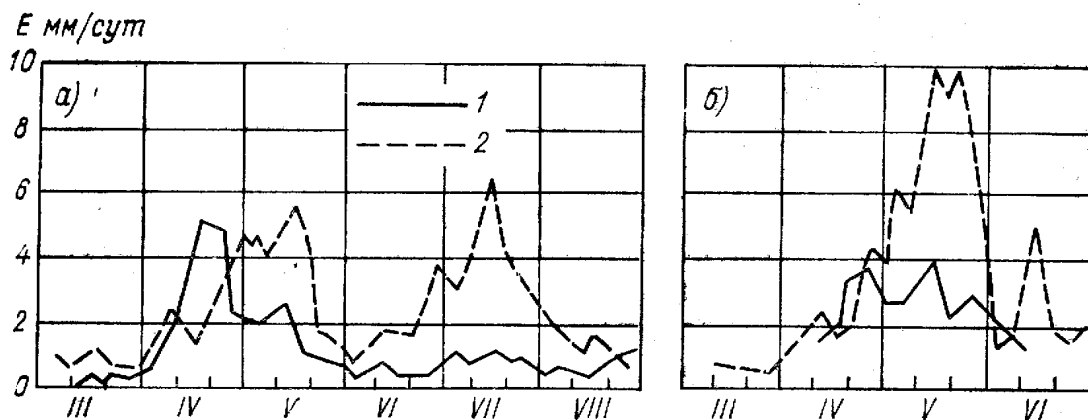


Рис. 4.9. Інтенсивність сумарного випаровування (E, мм/доба) при природному зволоженні з поля озимої пшениці (за С.І.Харченко, 1975): а – цїлина, б – озима пшениця.

На початку вегетації випаровування з поверхні ґрунту більше, ніж з рослин. Під час найбільшого розвитку рослин випаровування з поверхні рослинного покриття значно збільшується, а з поверхні ґрунту – зменшується.

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

Річне значення сумарного випаровування залежить від ходу температури та вологості повітря і ґрунту. В сухий рік інтегральне

значення сумарного випаровування, попри значні енергетичні затрати, значно нижче, ніж у вологі роки (рис. 4.10), коли інтенсивність випаровування через високі вологозапаси значно вища.

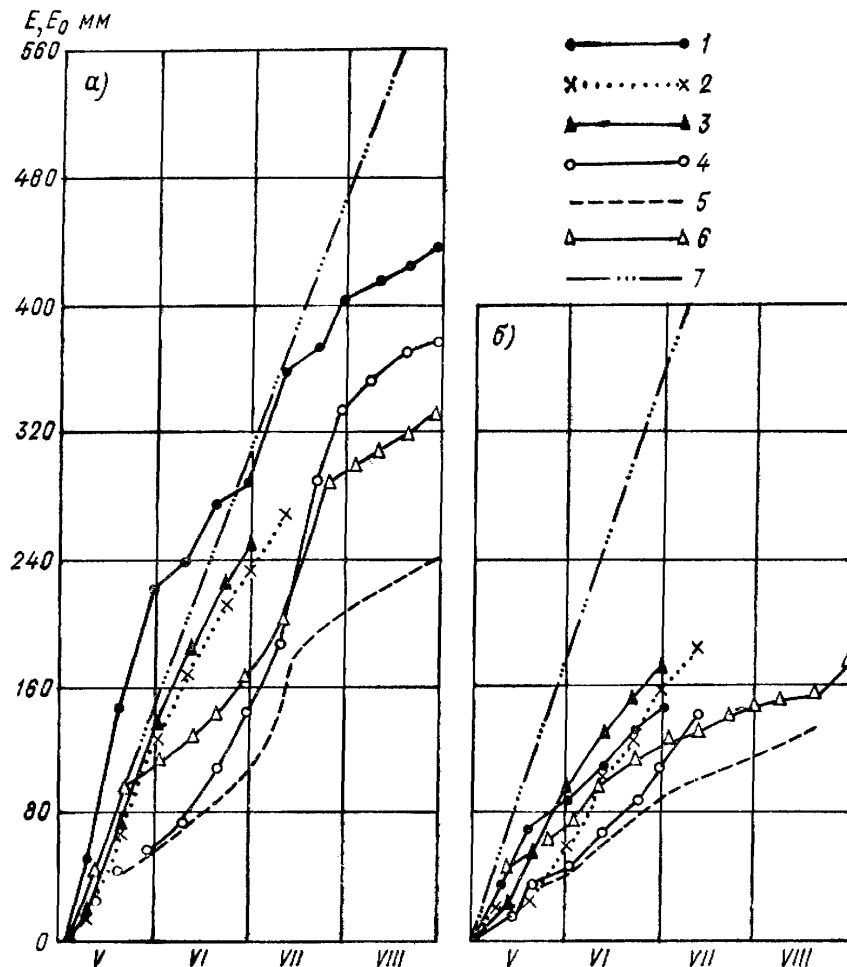


Рис. 4.10. Інтегральні криві сумарного випаровування (E):
а) 1997 р., б) 2000 р.

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

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

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

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

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

Для розрахунків сумарного випаровування застосовують методи водного балансу, турбулентної дифузії, метод М.І.Будико, комплексні методи М.І. Будико – Л.І. Зубенок, С.І. Харченко, Пенмана, Торнтвейта, О.Р. Констянтинова і аб.

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

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

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

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

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

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

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

При віддаленні від адсорбуючої поверхні властивості зв'язаної води змінюються, енергія зв'язку зменшується і молекули утримуються з меншою силою. Зовнішні шари адсорбційної вологи називаються

крихкозв'язаною водою. За своїми властивостями вона менше відрізняється від звичайної води. Утворення крихкозв'язаної води починається за рахунок водяної пари.

Капілярна волога утримується в ґрунті за рахунок різниці поверхневих тисків, що утворюється поверхнями розділу вода – повітря різної кривизни. Капілярні сили визначаються геометрією пор і властивостями ґрунтового розчину. Капілярна вода розташовується поверх плівкової. Температура її замерзання біля 0 °С. Капілярна вода здатна розчиняти речовини, рухлива. Рухається під впливом сили тяжіння та меніскових (капілярних) сил. Вона доступна для рослин.

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

В ґрунті при зниженні температури до 0 °С і нижче вода замерзає, утворюється лід, який характеризується силами зчеплення в десятки атмосфер, щільність менше одиниці, теплоємність – 0,5 Дж/(м³·К).

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

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

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

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

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

Максимальна гігроскопічність ґрунту визначається його питомою поверхнею. За даними С.О. Веріго та Л.О. Разумової максимальна гігроскопічність ґрунтів різного гранулометричного складу та вологості стійкого в'янення наведена в табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Вологість стійкого в'янення та максимальна гігроскопічність ґрунтів

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

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

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

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

Найменша вологомісткість (НВ) – це найбільша кількість підвішеної вологи або найбільша кількість води, яка фактично утримується ґрунтом у природних умовах в стані рівноваги, коли немає випаровування та додаткового підпирання ґрунтових вод, після стікання всієї гравітаційної вологи. В умовах неглибокого залягання дзеркала ґрунтових вод найменшій вологомісткості відповідає вологість на верхній межі капілярної кайми.

НВ залежить від гранулометричного складу, вмісту гумусу, структури і будови ґрунту. НВ визначається на провідних агрометеорологічних станціях 1 раз у 5 років. Якщо НВ не визначається, то у грубому наближенні її приймають такою (рис. 4.7).

Таблиця 4.7. Найменша вологомiсткiсть рiзних за механiчним складом ґрунтiв мм продуктивної вологи (С.О. Вериго, Л.О. Разумова)

Механiчний склад Ґрунту	Шар ґрунту	
	0 – 20 см	0 – 100 см
Суглинковий	40 – 50	170 – 190
Супiсчаний	30 – 40	150 – 170
Пiсчаний	20 – 30	80 – 120

Рiзниця мiж значеннями НВ i фактичними запасами продуктивної вологи називається *дефiцитом вологи у ґрунті*.

Повна вологомiсткiсть – кiлькiсть води, яка утримується в ґрунті, коли дзеркало ґрунтових вод сягає поверхнi i всi пори i шари зайнятi водою. При ПВ з ґрунту повнiстю витiсняється повітря, припиняється аерація i рослини пригнiчуються. Значення ПВ практично рiвне шпаруватостi i становить вiд 20 – 40 до 50 – 60 % загального об'єму ґрунту.

Капiлярна вологомiсткiсть (КВ) – це найбільша кiлькiсть капiлярно-пiдпертої води, яка може утримуватись у шарі ґрунту над дзеркалом ґрунтових вод. КВ залежить вiд шпаруватостi ґрунту, глибини залягання ґрунтових вод. У суглинках та в глинистих ґрунтах вода може пiдiйматись на висоту до 3 м, в супiсчаних – до 1,0 – 1,5 м, у пiсчаних ґрунтах та у торфi – до 0,5 – 1,0 м.

Запаси продуктивної вологи у ґрунті. Для оцiнки умов росту, розвитку та формування урожаю сiльськогосподарських культур облiк вологостi ґрунту проводиться протягом усього вегетацiйного перiоду. Спостереження ведуться в усьому шарі, де розповсюджена коренева система рослин, диференцiйовано по глибинi, тому що через обмежену рухливiсть ґрунтової вологи можуть створюватися iстотнi розходження вологостi ґрунту в його вертикальному профiлi. Внаслiдок цього визначення вологостi ґрунту носить характер масових польових вимiрювань.

iснують прямi i непрямi методи польових вимiрювань вологостi ґрунту. Прямими методами безпосередньо вимiрюється кiлькiсть наявної в ґрунті води. Непрямими методами вологiсть ґрунту враховується шляхом визначення змiн тих чи iнших фiзичних властивостей ґрунту, якi залежать вiд ступеня його зволоження.

Прямим, найбільш старим, що став уже класичним методом польових визначень вологостi ґрунту є метод сушіння зразкiв ґрунту. Він прийнятий як еталон для оцiнки застосування iнших методiв. В його основу покладено визначення кiлькостi води, яка знаходиться у ґрунті, шляхом висушування зразкiв, вийнятих iз рiзних шарiв ґрунту.

Непрямі методи, які вважаються в даний час перспективними і які удосконалюються за принципами покладеними в їхню основу, можуть бути розділені на три групи. Вони засновані на врахуванні:

- а) електроопору (омічний метод);
- б) капілярного натягу ґрунтової вологи (тензіометричний метод);
- в) здатності ґрунтової вологи послабляти гамма-промені, які проходять через ґрунт, або перетворювати швидкі нейтрони в повільні (нейтронний метод).

Кількість продуктивної вологи або її запаси, прийнято виражати в міліметрах товщини водяного шару. В такому вигляді вони легко порівнюються з даними опадів і випаровування. Розрахунок запасів продуктивної вологи проводиться за формулою

$$W = 0,1\rho_d h \cdot (u - k), \quad (4.13)$$

де W – запаси продуктивної вологи, мм;

ρ_d – щільність складу сухого ґрунту, г/см³;

h – потужність шару ґрунту, см;

u – вологість, % абсолютно сухого ґрунту;

k – вологість стійкого в'янення, % абсолютно сухого ґрунту;

0,1 – коефіцієнт для переведення в міліметри водного шару.

За методикою, прийнятою на мережі гідрометеорологічних станцій, запаси підраховуються для кожного 10-ти сантиметрового шару ґрунту, а у самому верхньому шарі ще й у 0–5 см. Запаси вологи для шару будь-якої більшої величини визначають простим додаванням запасів усіх вхідних у нього 10-ти сантиметрових шарів.

Запаси продуктивної вологи у ґрунті – величина, яка постійно змінюється. Це і надходження води у ґрунт із різних джерел, найсуттєвішим із них є опади, це витрати вологи за рахунок проникнення у нижні шари ґрунту та за рахунок випаровування і т. ін. Сукупність усіх величин надходження вологи у ґрунт та витрат називається *водним балансом*.

Щодо потреб сільськогосподарського виробництва, то залишок водного балансу визначається у мм продуктивної вологи. Водний баланс складається із прихідної частини, яка вміщує (θ_{on}), а при зрошенні ще й норму поливу ($\theta_{зр}$), надходження із ґрунтових вод ($\theta_{2в}$) і за рахунок конденсації водяної пари ($\theta_{к}$), а також надходження води внаслідок переміщення із сусідніх шарів ґрунту ($\theta_{нсп}$) і за рахунок просочування ($\theta_{вн}$) та витратної частини: витрат води на випаровування ($\theta_{в}$), поверхневий стік ($\theta_{нс}$), транспірацію ($\theta_{тп}$) та переміщення всередині ґрунту ($\theta_{вс}$), а також інфільтрацію ($\theta_{ин}$). Таким чином, якщо початковий запас води у ґрунті – W_n і кінцевий W_k , то рівняння водного балансу має вигляд

$$W_e - W_r = [(\theta_{ir} + \theta_{\zeta\delta}) + \theta_{\hat{a}\hat{a}} + \theta_{i\hat{a}\delta} + \theta_{\hat{a}i} + \theta_{\hat{e}}] - \quad (4.14)$$

$$- [(\theta_{\hat{a}} + \theta_{\delta\delta}) + \theta_{i\hat{n}} + \theta_{\hat{a}\hat{n}} + \theta_{\hat{z}i}]$$

Рівняння може бути скорочено за відсутності будь-якої складової. Крім того, в залежності від пори року складові рівняння водного балансу також змінюються. С.О. Веріго і Л.О. Разумовою встановлено, що формування запасів продуктивної вологи у холодну та теплу пори року відбувається з різних джерел.

Взимку поповнення запасів вологи відбувається за рахунок опадів, талих вод та пересування вологи всередині ґрунту під впливом кристалізації. В теплу пору року динаміка запасів продуктивної вологи в першу чергу залежить від кількості та розподілу опадів у часі, від температурного режиму, стану поверхні ґрунту, міри розвитку рослин та їх виду, глибини залягання ґрунтових вод. Швидкість витрат води влітку впродовж вегетаційного періоду рослин дуже змінюється.

Величина змін залежить від ґрунтово-кліматичної зони, рельєфу, виду сільськогосподарських культур та стану їх розвитку. В кожній ґрунтово-кліматичній зоні тип річної зміни запасів продуктивної вологи свій тип річного ходу вологи.

Динаміка запасів продуктивної вологи у будь-якій точці в першу чергу залежить від кількості та розподілу опадів, а також від температурного режиму.

На основі багаторічних масових спостережень за вологістю ґрунту в різних ґрунтово-кліматичних зонах, закономірностей формування запасів вологи у ґрунті та залежності швидкості витрати ґрунтової вологи від умов погоди С.О. Веріго і Л.О. Разумовою виділено чотири основних типи річного ходу запасів продуктивної вологи (рис. 4.11).

Тип обводнення властивий районам з високим рівнем залягання ґрунтових вод, де в момент їхнього максимального рівня водне дзеркало входить у ґрунтову товщу, а іноді навіть досягає поверхні ґрунту. Верхня межа капілярної зони відривається від поверхні лише на 2–3 літніх місяці і навіть на супіщаних ґрунтах не буває глибше 50 см. В зв'язку з цим у шарі ґрунту розповсюдження коріння протягом року знаходиться велика кількість легкодоступної вологи.

Тип капілярного зволоження спостерігається в районах, де ґрунтові води досягають шару ґрунту розповсюдження коріння лише в моменти найвищого стояння, а верхня межа капілярної зони в переважній більшості випадків протягом року залягає в шарі розповсюдження коріння і лише в окремі моменти виходить на поверхню ґрунту. Зимовий режим і річний максимум запасів вологи районів капілярного зволоження близькі до таких як у районах обводнення.

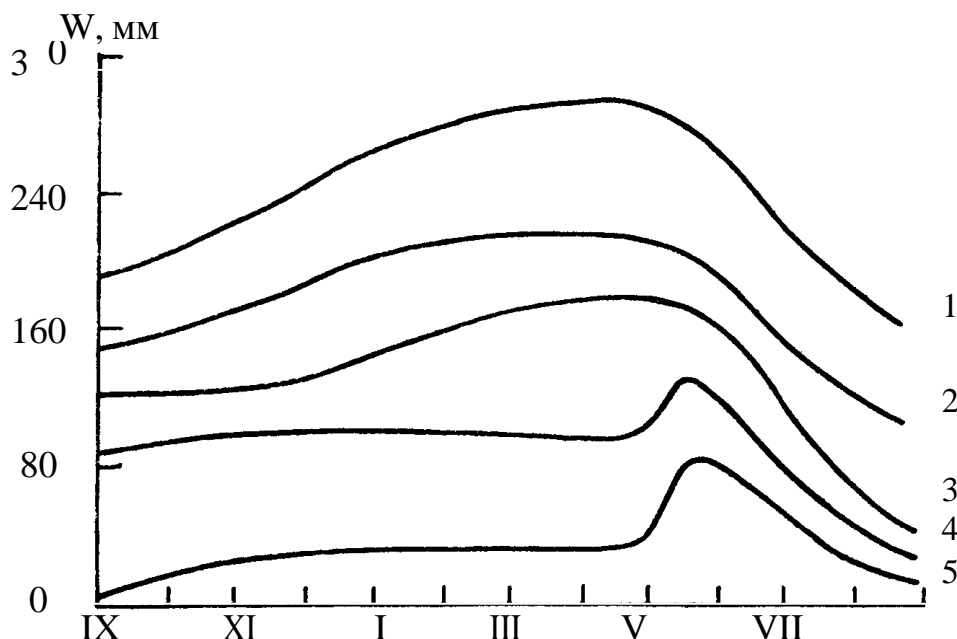


Рис. 4.11. Типи річного ходу запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту під озимими культурами, посіяними по чорному пару (С.А. Веріго, Л.О. Разумова).

Типи: 1 – обводнення; 2 – капілярного зволоження; 3 – повного весняного промочування; 4 – слабкого весняного промочування в посушливих районах; 5 – слабкого весняного промочування в сильно посушливих районах.

Максимум запасів вологи в теплу пору року лежить між капілярною і найменшою вологомісткістю ґрунту. За багаторічними даними, на суглинкових ґрунтах у середньому він перевищує 200 мм, на супіщаних – 150 мм. Річний мінімум запасів продуктивної вологи у метровому шарі суглинкових ґрунтів трохи більше 100 мм, супіщаних – трохи менше 100 мм. Можливість капілярного пересування вологи в цих районах виключається протягом 2–2,5 літніх місяців на суглинкових ґрунтах лише у верхніх шарах, на супіщаних – у всій метровій товщі.

Тип повного весняного промочування властивий для районів глибокого залягання ґрунтових вод, де капілярна зона не досягає шару розповсюдження коріння. Річний максимум запасів продуктивної вологи тут спостерігається навесні. Він дорівнює найменшій вологомісткості ґрунтів і в метровому шарі суглинкових ґрунтів складає 170–180 мм, а на потужних чорноземах – 200 мм.

Річний мінімум запасів продуктивної вологи спостерігається до кінця вегетації і за середніми багаторічними даними, коливається в межах 50–100 мм, в окремі роки він може опускатися навіть до нуля. Легкорухлива волога закритих капілярів існує лише навесні над мерзлим шаром ґрунту, що несе водне дзеркало талих вод, які просочуються.

Тип слабого весняного промочування характерний для посушливих районів із глибоким заляганням ґрунтових вод. Річний максимум запасів продуктивної вологи в шарі ґрунту розповсюдження коріння тут також спостерігається навесні. Але навіть у цей час, за середніми багаторічними даними, запаси вологи метрового шару ґрунту значно нижче його найменшої вологомісткості, у найбільш посушливих районах вони складають лише 50–70 мм. Глибина промочування ґрунту в окремі роки не перевищує 50 см.

Річний мінімум запасів вологи спостерігається восени, нерідко він падає до нуля. Протягом усього року, крім короткого періоду сніготанення, ґрунт тут позбавлений легко-рухливої вологи. Пересування її по ґрунтовому профілю відбувається в основному шляхом гідратації й у пароподібному вигляді. У зимовий період, в умовах стійкого промерзання, внутрішньо-ґрунтове пересування вологи не має істотної ролі: мерзлі шари зберігають свою вологість протягом усієї зими практично постійною.

Таким чином, вологозабезпеченість рослин, а також можливість та якість проведення сільськогосподарських робіт залежить від вмісту вологи у ґрунті, який буває неоднаковий по території та безупинно змінюється з часом.

Контрольні питання

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

5. СИСТЕМА ҐРУНТ – РОСЛИНА – АТМОСФЕРА

5.1. Поняття про систему ґрунт – рослина – атмосфера

Екологічна система представляє собою об'єкт, що складається з десятків, а нерідко з багатьох сотень видів організмів, наділених здатністю до накопичення і багаторазового використання енергії і речовини, з великою кількістю механізмів, підтримуючих цілісність його структури в змінних умовах навколишнього середовища.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ґрунтове середовище є своєрідним 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 й 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 та 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 у ґрунті елементів мінерального живлення.

Вся система ґрунт – рослина – атмосфера ділиться на шість горизонтальних шарів (рис. 5.1). По вертикалі від поверхні ґрунту до верхньої межі рослинності $z_o = h_o(t)$ і до нижньої межі поширення коріння

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

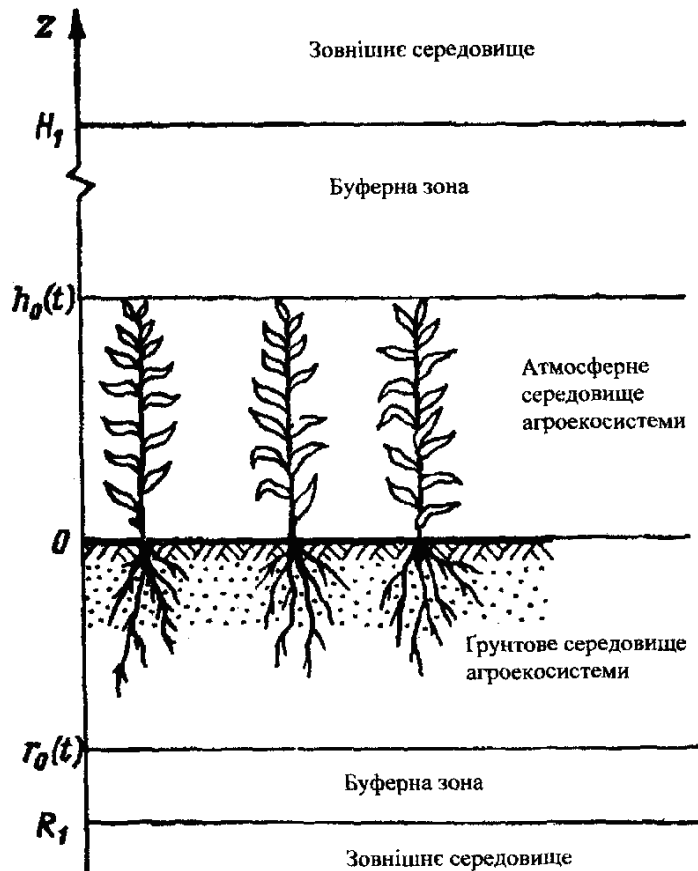


Рис. 5.1. Схема системи ґрунт – рослина – атмосфера.

Властивості внутрішнього атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми, що охоплюють приземний шар атмосфери і верхні шари ґрунту, визначаються процесами взаємодії з іншими компонентами агроєкосистеми (теплообмін, вологообмін, фотосинтез, дихання та ін.)

На відміну від них властивості зовнішнього середовища агроєкосистеми ($z > H_1$ і $z < R_1$) формуються під впливом процесів іншого, більш великого масштабу, незалежних від впливу агроєкосистеми: атмосферних процесів і процесів, що протікають у підстильній породі.

Межа зовнішнього і внутрішнього середовища агроєкосистеми вельми рухлива у часі та в просторі, має сезонні цикли в залежності від виду агроєкосистеми та їхнього стану. Вона визначається ростом і розвитком

агрофітоценозу. В залежності від вигляду агрофітоценозу та фази його розвитку, межа атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми може коливатися від декількох десятків сантиметрів до декількох метрів.

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

5.2. Енерго- і масообмін між рослинним покривом і атмосферою

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

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

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

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

Перенесення радіації в горизонтально однорідному рослинному покриві описується рівнянням

$$\cos\Theta \frac{dI_k}{dz} = - \frac{dL}{dz} GI_k + \frac{1}{\pi} Q_k, \quad (5.1)$$

де $k = 1$ – для сонячної радіації і $k = 2$ – для теплової радіації;
 Θ – zenітний кут пучка радіації інтенсивністю $I_k(z, \Theta)$, Вт·см⁻²;
 dL/dz – кількість фітоплощі листя в горизонтальному шарі РП однакової товщини, см²·см⁻³;
 G – коефіцієнт ослаблення радіації;
 Q_k – інтенсивність функції джерела, яка неоднакова для сонячної і теплової радіації, Вт·см⁻³.

У фізичному розумінні рівняння (5.1) виражає закон збереження променистої енергії. Залежність функцій G і Q_k від напрямку падіння радіації вказує на те, що РП є оптично анізотропним. Вплив архітекtonіки РП, що відіграє велику роль у перенесенні радіації, входить у рівняння (5.1) через функції dL/dz , G і Q_k , причому функція dL/dz характеризує вертикальний розподіл площі фітоелементів, а функція G – їхню орієнтацію.

Масообмін між рослинним покривом і атмосферою описується рівнянням перенесення субстанції

$$\frac{dq_i}{d\tau} = -k_i \frac{dq_i}{dz} + Q_i(z, \tau), \quad (5.2)$$

де q_i – концентрація i -тої субстанції, г·см⁻³;
 k_i – коефіцієнт обміну i -тої субстанції, см·с⁻¹;
 Q_i – інтенсивність джерела субстанції, г·см⁻³·с⁻¹.

Над рослинністю, як правило, $Q_i = 0$

Крайові умови для рівняння (5.2) такі:

$$k_i \frac{dq_i}{dz} \Big|_{z=z_0} = F_{iA}(\tau) \quad \text{і} \quad k_i \frac{dq_i}{dz} \Big|_{z=0} = F_{iS}(\tau), \quad (5.3)$$

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

Початкові умови для рівняння (5.2) на момент $\tau = \tau_0$ такі

$$q_i(\tau_0, z) = q_{oi}(z). \quad (5.4)$$

При цьому враховується концентрація таких субстанцій:

– кількість руху

$$q_M = \rho_A u, \quad (5.5)$$

– кількість тепла

$$q_H = \rho_A C_p T_A, \quad (5.6)$$

– водяної пари

$$q_W = \rho_A q_A, \quad (5.7)$$

– вуглекислого газу

$$q_C = \rho_A C_A, \quad (5.8)$$

– кисню

$$q_{ox} = \rho_A c_{ox}, \quad (5.9)$$

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

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

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

T_A – температура повітря, К ;

q_A , q_C , q_{ox} – концентрація водяної пари, вуглекислого газу і кисню в повітрі відповідно, $\text{г}\cdot\text{г}^{-1}$.

У випадку кількості руху розмірність q_M – $\text{г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$; Q_M – $\text{г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-2}$ і F_M – $\text{г}\cdot\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$;

у випадку кількості тепла розмірність Q_H – $\text{Вт}\cdot\text{см}^{-3}$, а q_H – $\text{Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-3}$. Звичайно передбачається, що $k_i = k_M$ для всіх субстанцій, хоча справедливості такого припущення не зовсім ясна.

Однак найбільші труднощі при розрахунку рівняння перенесення (5.2) пов'язані із визначенням інтенсивності джерела Q_i , яке визначає сумарну кількість i -тої субстанції, що поглинається ($Q_i > 0$) або виділяється ($Q_i < 0$) в одиниці об'єму повітря за одиницю часу. Джерелами субстанції є елементи рослинності, переважно листя. Таким чином, визначення зводиться до підсумовування для усіх фітоелементів об'єму. Якщо \bar{Q}_{Li} – середня інтенсивність джерела, розрахована на одиницю поверхні фітоелемента, то

$$Q_i(z, \tau) = \frac{dL}{dz} \bar{Q}_{Li}(z, \tau). \quad (5.10)$$

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

Енергетичний баланс поверхні ґрунту. Рівняння переносу радіації і субстанції (5.1) і (5.2) не є незалежними, а пов'язані між собою через інтенсивності джерел Q_i і через рівняння енергетичного балансу на поверхні ґрунту. Останнє виражає закон збереження енергії, що застосовується для поверхні ґрунту, і його можна записати у вигляді

$$I_Q(1 - A_S) + E_{AS} - \delta_S \sigma T_{S0}^4 - F_{HS} + H_0 - \mathcal{L}F_{WS} = 0, \quad (5.11)$$

де I_Q – потік сумарної сонячної радіації на поверхню ґрунту;

A_S – альbedo ґрунту;

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

δ_s – коефіцієнт випромінювання ґрунту;

– постійна Стефана-Больцмана;

T_{so} – температура поверхні ґрунту;

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

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

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

L – питома теплота пароутворення, $\text{Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{г}^{-1}$. Всі члени у формулі (5.11) мають розмірність $\text{Вт}\cdot\text{см}^{-2}$.

В залежності від часу й умов потоки F_{HS} , H_{OS} і F_{WS} можуть мати і протилежний знак.

Рівняння енергетичного балансу (5.11) пов'язує між собою потоки радіації і субстанції на поверхні ґрунту. Величина окремих членів у (5.11) і роль самого рівняння (5.11) у енерго- і масообміні системи ґрунт – рослина – атмосфера істотно залежать від висоти і гущини РП.

5.3. Енерго- та масообмін між фітоелементом (листочком) і повітрям

Енерго- і масообмін між РП і атмосферою описується в основному теорією фізики приземного шару атмосфери. Опис же енерго- і масообміну між фітоелементом і повітрям вимагає застосування закономірностей тепло- і вологообміну між плоскими пластинками і повітрям, а також знання біофізичних і фізіологічних процесів, які протікають у листку. Загально визнаним прийомом збереження енерго- і масообмінних процесів у системі ґрунт – рослина – атмосфера є аналог у вигляді електричних ланцюжків з інтерпретацією зв'язків між об'єктами системи як опору на шляху потоку субстанції (рис. 5.2).

Для кількісного опису тепло- та масообміну використовується рівняння дифузії

$$F = \frac{q_{Li} - q_{Ai}}{r_i}, \quad (5.12)$$

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

q_{Li} і q_{Ai} – концентрація субстанції відповідно у листку й у повітрі, $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$;

r_i – сумарний дифузійний опір на шляху i -тої субстанції, $\text{с}\cdot\text{см}^{-1}$.

Рівняння (5.12) застосовується для опису обміну тепла, водяної пари, вуглекислого газу і кисню.

Для опису перенесення кількості руху замість рівняння (5.12) згідно з експериментальними даними, використовується рівняння

$$F_{LM} = -\rho_A \frac{C_D}{2} u^2, \quad (5.13)$$

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

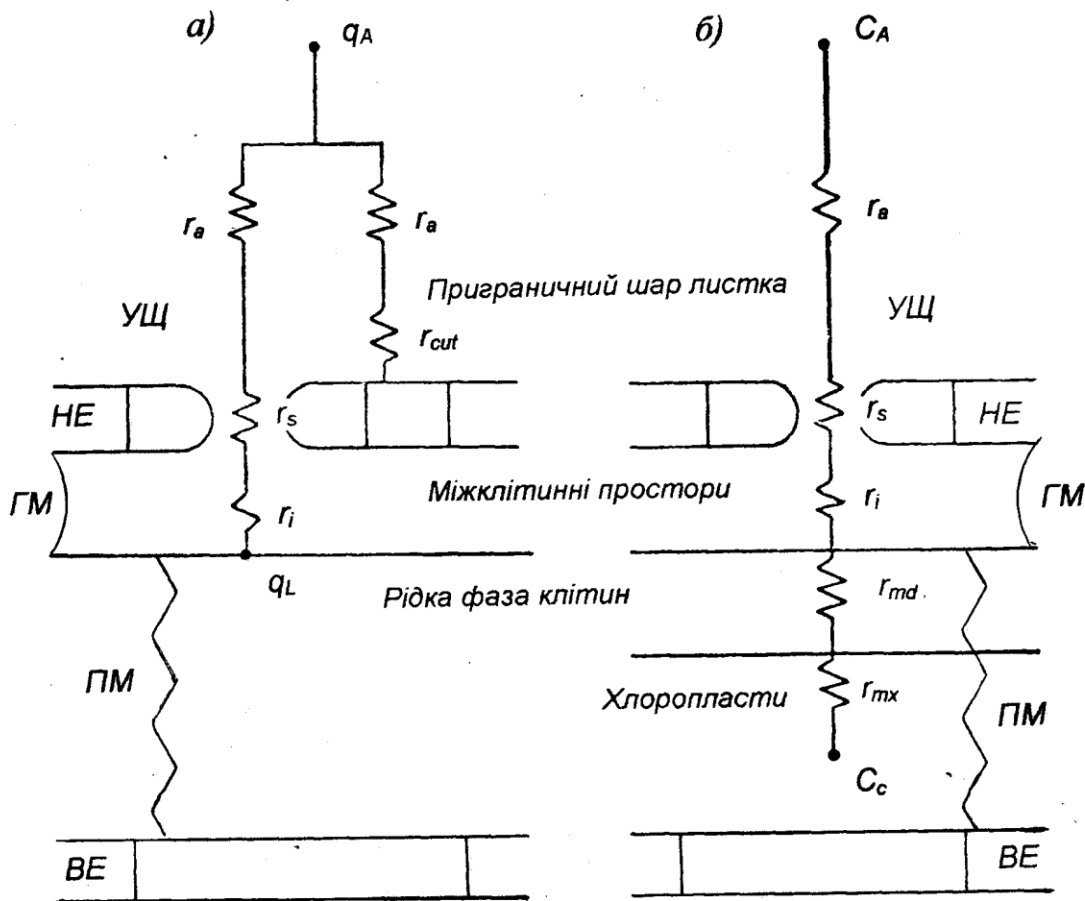


Рис. 5.2. Опір на шляху потоку водяної пар (а) та вуглекислого газу (б) в системі «листок – атмосфера»

BE – верхній епідерміс; HE – нижній епідерміс; $ГМ$ – губчастий мезофіл; $ПМ$ – палисадний мезофіл; $УЩ$ – устячкова щілина; r_a – опір при граничного шару; r_{cut} – опір кутикули; r_i – опір міжклітинників; r_{md} – опір мезофілу; r_{mx} – опір в центрах карбоксилування; r_s – опір устячок; q_A – питома вологість повітря між листками; q_L – питома вологість повітря в міжклітинному просторі; C_A – концентрація CO_2 в повітрі між листками; C_c – концентрація CO_2 в центрах карбоксилування.

Теплообмін між листком і повітрям проходить через поверхню листка, він визначається опором ламінарного шару повітря у міжлисточковому просторі – опором приграничного шару листка (рис. 5 2). Враховуючи рівняння (5.12) і приймаючи до уваги, що $q_H = \rho_{Ac_p} T_A$,

отримуємо для конвективного теплообміну між листком і повітрям таке рівняння

$$H_L = 2 \frac{\rho_A c_p (T_L - T_A)}{r_{aH}}, \quad (5.14)$$

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

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

$$r_{aH} = \frac{\rho c_p b_L}{k_A \text{Nu}}, \quad (5.15)$$

де k_A – теплопровідність повітря, $\text{Вт} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$;

b_L – характеристична довжина (ширина) листка, см;

Nu – число Нуссельта.

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

Результати експериментів з модельними листками добре апроксимуються напівемпіричною формулою

$$r_{aH} = a_H (b_L/u)^{1/2}, \quad (5.16)$$

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

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

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

$$r_{aH} = 1,1 r_a \quad \text{і} \quad r_{ac} = 1,6 r_a. \quad (5.17)$$

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

Вологообмін між листком і повітрям (транспірація). Зовні листок (див. рис. 5.2) має одношаровий епідерміс (на верхньому та нижньому боці листка). Зовнішні стінки епідермісу покриті кутикулою – вологозахисним шаром.

Епідерміс разом з кутикулою створює ефективний бар'єр на шляху руху води. Між верхнім і нижнім епідермісом розміщені два види

рослинної тканини (зверху – палісадний (стовпчатий) мезофіл, внизу – губчастий мезофіл) та велика кількість міжклітинників. Завдяки розвинутій системі міжклітинників мезофіл має величезну поверхню, що в багато разів перевищує зовнішню поверхню листка. Вода в міжклітинниках випаровується із всіх відкритих ділянок клітин мезофілу. У більшості видів рослин на нижньому епідермісі містяться продихові (отвори) щілини – продихи.

Під *транспірацією* листя розуміють перенесення водяної пари уздовж градієнта концентрації з випаровуючи поверхонь всередині листка до зовнішньої його поверхні і далі в повітря. Випаровування з листка відбувається в двох місцях: із зовнішніх стінок клітин епідермісу і зі стінок клітин мезофілу, які виходять у міжклітинні простори, заповнені повітрям. Звідси пара рухається до поверхні листка: у першому випадку через кутикулу, долаючи кутикулярний опір r_{cut} а в другому – через продихові щілини, долаючи продиховий опір (рис. 5.2 а). Коли устячка відкриті, роль кутикулярної транспірації мала. Оскільки шляхи руху водяної пари через кутикулу і через продихи паралельні, то й сумарний внутрішній опір водяної пари r_W виражається через продиховий опір r_s і кутикулярний опір r_{cut} формулою

$$\frac{1}{r_W} = \frac{1}{r_{cut}} + \frac{1}{r_s} \quad (5.18)$$

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

Приймаючи до уваги формулу (5.12), інтенсивність транспірації листка визначається формулою

$$E = \rho \frac{q_L - q_A}{r_a + r_W}, \quad (5.19)$$

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

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

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

5.4. Фотосинтез, дихання і газообмін CO_2 листка

Газообмін CO_2 між листком і повітрям є результатом протікання в листку процесів фотосинтезу і дихання. При фотосинтезі листок поглинає CO_2 з повітря в міжлисточковому просторі. Молекули CO_2 рухаються через примежовий (приграничний) шар повітря над листком і через продихові

(устячкові) отвори в міжклітинний простір всередині листка, де вони дифундують крізь стінки мезофільних клітин (рис. 5.2 б). Цей шлях CO_2 описується дифузійним рівнянням типу (5.12). На стінках мезофільних клітин молекули CO_2 розчиняються і подальший їхній шлях у центри карбоксилування в хлоропластах описується законом дифузії розчинених газів у рідині і характеризується опором мезофіла r_{md} . У центрах карбоксилування молекули CO_2 вступають у біохімічний цикл фотосинтезу.

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

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

Фотосинтез. Процес фотосинтезу в листку підрозділяється на два етапи: дифузія молекул CO_2 з повітря до центрів карбоксилування в клітині, що описується законами біофізики, і біохімічний цикл фотосинтезу в хлоропластах, який описується законами фітобіології та біохімії.

Для опису дифузії молекул CO_2 у листку Гаастра застосовував закон Фіка

$$\Phi_L = \frac{c_A - c_c}{r_{ac} + r_{sc} + r_{md}}, \quad (5.20)$$

де Φ_L – інтенсивність фотосинтезу, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$;

c_A і c_c – концентрація CO_2 відповідно в повітрі і в центрах карбоксилування, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{см}^{-3}$;

r_{ac} , r_{sc} , r_{md} – дифузійні опори для молекул CO_2 відповідно в приграничному шарі листка, устячках і клітинах мезофіла.

Біохімічний цикл фотосинтезу описується рівнянням Міхаеліса-Ментен

$$\Phi_L = \frac{1}{\frac{1}{\chi_\Phi a_\Phi I_\Phi} + \frac{r_{mx}}{c_c}}, \quad (5.21)$$

де a_Φ – нахил світлової кривої фотосинтезу;

I_Φ – інтенсивність ФАР;

χ_Φ – коефіцієнт поглинання листком ФАР;

r_{mx} – ефективний опір карбоксилювання.

Формула Ю. Росса і З. Біхеле поєднує залежність фотосинтезу від радіації, концентрації CO_2 і від дифузійних опорів

$$\Phi_L = \frac{1}{\frac{1}{\Phi_m} + \frac{1}{\chi \Phi a \Phi I \Phi} + \frac{r_{ac} + r_{sc} + r_m}{c_A}} \quad (5.22)$$

де Φ_m – потенційний фотосинтез, тобто $\lim_{I_\Phi \rightarrow \infty} \Phi_L = \Phi_m$, що залежить від температури і віку листка, а $r_m = r_{md} + r_{mx}$.

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

У формулі (5.22) фотобіологічний блок фотосинтезу визначається через кут нахилу світлової кривої a_ϕ . Біохімічний цикл фотосинтезу виражається через параметри Φ_m і r_{mx} .

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

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

$$R = R_G - R_M. \quad (5.23)$$

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

$$R_G = k_1 \Phi, \quad (5.24)$$

де k_1 – безрозмірна стала.

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

$$R_M = m_p c / \varepsilon, \quad (5.25)$$

де m_p – суха фітомаса всієї рослини, г;

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

c – стала величина, час^{-1} .

5.5. Формалізація ростових процесів рослин

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

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

За даними Д.А. Сабініна *ріст* – це процес новоутворення елементів структури організму, до яких відносяться органи, клітини, частини клітин і, нарешті, субмікроскопічні компоненти протоплазматичних структур до макромолекул включно.

Ріст, як і всі інші процеси в рослині, є функцією часу, що зовні виражається в періодичних і ритмічних коливаннях його інтенсивності, а також в змінах його масштабності, спрямованості та локалізації. Найбільш загальним виразом залежності ходу ростових процесів у часі від внутрішніх причин, їх спадковості та фізіолого-біохімічного стану є сформульований Ю. Саксом у 1856 році закон великого періоду росту, який відображає S-подібний хід кривої інтегрального наростання розмірів або маси рослин і параболічний хід диференціальної кривої приростів величини збільшення маси за певний період.

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

1) нижня висхідна гілка виражається рівнянням геометричної прогресії або близькою до неї формулою експонентної кривої

$$y = ax;$$

2) середня, пряма частина – рівнянням лінійної функції

$$y = tx + b;$$

3) верхня низхідна гілка – рівнянням логарифмічної функції

$$y = \log a^x.$$

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

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

$$\frac{d\omega}{dt} = KW, \quad (5.26)$$

де W – маса або розмір рослини;

t – час росту;

K – коефіцієнт пропорціональності.

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

$$W_t = W_o \cdot e^{rt}, \quad (5.27)$$

де W_t – маса або розмір рослини через інтервал часу;

W_o – початкова маса при $t = 0$;

e – основа натуральних логарифмів; t – час;

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

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

$$r = \frac{\log W_t - \log W_o}{t \log e} \quad (5.28)$$

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

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

$$\frac{dW}{dt} = K_1 N (A - W), \quad (5.29)$$

де K_1 – емпірична константа;

W – маса або розмір рослини;

A – кінцева величина, що досягається при рості.

Після інтегрування рівняння набуває вигляду

$$K = \frac{1}{t - t_1} \log \frac{W}{A - W}, \quad (5.30)$$

де $W = 1/2 A$.

Ці рівняння застосувати практично неможливо, оскільки треба знати дві істотні величини A і $1/2A$. Припущення Т.В. Робертсона про те, що гальмування росту при наявності достатньої кількості початкових продуктів є результат взаємодії авто-каталітично діючих продуктів росту, експериментально не доведене. Тому його рівняння можуть бути

застосовані лише для визначення проміжних точок на сигмаподібній кривій росту, між A і $1/2A$, і тільки при постійних умовах середовища.

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

$$z = z_0 t^k, \quad (5.31)$$

де z – маса ембріона на задану дату;

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

t – час росту;

k – емпіричний коефіцієнт.

Математичну інтеграцію закону великого періоду росту дає також Г.З. Вінцкевич. Він вводить поняття про три етапи росту: перший – вся біомаса складається тільки з активних елементів ($z = ma$); другий – нарівні з активними елементами виникають консервативні елементи ($z = ma + mk$); третій – коли залишаються тільки одні консервативні елементи ($z = mk$).

На основі цих уявлень, використовуючи формулу В.Х. Блекмана, який виражає експоненційний ріст, Г.З. Вінцкевич запропонував свої рівняння сигмоподібної кривої росту і методи розрахунку її констант.

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

$$\frac{dm}{dt} = a(u) - b(u)m^2, \quad (5.32)$$

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

u – чинник, що вивчається;

a і b – коефіцієнти.

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

5.6. Агрометеорологічні умови та продуктивність посівів

Продукційний процес рослин – це сукупність окремих взаємопов'язаних процесів, з яких фундаментальними є фотосинтез, дихання і ріст, в ході яких відбувається формування урожаю (рис. 5.3).

Продукційний процес рослин залежить від умов зовнішнього середовища і сам перетворює довкілля, в основному через архітектоніку, газообмін та транспірацію фітоценозу.

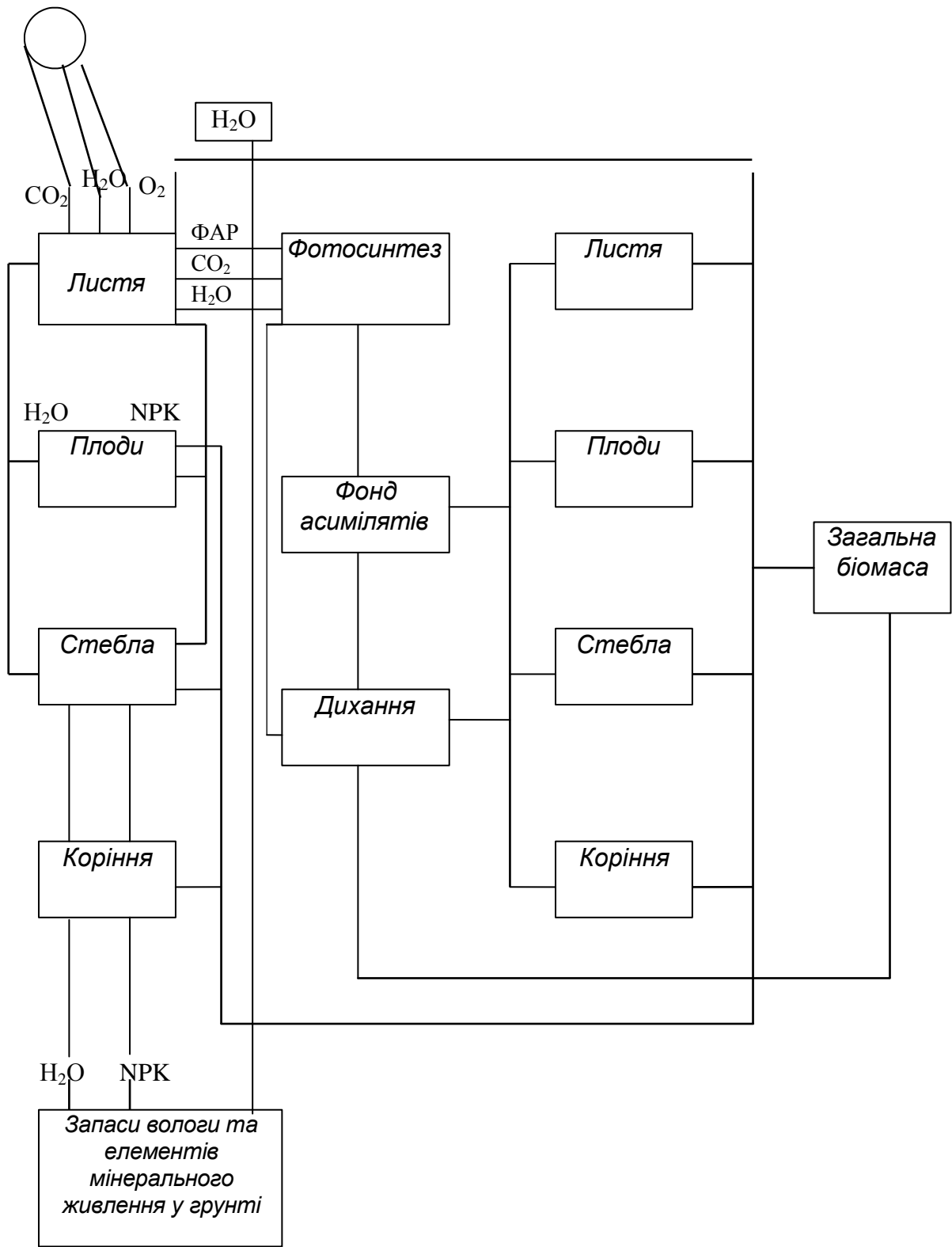


Рис. 5.3. Блок-схема продукційного процесу

Рослини, поглинаючи листками з атмосфери CO₂ і кореневою системою воду з ґрунту, створюють в процесі *фотосинтезу* під впливом енергії сонячної радіації органічну речовину у вигляді асимілятів.

Одночасно відбувається транспірація, яка відповідальна за забезпечення рослин водою і елементами мінерального живлення і за регуляцію теплового режиму рослин. В залежності від інтенсивності ФАР, водного і температурного режимів, швидкості вітру, концентрації CO₂ у повітрі, родючості ґрунту та видових особливостей рослин процес фотосинтезу може йти з більшою або меншою швидкістю.

Інший фундаментальний процес – *дихання*, яке забезпечує постачання енергією різних біохімічних процесів синтезу, пов'язаних із ростом, побудовою нових структурних елементів рослин і з транспортом речовин, а також підтримкою життєдіяльних структур органів рослин. При цьому витрачаються органічні речовини, накопичені в органах рослин.

Третій фундаментальний процес – *ріст*.

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

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

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

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

$$\Delta M = M_2 - M_1. \quad (5.33)$$

Приріст сухої фітомаси не є вичерпною характеристикою при оцінці росту органів рослин, оскільки не враховує хімічний склад фітомаси.

Приріст сухої маси відбувається за якийсь інтервал часу Δt , тому вживається поняття *абсолютної швидкості росту*

$$\Delta M / \Delta t = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1) \quad (5.34)$$

і *відносного приросту*

$$R_r = (M_2 - M_1) / [\bar{M}(t_2 - t_1)], \quad (5.35)$$

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

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

$$E_{n.ф.} = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta M}{\Delta t}, \quad (5.36)$$

де L_0 – середня сумарна площа листя рослини за період Δt .

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

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

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

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

- формується оптимальний за розмірами і по тривалості роботи фотосинтетичний апарат;
- досягається найкраща за інтенсивністю та за якісною спрямованістю його робота в різних фазах росту та розвитку рослин;
- забезпечується найкраще використання продуктів фотосинтезу з найменшими їхніми витратами на процеси загального метаболізму та росту;

– хід цих процесів підтримується оптимальним співвідношенням чинників навколишнього середовища: світла, тепла, вологи, вуглекислого газу та елементів мінерального живлення.

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

5.7. Рівняння росту рослин

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

$$M + \Delta m_{on} = \Phi L \tau - R M_1 \tau_1, \quad (5.37)$$

де M – суха маса всієї рослини за період, що розглядається;

Δm_{on} – маса відмерлих та опалих частин органів за цей час;

Φ – інтенсивність фотосинтезу;

L – площа асимілюючої поверхні;

τ – тривалість світлого часу доби;

R – інтенсивність дихання;

M_1 – маса органів;

τ_1 – час дихання.

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

$$\frac{dM}{dt} = \varepsilon(\bar{\Phi} - \bar{R}), \quad (5.38)$$

де M – суха біомаса;

$\bar{\Phi}$ – сумарний фотосинтез;

\bar{R} – сумарне дихання рослини;

ε – емпіричний коефіцієнт пропорціональності між кількістю засвоєного CO_2 і накопиченою біомасою.

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

$$\frac{DM_j}{dt} = \varepsilon_{\Phi} \sum_{i=1}^4 A_{ij} \overline{\Phi_{ci}} - \varepsilon_R \overline{R_{cj}} - V_j + M \sum_{i=1}^4 B_{ij}, \quad (5.39)$$

де i та j – органи рослини (1 – листя, 2 – стебла, 3 – корені, 4 – репродуктивні органи);

M_j – суха маса органа j ;

ε_{Φ} – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;

ε_R – коефіцієнт ефективності дихання;

$\overline{\Phi_{ci}}$ – сумарний фотосинтез органа i за добу;

$\overline{R_{cj}}$ – сумарне дихання органа j за добу;

V – втрати сухої фітомаси за добу внаслідок її опадання;

M – сумарна суха маса рослин;

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

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

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

$$\frac{\Delta m_j}{\Delta t} = A_j \frac{\Delta M}{\Delta t} + MB_j, \quad (5.40)$$

де $\sum A_j = 1$ та $\sum B_j = 0$.

В роботах Х.Г. Тоомінга рівняння Ю.К. Росса трохи модифіковане. Він включив у рівняння (5.39) замість $\Delta M/\Delta t$ добовий газовий обмін посіву і одержав таке рівняння

$$\frac{\Delta m_j}{\Delta t} = \varepsilon A \left[\begin{array}{c} \int_{t+1}^{L_0(t)} \\ \int_t^0 \end{array} \right] \int (\Phi_1 - R_1) dL d\tau - \sum_{i=2}^n R_c \left[\begin{array}{c} n \\ i=2i \end{array} \right] + MB_j, \quad (5.41)$$

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

t – тривалість світлого часу доби.

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

$$b_j = \frac{\Delta m_j}{\Delta t} \cdot \frac{1}{\tilde{m}_j}, \quad (5.42)$$

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

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

$$\frac{\Delta \tilde{m}_j}{\Delta t} = \frac{\Delta m_j}{\Delta t} \geq 0. \quad (5.43)$$

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

$$\frac{\Delta \tilde{m}_j}{\Delta t} = - \left(\frac{\Delta m_j}{\Delta t} \frac{1}{k_s} \right), \quad (5.44)$$

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

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

$$\begin{aligned} \frac{\Delta m_i^j(p)}{\Delta t} &= \frac{\beta^j \Phi^j}{1 + c_{Gi}} - \frac{(\alpha_{Ri}^j c_{mi}^j \varphi_R^j + \mathcal{G}_i^j) \tilde{m}_i^j}{1 + c_{Gi}}, \\ \frac{\Delta m_p^j}{\Delta t} &= \frac{\beta^j \Phi^j}{1 + c_{Gi}} - \frac{\left(\alpha_{Rp}^j c_{mp}^j \varphi_R^j m_p^j - \sum_{i \sim j} \mathcal{G}_i^j m_i^j \right)}{1 + c_{Gp}}, \\ \frac{\Delta m_g}{\Delta t} &= \frac{g_{\max}}{k_g} \cdot \frac{p}{k_g + \Delta \tilde{m}^j / \Delta t}, \end{aligned} \quad (5.45)$$

де $\frac{\Delta m^j}{\Delta t} = i(p)$
органа;

—
приріс
т
біомас
и i -го
вегетат
ивного
(репро
дуктив
ного)

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

$\Delta m_g / \Delta t$ – приріст сухої біомаси зерна;
– максимально можлива в реальних умовах швидкість

$\Delta m_{g_{\max}} / \Delta t$
приросту сухої біомаси зерна;

β_i – ростова функція вегетативного періоду;

β_r – ростова функція репродуктивного періоду;

c_{Gi} – коефіцієнт дихання росту;

α_R – онтогенетична крива дихання;

c_{mp} – коефіцієнт дихання підтримки;

ϕ_R – температурна крива дихання;

k_g – константа Міхаеліса-Ментен;

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

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

Контрольні питання

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агроекологія. Навчальний посібник / О.Ф. Смаглій, А.Т. Кардашов, П.В. Литвак та ін. – Київ: Вища освіта, 2006. – 671 с.
2. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Підручник. Одеса: ТЕС, 2012. – 628 с.
3. Польовий А.М., Гуцал А.І., Дронова О.О. Грунтознавство. Підручник. Одеса: Екологія, 2013. – 667 с.
4. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем. Підручник. Одеса: Екологія, 2013. – 430с.
5. Польовий А.М., Божко Л.Ю. Біологічні й екологічні основи продуктивності агроєкосистем. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. – 278 с.
6. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур.– Л.: Гидрометеиздат, 1983.– 175 с.
7. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.
8. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистемы. –Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.
9. Росс Ю.К. Система уравнений для количественного роста растений. //В кн.: Фитоактинометрические исследования растительного покрова. – Таллин: Валгус, 1967. – С. 64–68
- 10.Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 167 с.
- 11.Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
- 12.Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264с.

Навчальне електронне видання

Польовий Анатолій Миколайович
Формування та функціонування агроєкосистеми

Конспект лекцій

Видавець і виготовлювач
Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, м.Одеса, 65016
тел./факс: (0482) 32-67-35
E-mail: info@odeku.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5242 від 08.11.2016