



Tempus

С.М. Свидерська

ЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗЕМЛЕРОБСТВА ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА РАДІОЕКОЛОГІЯ

Конспект лекцій

Одеса

2013

Міністерство освіти і науки України
Одеський державний екологічний університет

С.М. СВИДЕРСЬКА

ЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗЕМЛЕРОБСТВА ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА РАДІОЕКОЛОГІЯ

Конспект лекцій



511390-TEMPUS-1-2010-1-SK-TEMPUS-JPCR

Одеса
2013

ББК 45.2С24
С 24
УДК 63:504.7

Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного
екологічного університету (протокол № 10 від 29.11.2012 року)

Свидерська С.М.

Екологічні основи землеробства та сільськогосподарська радіоекологія:
Конспект лекцій. – Одеса, 2013. – 216с.

У конспекті лекцій з дисципліни "Екологічні основи землеробства та сільськогосподарська радіоекологія" викладено основні знання про раціональне використання землі та захист її від ерозії, про закономірності відтворення родючості ґрунту і заходи його ефективного використання для одержання високих і сталих врожаїв, про методи регулювання водного, поживного, повітряного і теплового режимів ґрунту, раціональні сівозміни, заходи щодо усунення чи ослаблення дії негативних факторів, які призводять до зниження врожаїв. Особлива увага приділяється математичному моделюванню міграції радіонуклідів в агроценозах.

Видання підготовлено в рамках проекту 511390-TEMPUS-1-2010-1-SK-TEMPUS-JPCR «Система управління для навчальних програм, пов'язаних із вивченням навколишнього середовища».

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

The summary of lectures in the discipline of 'Environmental Fundamentals of Farming and Agricultural Radioecology' contains basic information on: sustainable use of land and protection of it from erosion; patterns for regeneration of soil fertility and measures for efficient land use aimed at obtaining high and sustained yields; methods for regulation of water, nutrition, air and temperature regimes of the soil; reasonable crop rotations; measures for elimination or mitigation of negative influences causing decline in yields. Particular attention is given to mathematical modelling of radionuclide migration in agroecosystems.

The publication is prepared within the framework of 511390-TEMPUS-1-2010-1-SK-TEMPUS-JPCR 'Environmental Governance for Environmental Curricula' EC TEMPUS IV project.

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

ВСТУП

Адаптація землеробства до місцевих умов – історичний процес, який протікав століттями. Наукове його осмислення знайшло віддзеркалення в роботах класиків російської агрономії вже в першій половині минулого століття, а в працях В.В. Докучаєва [24,25,26] на основі аналізу суперечностей інтенсифікації землеробства був обґрунтований ландшафтний підхід до землекористування. Ейфорія індустріалізації, хімізації і меліорації затримала його розвиток. Проте наслідки безцеремонного і часто некомпетентного втручання в природні екосистеми проявилися в такій мірі, що світова громадська думка все більш активно схиляється до необхідності екологізації всієї господарської діяльності. Тільки на основі розуміння екологічних законів в поєднанні з сильною економікою проінформоване суспільство може створити оптимальну систему природокористування.

В.В. Докучаєв, В.І. Вернадський, їхні учні і послідовники, включаючи сучасників, закладали основи раціонального природокористування. На жаль, в умовах жорсткої розподільної системи практична їх реалізація дуже відставала від наукового потенціалу. В західних країнах суперечності землекористування також насильно піддавалися регулюванню, хоча причина була інша – панування приватної власності на землю.

Так чи інакше, процес адаптації землеробства до природних умов розвивався. Проектно-картографічна основа, на яку накладалася господарська діяльність в АПК, ставала все більш рельєфною. Якнайповніше використання наукового потенціалу і узагальнення практичного досвіду було досягнуто при розробці й освоєнні зональних систем землеробства. Імпульсом до цієї роботи послужило створення ґрунтозахисної системи А.І. Бараєва [79], яка інтегрувала досягнення північноамериканського і досвід сибірського землеробства, примножений роботами Т.С. Мальцева [62], а також ініціативи досить численних зональних науково-дослідних центрів.

При всій своїй важливості створення зональних систем землеробства далеко не вичерпало існуючі наукові розробки до адаптації землеробства, не говорячи вже про істотні їхні недоліки, які будуть розглянуті пізніше. Соціально-економічні умови і екологічні суперечності, що загострилися та різко змінилися, викликають необхідність подальшої адаптації землеробства вже не тільки до природних умов, але і до нових виробничих відносин. В цій ситуації методи розробки і проектування систем землеробства, що склалися, вже недостатні.

Існуючі ґрунтово-картографічні матеріали не відображають в належній мірі геолого-геоморфологічні, літологічні, мікрокліматичні особливості території та структурні різноманітності ґрунтового покриву,

не говорячи вже про функціональні зв'язки в агроландшафтах, стосовно яких повинна поглиблюватися диференціація землеробства.

На щастя, є певні наукові передумови для вирішення цієї задачі. До них слід віднести ті, що склалися в 50-60-х рр. минулого століття, вчення про ландшафти і досягнення регіонального ландшафтознавства [1,35,36], геохімії ландшафтів [12,16], ландшафтної екології [90], сільськогосподарської типології земель [82], вчення про структуру ґрунтового покриву [96], матеріали природно-сільськогосподарського районування [29,83], розвиток уявлень про адаптивний потенціал рослин, досягнення контурно-меліоративного землеробства, проблематика якого підштовхнула розвиток ландшафтного землеробства в цілому, нарешті, концепції адаптивно-ландшафтної інтенсифікації землеробства, які розвиваються останніми роками [30,42].

Багато з цих робіт, особливо в області ландшафтознавства, практичної реалізації не отримало. Одна з причин – роз'єднаність географів, агрономів, землевпорядників, кліматологів, ґрунтознавців та інших фахівців, які говорять на різних професійних мовах. Інтеграція цих досягнень дозволила б наблизитися до задачі створення адаптивно-ландшафтного землеробства і екологізації агропромислового виробництва в цілому.

Розгляду методологічних підходів до її вирішення, виходячи з принципів системності, альтернативності, енергозбереження, стійкості, нормативності, відповідності землеробства новим виробничим відносинам в оптимальній системі природокористування присвячений цей конспект лекцій, що є розвитком раніше запропонованої концепції [43].

РОЗДІЛ 1

1. АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗЕМЕЛЬ

1.1 Агроекологічна оцінка геоморфологічних і літологічних умов

Геоморфологічні процеси мають найактивніший вплив на диференціацію ландшафтів. Вони формують скульптуру земної поверхні, створюючи безліч різноманітних макро-, мезо- і мікроформ рельєфу, елементарних ділянок, які розрізняються по взаємному розташуванню (вершини, різні ділянки схилів, підніжжя), відносній висоті, експозиції, крутизні і формі схилу. Кожному місцеположенню відповідає певна сукупність умов місцеперебування. Всі вони в тій чи іншій мірі були пов'язані певними потоками енергії і речовин. Тому агроекологічну характеристику геоморфологічних умов об'єкта агропромислового виробництва потрібно здійснювати в структурній ієрархії ландшафту від генетичного типу рельєфу до його елемента.

Відома різноманітність рельєфу зводиться до таких морфолого-генетичних типів: гірський (структурно-тектонічний), структурний (пластовий), скульптурний (ерозійний) і акумулятивний (насипний).

Гірський тип рельєфу був представлений підтипами високогірного, альпійського, середньогірського, низькогірського, сельгового.

Структурний (пластовий) рельєф, розвинений на горизонтально розташованих пластах осадових порід, які володіють значною стійкістю по відношенню до ерозії, розділяється на підтипи: плоскогір'я, плато, куести.

Скульптурний (ерозійний) тип рельєфу включає рівнини, утворені розмивом – лінійною річковою ерозією, площинним змивом і морською абразією.

Акумулятивний (насипний) тип рельєфу обумовлений накопиченням рихлих мас молодих четвертних відкладень в областях заглиблення.

За висотою рівнини ділять на низовини, розташовані нижче 200 м над рівнем моря, і більш високо розташовані – плато.

На рівнинах і плато знаходяться як підвищені, так і понижені місця. До підвищених відносяться пагорби, горби, гриви, пасма, ували; до понижених – балки, яри, карстові пониження та ін. Ці форми рельєфу, які займають площу, що вимірюється десятками або сотнями квадратних метрів, з коливаннями висот в межах від одного до декількох десятків метрів, відносяться до категорії мезорельєфу.

Пагорбом називається невелике підвищення округлої форми з широкою основою, яке поступово зливається з рівниною. Висота пагорбів

над рівниною звичайно знаходиться в межах 40-80 м, але іноді досягає 100 і навіть 200 м.

Горб відрізняється від пагорба меншою висотою (10-25 м), меншим діаметром основи і більш крутими схилами.

Грива, пасмо, увал – підвищення подовженої форми, довжина яких у декілька разів перевищує ширину, висота ж відповідає висоті горбів.

Слід особливо розрізняти форми льодовикового пасмового рельєфу, до яких відносяться озимих – довгі (до 30-40 км), звивисті вали заввишки 25-50 м, складені переважно моренним і флювіогляціальним піщано-валунним матеріалом і друмлини – витягнуті в одному напрямі довгасто-овальні пагорби, що утворилися внаслідок виорювання льодовиком донної морени і тому складені моренними валунними суглинками і пісками.

На рівнинах виявляються різні форми мікрорельєфу, які займають невеликі площі (від одного до декількох сотень квадратних метрів), з коливаннями відносних висот в межах 1 м. Це горбики і пагорки, утворені викидами землерийків, торф'яні горби верхових боліт, купини трав'яних боліт, степові западини і блюдця, улоговини передярів, ерозійні вимоїни.

Найдрібніші форми рельєфу, діаметр яких коливається в межах від декількох сантиметрів до 0,5-1 м, висота досягає 30 см, відносяться до нанорельєфу.

Важливими в агрономічному відношенні критеріями оцінки рельєфу є абсолютні висоти, горизонтальні та вертикальні розчленованості території, форми і експозиції схилів.

1.1.1 Абсолютна висота над рівнем моря

Із зміною абсолютної висоти була пов'язана зміна процесів, які визначають вертикальну зональність ландшафтів. Вона зумовлена зменшенням з висотою густини, тиску, температури, пиловмісту повітря.

Атмосферний тиск убиває на 1 мм рт. ст. на кожні 11-15 м висоти, температура повітря знижується в середньому на 5-6°C на кожен кілометр висоти. Кількість хмар до деякої висоти зростає, що призводить до існування поясу максимальних опадів і до зменшення їх на більш високих рівнях. Відповідно змінюються майже всі компоненти природного комплексу: ґрунти, рослинність і т.д.

Вплив абсолютної висоти на клімат і ґрунти позначається не тільки в гірських країнах з вертикальною зональністю, але і на рівнинах з коливанням висот менше 250-300 м. Для височин Європейської території Росії кожні 100 м висоти збільшують річну кількість опадів на 10-12 % в порівнянні з середньою сумою опадів на рівнині.

Вплив шорсткості поверхні на осідання на цих височинах складає 6–9 % за рік (30-40 мм/100 м). Сумарний вплив обох чинників складає 18 %

суми опадів на рівнині [84]. Різниця висот в межах мезорельєфу істотно впливає на температурний і вітровий режими різних його ділянок.

1.1.2 Оцінка розчленованості території

Основи диференціації ерозійного рельєфу центральних областей Росії були розроблені А.С. Козменком [50], який виділяє за умов водозбору вододільні, привододільні, присітьові і гідрографічні землі. Найбільш розчленована гідрографічна мережа, яка представлена стародавніми ланками (улоговини, лощини, балки, долини), що склалися в післятретинний льодовиковий період, коли йшов процес інтенсивного ерозійного руйнування території талими водами льодовиків, і сучасними утвореннями (вимоїни і яри).

Гідрографічна мережа у верхній її частині починається улоговинами. Це лінійна форма рельєфу з пологими берегами глибиною до 1 м без ознак брівки і русла. В ній починається концентрація води. Водозбірна площа улоговини до 50 га. Вона представляє слід первинного розмиву стародавньої породи, заповнений відкладами дрібнозему, змитими з оточуючих її схилів. З наявністю улоговин доводиться рахуватися при розміщенні культур і виборі агротехніки. Весною по улоговинах течуть талі води. Г.П. Сурмач [90] дав таку класифікацію інтенсивності цього явища: улогованість рідка – на 1 км поперечної відстані схилу припадає менше трьох улоговин, помірна – 3-5 улоговин, часта – 6-10 улоговин, дуже часта – більше 10 улоговин.

Вниз по схилу улоговина перетворюється в лощину. Вона має ясно виражене дно, більш високі та круті береги ($6-12^\circ$ і більше). Глибина до 8-10 м, ширина до 40-60 м, водозбірна площа до 500 га. З просуванням нижче по схилу лощина розширюється і впадає в балку або сама стає нею.

Балка має широке дно, виражені брівки. Ширина її 60-200 м, глибина до 15-20 м, площа водозбору до 3000 га. Поступово розширюючись і заглиблюючись, балки впадають у річкові долини з постійним водним потоком.

До сучасних утворень відносяться вимоїни і яри. Всю різноманітність ярів прийнято об'єднувати в дві великі групи: первинні і вторинні. Первинні сформувалися на присітьових і привододільних схилах в результаті нерегульованого поверхневого стоку. Їх називають схиловими. Вторинні яри сформувалися на ланках стародавньої гідрографічної мережі: донні – в результаті розмиву днища лощин або балок, берегові – на берегах балок або річкових долин, вершинні – біля привершинних частин балок.

Прилеглий до гідрографічної мережі присітьовий фонд земель з нахилами $3-9^\circ$ характеризується тим, що поверхневий стік на них

здійснюється не концентрованими потоками, а дрібними струменями і струмками, розчленованими по схилу. На ріллі розвиваються переважно процеси змиву, а розмив представлений у вигляді окремих вимоїн і ровів, які приурочені до найбільш виражених улоговин. Велике їх розповсюдження на схилах крутизною більше 3° (0,05) служить показником їх приналежності до присітьового фонду. Ухил в 3° є звичайно критичним. При його перевищенні на ріллі істотно посилюються змив і дрібноструминний розмив. Вище за присітьові землі розташовуються землі привододільного фонду, більш пологі. Самі по собі вони слабо еродують, проте накопичення снігу, талих і дощових вод спричиняє стік і розмив на землях присітьового і гідрографічного фондів. Тому тут необхідне проведення заходів щодо затримання і уповільнення стоку вод, регулюванню сніговідкладення і сніготанення.

Для характеристики вертикальної і горизонтальної розчленованості території використовують ряд показників.

Ступінь вертикального розчленування території характеризується глибиною розчленування рельєфу, що відображає перевищення вододілів над базисами ерозії всередині елементарних басейнів.

Цей показник визначається як різниця найбільшої і найменшої абсолютних висот по кожному елементарному басейну. За елементарний басейн приймають басейн кожного одиничного водотоку з постійною або пересихаючою течією (або басейн одиничного озера). Для карт глибини розчленування рельєфу була прийнята шкала відносних висот з такими ступенями:

Ступінь	Відносна висота, м	Ступінь	Відносна висота, м
1	< 5	5	50-100
2	5-10	6	100-200
3	10-25	7	200-300
4	25-50	8	300-500

Відповідно до цієї шкали для рівнинного рельєфу найбільш типові ступені 1-5, для передгір'я 3-6, для середньогірського рельєфу 4-6, для високогірного 6-8.

Горизонтальне розчленування рельєфу характеризується довжиною гідрографічної мережі на 1 км² площі, а також середньою шириною водозбірного басейну.

Перший показник, названий *коефіцієнтом розчленованості території*, визначається за формулою

$$l = L / P, \quad (1.1)$$

де L – загальна довжина гідрографічної мережі, км;

P – площа, в межах якої змінюється довжина гідрографічної мережі, км².

Із збільшенням цього коефіцієнта зростає площа змитих ґрунтів. Наприклад, при коефіцієнті розчленованості 0,3 змиті ґрунти можуть складати 10 %, при розчленованості 0,6 – 25 % і т.д. В районах, які зазнають сильної ерозії, цей коефіцієнт досягає 1,1 – 1,8.

Даний показник не застосовується для визначення густоти розчленування в районах з нелінійним (озерним, горбистим та ін.) розчленуванням.

Другий показник – ширина водозбірного басейну або середня відстань між сусідніми тальвегами річкової (ерозійної) мережі – визначається за формулою

$$a = P / L, \quad (1.2)$$

де a – середня відстань між сусідніми тальвегами в межах площі P , км.

Для районів з переважанням нелінійного розчленування – озерного, пагорбного, горбистого, западинного та інших, використовують формулу

$$a = P / K, \quad (1.3)$$

де a – середня відстань між сусідніми зниженнями в межах площі P , км;

K – загальна кількість знижень (озер, западин) або підвищень (горбів, грив) в межах площі P .

Разом з показниками загальної розчленованої території використовують критерії ступеня її пошкодження сучасними формами лінійної ерозії. Це коефіцієнти яристості та густоти ярів.

Коефіцієнт яристості – відношення площі ярів (га) до площі земельного фонду, км².

Про ступінь розвитку ерозії яру судять також по сумарній протяжності ярів на 1 км² площі. Відповідно розрізняються слабкий (менше 0,25 км/км²), середній (0,25-0,50), сильний (0,50-0,75) і дуже сильний (більше 0,75) ступені розвитку ерозії.

Ці категорії не відображають повного ступеня ураження території ярами, оскільки при одному і тому ж коефіцієнті яристості може припадати різна їх кількість на одиницю площі. Тому був введений коефіцієнт щільності ярів, що означає кількість ярів на площі 1 км² земельного фонду.

Всі коефіцієнти обчислюють окремо для загальної водозбірної площі і для гідрографічної мережі. Тільки в цьому випадку досягається об'єктивна оцінка характеру і ступеня розчленованості даної місцевості.

Для Середньоруської височини, наприклад, середня розчленованість водозбірних басейнів ложинно-балковою ланкою становить 0,92 км/км². При близьких величинах цього показника в басейнах річок

розчленованість водозборів безпосередньо мережею ярів змінюється від 0,14 до 0,87 км/км². Середній коефіцієнт яристості на цій височині рівний 0,6 га/км², середня щільність ярів на яристо-балочних системах 14,1 на 1 км².

1.1.3 Класифікація і оцінка схилів

Найважливішими характеристиками рельєфу, від яких залежать стік і ерозія ґрунтів, є форма, крутизна, довжина і експозиція схилів.

За формою схили підрозділяють на прямі, опуклі і увігнуті. Прямі схили характеризуються плавним нахилом від вершини до підосви і відповідно поступовим наростанням руйнівної сили води. Значний змив появляється приблизно від середини схилу.

На опуклих схилах ерозія сильніше виявляється в нижній частині, де найбільша крутизна. В нижніх частинах таких схилів сильно виражена улогованість. На увігнутих схилах ерозія сильніше була виражена у верхній, більш крутій частині. Донизу вона зменшується, відбувається акумуляція змитого ґрунту. За ступенем ерозійної небезпеки схили знаходяться приблизно в такому співвідношенні: прямий – 1; опуклий – 1,25-1,5; увігнутий – 0,5-0,75.

Визначальну роль у формуванні стоку має крутизна схилу. Порогова її величина, при якій починається ерозія, дуже розрізняється в залежності від літології ґрунтоутворювальних порід і ряду інших умов. Тому єдиної класифікації схилів в даному відношенні бути не може, проте, склалися деякі усереднені уявлення з цього приводу.

Для тайгово-лісової зони інтервал 0-1° характеризує підвищену вірогідність перезволоження, вираженість мікрорельєфу, появи в структурі ґрунтового покриву оглеєних компонентів.

Інтервал від 1 до 3° характеризує найсприятливіші умови дренажу, але якщо до 2° ґрунтовий покрив найбільш однорідний, то після 2° виявляється наявність початкових форм лінійної ерозії і потрібне обмеження частки просапних культур у сівозміні. В інтервалі нахилів 3-5° спостерігається значний розвиток ерозійних процесів. Використовування таких земель в ріллі повинно здійснюватися в системі протиерозійних заходів з виключенням просапних культур. При ухилах 5-8° практикуються ґрунтозахисні сівозміни. На схилах крутіше 8° переважає сінокісно-пасовищне використання земель.

В процесі аналізу рельєфу виділяються елементи лінійного розчленовування (долинно-балочної мережі): заплави і низькі тераси малих річок, днища і схили крупних балок і лощин, невеликі улоговини. Враховуються локальні замкнуті форми: позитивні (дрібні пагорби, горби), негативні (замкнуті депресії, западини).

Різноманітність елементів рельєфу визначає складну картину перерозподілу агрокліматичних ресурсів і формування мікроклімату.

1.2 Оцінка агрокліматичних умов

1.2.1 Сонячна радіація, ФАР

Температура повітря, ґрунту і рослини завжди залежить від кількості сонячної радіації, яка падає на дану площу. Сумарна сонячна радіація включає пряму, що надходить безпосередньо від Сонця, і розсіяну, яка надходить від небосхилу в результаті розсіяння сонячної радіації атмосферою. Частина сумарної сонячної радіації відбивається від земної поверхні, інша частина перетворюється на тепло.

Інтенсивність радіації залежить від характеру підстильної поверхні, хмарності, а також висоти Сонця і пори року. Пряма сонячна радіація змінюється під впливом, як експозиції, так і крутизни схилу. Розсіяна радіація на схилах невеликої крутизни будь-якої орієнтації не відрізняється від розсіяної радіації, яка приходить на горизонтальну поверхню.

Найбільші відмінності спостерігаються в приході прямої радіації на північні і південні схили. При збільшенні кута нахилу до південних схилів величина її зростає. Північні схили протягом всього року одержують прямої радіації менше ніж горизонтальна поверхня, і зі збільшенням кута нахилу її величина зменшується. З півдня на північ відмінності в приході прямої радіації до північних і південних схилів зростають. Найбільше додаткової сонячної радіації одержують південні схили ранньою весною і пізньою осінню, коли сонце стоїть невисоко.

Східні і західні схили крутизною до 20° одержують за добу приблизно стільки ж або навіть менше за пряму сонячну радіацію, ніж горизонтальна поверхня. Із збільшенням крутизни надходження тепла від Сонця до східних і західних схилів дещо зменшується.

Величина сумарної сонячної радіації, що надходить на горизонтальну поверхню, наведена в довідниках по клімату, а розрахунок на похилі поверхні різних експозицій і крутизни виконують за допомогою спеціальних коефіцієнтів (табл. 1.1).

Рослини в процесі фотосинтезу засвоюють частину прихідної енергії Сонця, яка називається фотосинтетичною активною радіацією (ФАР). Це світлове проміння з довжиною хвилі від 0,38 до 0,71 мкм. Величину ФАР можна розрахувати за формулою

$$\Phi AP = 0,43 S + 0,57 D, \quad (1.4)$$

де S – пряма радіація, яка надходить на горизонтальну поверхню;
 D – розсіяна радіація.

Посіви із структурою, близькою до оптимальної, за вегетацію поглинають 50-60 % падаючої на них ФАР. Частину її, що використовується рослинами для фотосинтезу і виражається у відсотках, називають коефіцієнтом використання ФАР або коефіцієнтом корисної дії ФАР. За даними О.О. Ничипоровича, посіви сільськогосподарських культур по використуванню ФАР можна розділити на такі групи: звичайні – 0,5-1,5 %, хороші – 1,5-3,0 % рекордні – 3,5-5,0 % і теоретично можливі – 6-8 %.

Для розрахунку потенційної урожайності по прихожій ФАР користуються формулою

$$Y_{\text{біол}} = \frac{\sum Q_{\text{фар}} K_{\text{фар}} D_{\text{н.м}}}{10^5 q}, \quad (1.5)$$

де $Y_{\text{біол}}$ – біологічна урожайність абсолютно сухої рослинної маси, т/га;
 $\sum Q_{\text{фар}}$ – кількість прихідної ФАР, за період вегетації культури, млн. МДж/га;

$K_{\text{фар}}$ – запланований коефіцієнт використання ФАР, %;

$D_{\text{н.м}}$ – частка надземної маси, %;

q – кількість енергії, що виділяється при спалюванні 1 кг сухої речовини біомаси (16,76 МДж);

10^5 – коефіцієнт для перерахунку в тонни.

Залежно від довжини вегетаційного періоду величини прихідної ФАР дуже розрізняються: в приполярних зонах прихід її відповідає 0,42-0,63 млн МДж/га, а на Північному Кавказі 2,52-2,94 млн МДж/га, що зумовлює різну кількість можливого накопичення біомаси. В табл. 1.2 наведена біологічна урожайність при ККД ФАР 3 %.

Таблиця 1.2 – Сума ФАР на різних географічних широтах

Географічна широта, град	Прихід ФАР млн МДж/га	3 % використання ФАР, ккал/га	Можлива біологічна урожайність, т/га
0-10	3,75-2,51	113-75	67-45
10-20	3,35-2,09	100-63	60-38
20-30	2,93-2,01	88-60	33-36
30-40	2,01-1,34	60-40	36-24
40-50	1,34-0,87	40-26	24-16
50-60	0,92-0,75	28-23	17-14
60-70	0,84-0,50	25-15	15-9

Таблиця 1.1 – Відносне значення добових сум сонячної радіації на схилах різної експозиції (коефіцієнт K_S)

Широта, град	Крутизна 5°						Крутизна 10°						Крутизна 20°					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Північний схил																		
46	0,94	0,97	0,98	0,98	0,96	0,92	0,87	0,92	0,94	0,94	0,89	0,82	0,72	0,83	0,87	0,86	0,78	0,63
54	0,93	0,96	0,98	0,97	0,94	0,90	0,84	0,90	0,92	0,92	0,88	0,77	0,65	0,79	0,84	0,82	0,72	0,53
62	0,90	0,95	0,97	0,97	0,92	0,87	0,80	0,89	0,92	0,90	0,85	0,70	0,57	0,76	0,81	0,78	0,66	0,40
Південний схил																		
46	1,05	1,02	1,01	1,02	1,04	1,08	1,08	1,03	1,01	1,02	1,06	1,13	1,15	1,05	1,01	1,02	1,10	1,24
54	1,07	1,03	1,02	1,02	1,05	1,10	1,12	1,05	1,03	1,04	1,09	1,18	1,23	1,10	1,04	1,07	1,17	1,35
62	1,09	1,04	1,02	1,02	1,06	1,13	1,16	1,07	1,05	1,06	1,13	1,24	1,32	1,15	1,07	1,10	1,23	1,49
66	1,11	1,05	1,03	1,03	1,06	1,15	1,18	1,09	1,06	1,07	1,14	1,28	1,37	1,17	1,08	1,11	1,26	1,56
Східний схил																		
46							0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96
54							1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,97	0,97	0,98	0,99
62							1,01	1,01	1,00	1,00	1,01	1,01	1,00	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00
Західний схил																		
46							0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,94	0,93	0,94	0,94	0,95
54							0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,94	0,93	0,94	0,94	0,95
62							1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,97	0,97	0,96	0,97	0,98	0,99

Примітка. Римськими цифрами позначені місяці. Коефіцієнт K_S для східних і західних схилів крутизною 5° дорівнює 1,00.

1.2.2 Теплозабезпеченість земель

Для оцінки температурного режиму великих територій застосовують характеристики, які дають уявлення про загальну кількість тепла за рік або за окремі періоди, а також про річний і добовий хід температури повітря. До них відносяться середні добові, середні місячні і середні річні температури, максимальні і мінімальні температури, амплітуда добового ходу температури, сума температур.

За умов теплозабезпеченості, що відображаються сумами активних температур (вище 10°C), в природно-сільськогосподарському районуванні земельного фонду Росії [20] виділяють три пояси: холодний ($<1600^{\circ}\text{C}$), помірний ($1600\text{--}4000^{\circ}\text{C}$) і теплий субтропічний (більше 4000°C).

Залежно від характеру промерзання ґрунту і середньорічної температури В.Н. Димо було виділено чотири типи температурного режиму ґрунтів.

1. Мерзлотний, характерний для районів з вічною мерзлотою, середньорічна температура ґрунту негативна.

2. Тривало сезоннопромерзлий, з тривалістю промерзання не менше 5 місяців, середньорічна температура ґрунту позитивна. Температура на глибині 0,2 м найхолоднішого місяця негативна.

3. Сезоннопромерзлий з тривалістю сезонного промерзання від декількох днів до 5 місяців; глибина проникнення негативних температур не більше 2 м.

4. Непромерзлий, при якому негативні температури ґрунту відсутні або тримаються від одного до декількох днів.

Термічні характеристики фаціальних підтипів ґрунтів наведені в табл. 1.3.

Сума активних температур має екологічне значення, виражаючи зв'язок рослини з навколишнім середовищем. Характеризуючи нею теплові ресурси тієї або іншої території, необхідно знати забезпеченість сум активних температур, тобто повторюваність всіх значень вище або нижче певної межі, яка визначається по кривій Ф.Ф. Давітая [88].

Для зручності розрахунків можна користуватися табл. 1.4, складеної на основі цієї кривої. Дані табл. 1.4, слід розуміти так: при середній сумі температур, наприклад, 3600°C вона змінюється в окремі роки від 3000 до 4200°C , тобто в цьому районі не буває років з сумою температур менше 3000°C і більше 4200°C . На 70 % забезпечена сума більше 3500°C , тобто в 7 роках із 10 в цьому районі мають місце суми температур не нижче вказаної величини.

Прийнято вважати забезпеченість культури теплом близько 80-90 % хорошою, оскільки виробничий ризик в даному випадку невеликий (10-20 %).

Таблиця 1.3 – Термічні параметри фаціальних підтипів ґрунтів

Фаціальний підтип	Сума температур >10, °С		Тривалість періоду з негативною температурою ґрунту на глибині 0,2 м, міс.
	повітря	ґрунту на глибині 0,2 м	
Арктична мерзлота	0-300	0	>8
Субарктична мерзлота	300-500	0-400	>8
Субарктичний тривало промерзлий	300-500	0-400	5-8
Дуже холодна мерзлота	500-900	400-800	>8
Дуже холодний тривало промерзлий	500-900	400-800	5-8
Холодна мерзлота	900-1250	800-1200	>8
Холодний тривало промерзлий	900-1250	800-1200	5-8
Холодний промерзлий	900-1250	800-1200	2-5
Помірно холодна мерзлота	1250-1600	1200-1600	>8
Помірно холодний тривало промерзлий	1250-1600	1200-1600	5-8
Помірно холодний промерзлий	1250-1600	1200-1600	2-5
Помірно тривало промерзлий	1600-2000	1600-2100	5-8
Помірно промерзлий	1600-2000	1600-2100	2-5
Помірно теплий тривало промерзлий	2000-2500	2100-2700	5-8
Помірно теплий промерзлий	2000-2500	2100-2700	2-5
Помірно теплий короткочасно промерзлий	2000-2500	2100-2700	1-2
Теплий промерзлий	2500-3100	2700-3400	2-5
Теплий короткочасно промерзлий	2500-3100	2700-3400	1-2
Теплий періодично промерзлий	2500-3100	2700-3400	<1
Дуже теплий промерзлий	3100-3800	3400-4400	2-5
Дуже теплий короткочасно промерзлий	3100-3800	3400-4400	1-2
Дуже теплий періодично промерзлий	3100-3800	3400-4400	<1
Дуже теплий непромерзлий	3100-3800	3100-3800	0
Субтропічний короткочасно промерзлий	3800-4900	4400-5600	1-2
Субтропічний періодично промерзлий	3800-4900	4400-5600	<1
Субтропічний непромерзлий	3800-4900	4400-5600	0

Таблиця 1.4 – Забезпеченість сум температур вище 10 °С залежно від середньої багаторічної

Середньо-багато-річні суми температур >10, °С	Забезпеченість %										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
3600	3000	3280	3400	3500	3580	3640	3680	3730	3780	3860	4200
3200	2600	2880	3000	3100	3180	3240	3280	3330	3380	3460	3800
2800	2200	2480	2600	2700	2780	2840	2880	2930	2980	3060	3400
2400	1800	2080	2200	2300	2380	2440	2480	2530	2580	2660	3000

При забезпеченості культури теплом на 50-70 % необхідно вживати заходи для поліпшення термічних умов. Якщо ж культура в даних умовах забезпечена теплом менш ніж на 50 %, її обробіток не має сенсу. Із встановлення суми активних температур для тієї або іншої місцевості за період вегетації починається агроекологічна оцінка земель. Але для вирішення ряду питань необхідно знати, як швидко відбувається накопичення тепла весною і влітку, чому дорівнюють суми температур за окремими відрізки вегетаційного періоду (див. табл. 1.4).

Особливе значення має оцінка вірогідності пошкодження сільськогосподарських культур заморозками. Відомості про заморозки необхідні для розрахунків термінів сівби, вирішення питання про раціональне розміщення на території найбільш теплолюбних рослин, визначення вірогідності загибелі сходів польових культур, квіток і зав'язей плодових культур і т.д.

В залежності від процесів утворення виділяють три типи заморозків: *адвективні*, виникаючі в результаті надходження хвилі холоду з температурою нижче 0 °С; *радіаційні*, що утворюються в тихі ясні ночі в результаті інтенсивного нічного випромінювання підстильної поверхні, і *адвективно-радіаційні*. Останні найбільш небезпечні, вони утворюються в результаті вторгнення холодного повітря з півночі і його подальшого охолодження за рахунок нічного випромінювання.

Для заморозків радіаційного і адвективно-радіаційного походження дуже істотне значення мають мікрокліматичні умови, зумовлені рельєфом.

В умовах складного рельєфу охолоджене повітря як більш важке стікає по схилах і збирається в знижених частинах рельєфу у вигляді так званих «озер холоду». При цьому якнайменше заморозконебезпечні вершини і верхні частини схилів, з яких охолоджене повітря інтенсивно стікає і замінюється більш теплим. Середні частини схилів займають проміжне положення, оскільки приплив і стік повітря по схилу

врівноважується. Найхолодніші шари повітря розташовуються над дном зниження.

Таблиця 1.5 – Ступінь заморозконебезпечності окремих форм рельєфу в тихі ясні ночі

Форма рельєфу	Холодне повітря		Ступінь заморозконебезпечності, бали	Зміна мінімальної температури за ніч весною і восени, °С
	притік	стік		
Вершини, верхні і середні частини крутих схилів ($h > 50$ м, ухил 100).	Нема	Хороший	1	+3...+5
Вершини і верхні частини пологих схилів ($h > 50$ м, ухил 3-100).	Нема	Є	2	+1...+3
Рівнини, плоскі вершини, дно широких (більше 1 км) відкритих долин в середній частині.	Нема	Нема	3	0
Середні частини пологих схилів (ухил 3-100).	Нема	Є	3	0
Дно і нижні частини схилів вузьких долин з великим ухилом уздовж осі долини.	Є	Хороший	1	+3...+5
Дно і нижні частини схилів вузьких долин з помірним ухилом.	Є	Є	2	+1...+3
Долини великих річок, береги водоймищ.	Є	Є	2	+2...+4
Дно і нижні частини схилів нешироких долин з великим ухилом уздовж осі долини.	Є	Є	3	0
Дно і нижні частини схилів нешироких долин із слабким ухилом.	Є	Слабкий	4	-2...-3
Дно і нижні частини схилів нешироких, звивистих, замкнутих долин.	Є	Майже нема	5	-3...-5
Улоговини.	Є	Нема	5	-4...-6
Нижні частини схилів і прилеглі частини дна широких долин.	Є	Слабкий	4	-3...-5
Замкнуті, широкі, плоскі (ночвоподібні) долини.	Є	Майже	5	-4...-6
Сирі низини з мінеральним ґрунтом.	Нема	Нема	4	-3...-6

Примітка. Знак «плюс» показує підвищення мінімальної температури за ніч весною і восени в порівнянні з рівним місцем; знак «мінус» – посилення заморозків; h – перепад висот.

Для зручності розрахунків в табл. 1.5 наведена бальна оцінка заморозконебезпечності різних форм горбистого рельєфу, визначена в результаті узагальнення численних досліджень [87].

При оцінці теплозабезпеченості ґрунтів використовують показники його температурного режиму: дати стійкого прогрівання ґрунту до температури 5-10 °С, суму середніх добових температур вище 10 °С та ін. Основним джерелом такого роду інформації служать середні багаторічні дані кліматичних довідників.

Для диференційованої оцінки температурного режиму ґрунтів з урахуванням їх гранулометричного складу та інших властивостей можна використати дані, представлені в табл. 1.6. Необхідність такої оцінки визначається значними відмінностями температурного режиму ґрунтів різного гранулометричного складу, а також ґрунтів з різним вмістом органічної речовини. Наприклад, відмінності в середньомісячній температурі піщаного і глинистого ґрунтів досягають 3-4 °С, осушених і неосушених торф'яних ґрунтів – більше 5 °С.

В горбистій місцевості розподіл температури ґрунту на окремих ділянках визначається відмінностями у вологості ґрунту, сонячному нагріві, а також особливостями повітряного обміну в різних формах рельєфу і на схилах різної експозиції і крутизни.

В середніх широтах при відносних різницях висот 10-100 м середньодобові температури ґрунту на глибині 5-10 см у весняний період на пологих південних схилах вищі в порівнянні з рівним полем в середньому на 0,5-1,0 °С, в порівнянні з північними схилами на 2 °С. Таке підвищення температур дає можливість висівати на південних схилах ранні ярові раніше, ніж на рівних полях в середньому на 2-5 днів, а в порівнянні з північними схилами — на 4-7 днів.

Влітку в денний час в малохмарну погоду температура ґрунту на пологих південних схилах в шарі 5-10 см вища ніж на північних на 3-4 °С, на глибині 20 см – на 1-2 °С.

Таблиця 1.6 – Особливості термічного режиму органічних і мінеральних ґрунтів різного гранулометричного складу

Ґрунт	Середня температура ґрунту за травень, °С	Перехід середньої добової температури ґрунту (дні) через		Сума температур >10 °С	Тривалість періоду (дні) з температурою вище	
		5 °С	10 °С		15 °С	10 °С
Піщаний, супіщаний	+1,0...+2,0	-6...-10	-10...-15	+200...+350	+15...+25	+20...+25
Легкосуглинковий	+0,5...+1,0	-3...-5	-5...-10	+100...+150	+5...+10	+10...+15
Важкосуглинковий і глинистий	-0,5...-1,5	+3...+5	+5...+10	-100...-200	-5...-10	-5...-10
Торф'яний осушений	-1,0...-2,0	+8...+10	+5...+10	+50...+100	+5...+10	+5...-5
Торф'яний неосушений	-2,5...-4,0	+10...+15	+15...+25	-200...-500	-25...-30	-10...-20

Примітка. Знак «плюс» показує збільшення температури або тривалості періоду в порівнянні з аналогічними показниками для середньосуглинкового ґрунту; знак «мінус» – зменшення.

1.2.3 Оцінка умов перезимівлі рослин

Перезимівля рослин залежить від стану їх восени, температурних умов і висоти снігового покриву взимку. В малосніжні зими при лютих морозах вони можуть вимерзати. Несприятливо позначаються на стані зимуючих особливо озимих зернових культур різкі коливання температури, часта і тривала відлига, ожеледь.

Комплексним показником агрокліматичних умов зимового періоду може служити запропонований А.М. Шульгіним [98] *показник суворості зими*, який розраховується за формулою

$$K = T_m / C, \quad (1.6)$$

де T_m – середня із абсолютних мінімумів температура повітря за місяць і в середньому за зимові місяці;

C – середня висота снігового покриву.

Малосуворі умови зими характеризуються величинами показника до 1, суворі – від 1 до 3 і дуже суворі – вище 3.

Особливістю клімату ґрунту взимку є його промерзання. Воно залежить від ряду чинників: температури поверхні ґрунту і глибоких шарів, снігового і рослинного покривів, складу ґрунту, його вологості, рельєфу, виробничої діяльності людини.

Впливу низьких температур протистоїть сніговий покрив, який має вирішальний вплив на глибину промерзання ґрунту. В багатосніжні і малосуворі зими глибина промерзання ґрунту менше ніж в малосніжні і суворі. Навіть в суворі і багатосніжні зими ґрунт промерзає на меншу глибину, ніж в малосуворі, але малосніжні зими. При цьому до малосніжних відносять зими з середньою висотою снігового покриву до 20 см, до середньосніжних – 20-30 см і до багатосніжних – більше 30 см.

Вирішальне значення має встановлення снігового покриву достатньої висоти в першій половині зими, оскільки інтенсивність промерзання ґрунту з початку зими найбільша. Тому правильне і можливо раннє снігонакопичення дозволяє в умовах різко континентального клімату зменшити глибину промерзання ґрунту.

Зменшенню промерзання ґрунту сприяє рослинний покрив, оскільки він затримує сніг і зберігає його в рихлому стані. На глибину промерзання сильно впливає вологість ґрунту. Чим вона вище, тим менше глибина промерзання, оскільки вологий ґрунт при замерзанні втрачає значну кількість тепла за рахунок прихованої теплоти льодоутворення.

Оскільки вологість ґрунту пов'язана з його гранулометричним складом, то з підвищенням вмісту глинистих частинок глибина промерзання ґрунтів зменшується. У суворі зими вона розрізняється між

піщаними і суглинковими ґрунтами в середньому на 50 см, між суглинковими і глинистими – на 80 см.

Істотний вплив на промерзання ґрунту має рельєф. На підвищених його формах ґрунти промерзають, як правило, глибше, ніж на понижених. Це пояснюється більшою поверхнею позитивних форм рельєфу і меншою потужністю снігового покриву. Глибина промерзання ґрунту залежно від характеру рельєфу змінюється приблизно в наступних градаціях по відношенню до рівної поверхні (прийнятої за 1): підвищенні місця і північні схили – 1,2-1,5; східні і західні схили – 1,00-1,35; південні схили – 0,7-0,9; понижені місця (западини) – 0,5-0,7.

При оцінці умов перезимівлі озимих зернових культур основним показником є мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кущіння, прийнятій рівною 3 см. З цієї глибини різко зменшуються коливання температури ґрунту. В першій половині зими при невеликій висоті снігового покриву і неглибокому промерзанні ґрунту короточасні (1-2 доби) різкі похолодання призводять до того, що температура ґрунту до небезпечних для озимих посівів меж може знизитися тільки до глибини 1-2 см і пошкодити посіви, у яких вузол кущіння залягає неглибоко (1-2 см). Рослини з вузлом кущіння, що залягає глибше (4-5 см) при різких короточасних похолоданнях цілком зберігаються. У зв'язку з цим вкрай важливе забезпечення оптимальної глибини закладення насіння при посіві.

Температурний режим на глибині вузла кущіння залежить від абсолютних мінімумів температури повітря і їхньої повторюваності, висоти снігового покриву, часу випадання снігу, його щільності, ступеню охолодження нижче розташованих шарів ґрунту.

Сніговий покрив відіграє особливу роль. Відмінності мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см на безснігових ділянках і на ділянках із сніговим покривом потужністю 20-30 см досягають 10-20 °С, при лютих морозах і короточасних пониженнях температур повітря до -20...-25 °С різниця між абсолютними мінімумами температур повітря і ґрунту під сніговим покривом заввишки 60 см може досягати 37 °С.

Різниця температур повітря і ґрунту визначається не тільки величинами низьких температур, але і їх тривалістю. При лютих, але короточасних морозах різниця між температурами повітря і ґрунту більше, ніж при більш слабких, але тривалих.

Велике значення має щільність снігового покриву, ущільнення снігу збільшує його теплопровідність і призводить до погіршення термоізолюючих властивостей.

Зіставлення фактичних температур ґрунту взимку з критичними для рослин температурами дозволяє діагностувати стан озимих культур.

1.2.4 Оцінка вологозабезпеченості території

Нерідко як показник забезпеченості вологою все ще використовують середню багаторічну кількість опадів. Така оцінка абсолютно недостатня, бо вона не враховує випаровуваність, в залежності від якої складатиметься різна вологозабезпеченість при одній і тій же річній сумі опадів.

Існують різні методи розрахунку вологозабезпеченості. Для загальної характеристики вологозабезпеченості території були запропоновані умовні показники зволоження, названі індексами, або коефіцієнтами. В основі їх лежить положення, згідно якого ступінь зволоження території знаходиться в прямій залежності від кількості опадів і в зворотній – від випаровуваності.

Випаровуваність розраховують по температурі, дефіциту насичення повітря та інших параметрах. Наведемо найбільш використовувані з цих показників.

Коефіцієнт зволоження, запропонований Г.М. Висоцьким і розроблений М.М. Івановим

$$KV = P / f, \quad (1.7)$$

де P – опади за рік, мм;

f – випаровуваність за рік, визначена по випаровуванню з поверхні водойм, мм

Гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова

$$K = 10P / T, \quad (1.8)$$

де P – сума опадів за період з температурами більше 10 °С, мм;

T – сума температур за той же період.

Порівняно недавно М.І. Будико [7] запропонував *радіаційний коефіцієнт сухості*

$$K = R / L_r, \quad (1.9)$$

де R - радіаційний баланс;

L - прихована теплота випаровування;

r - річна кількість опадів.

Відомі також показники зволоження Д.І. Шашко, П.П. Колоскова, В.П. Попова та інших авторів. Всі вони мають певні недоліки, процес їх вдосконалення продовжується, але найбільш використовувані з них перші два.

Відповідно до коефіцієнта М.М. Іванова в межах кліматичних поясів були виділені зони по забезпеченості рослин вологою (*зони зволоження*).

Надмірно волога (КУ більше 1,33). Опади перевищують випаровуваність не тільки за рік, але і за теплий період. Зона пов'язана з розповсюдженням тундрового, болотного, глеєпідзолистого ґрунтоутворення.

Волога (КУ 1,33–1,00). Річна сума опадів перевищує випаровуваність, але за основний період вегетації випаровуваність вище опадів. Зона охоплює тайгу і листяні ліси на підзолистих і бурих лісових ґрунтах.

Напівволога (КУ 1,00 – 0,77). Відповідає лісостеповій зоні на сірих лісових ґрунтах і лісостепових чорноземах. Коефіцієнт зволоження 1,00 свідчить про збалансованість річних опадів і випаровування.

Напівпосушлива (КУ 0,77 – 0,55). Охоплює типовий Степ на звичайних чорноземах.

Посушлива (КУ 0,55 – 0,41). Степ на південних чорноземах.

Дуже посушлива (КУ 0,44 – 0,33). Степ на темно-каштанових і каштанових ґрунтах.

Напівсуха (КУ 0,33 – 0,22). Напівпустеля на світло-каштанових ґрунтах.

Суха (КУ 0,22 – 0,12). Напівпустеля на бурих ґрунтах.

Дуже суха (КУ < 0,12). Напівпустеля на сіро-бурих ґрунтах.

Вологозабезпеченість конкретних місцеперебувань в умовах неоднорідного рельєфу пов'язана з неоднаковою витратою вологи на випаровування зі схилів різної крутизни і експозиції, а також перерозподілом літніх і зимових опадів. Взимку в пониженнях елементів рельєфу нагромаджується сніг за рахунок здування його з підвищених місць. Навітряні схили утримують менше снігу, а підвітряні більше. На навітряних схилах потужність снігового покриву убуває від підніжжя до вершини а на підвітряних великі маси снігу накопичуються у верхній частині схилу.

На південних схилах завдяки більшій інсоляції танення снігу весною відбувається більш інтенсивно, в наслідок чого істотно збільшується стік. На південних схилах вбирається 30 – 80 % талих вод, тоді як на північних – всього 70 – 100 % [99].

Поглинання ґрунтом зимових опадів у великій мірі залежить від осіннього насичення його вологою.

У зв'язку з перерахованими умовами в табл. 1.7 наведена схема якісної оцінки зволоження місцеперебувань в залежності від рельєфу.

Основні закономірності перерозподілу вологи по елементах мезорельєфу наступні. Вологість ґрунтів увігнутих схилів зростає від вершини до підосви, на опуклих схилах, навпаки, знижується до підосви. У міру віддалення від вершини і з наростанням ухилу вологість ґрунту опукло-увігнутих схилів зменшується, а в нижній частині схилів значно

збільшується. На окремих крутих відрізках всіх схилів вологість ґрунтів зменшується.

В порівнянних умовах були найбільш зволожені північні схили, потім східні, західні і південні. Північно-східні схили вологіші за північно-західні, а південно-східні вологіші південно-західних. Максимальні відмінності в зволоженості ґрунтів виявляються у вологі роки, а мінімальні періоди – після посушливих періодів.

В кількісному виразі перерозподіл опадів весною і восени в зонах надмірного і достатнього зволоження складає 25-30 % на південних схилах, 30-40 % на північних і до 100 % у підніжжя. В слабопосушливих умовах перерозподіл опадів весною дорівнює 15-25 % на південних схилах і 25-30 % на північних.

Таблиця 1.7 – Відносне зволоження місцеперебувань залежно від форми і експозиції схилів (за Сильвестровим)

Профіль схилів	Відносні умови зволоження			
	дуже недостатні	недостатні	підвищені	середні
Випуклий	Нижні частини сонячних (південних, південно-східних, південно-західних) і навітряних схилів.	Нижні частини тіньових (північних, північно-західних) і підвітряних схилів.	Вододільні плато і верхні частини схилів всіх експозицій.	Середні частини схилів всіх експозицій.
Прямий	Верхня половина сонячних і навітряних схилів	Верхня половина сонячних і навітряних схилів	Нижня половина тіньових і підвітряних схилів.	Решта елементів.
Ввігнутий	Верхні частини сонячних і навітряних схилів.	Верхні частини тіньових і підвітряних схилів.	Шлейфи тіньових і підвітряних схилів.	Шлейфи схилів решти експозицій.
Складний	Середні частини сонячних і навітряних схилів.	Верхні частини всіх схилів, середні частини тіньових схилів.	Навітряні і тіньові шлейфи.	Решта шлейфів.

Оскільки перерозподіл вологи на рельєфі зумовлений в першу чергу поверхневим стоком і з ним же пов'язано розвиток водної ерозії, оцінка стоку залежно від різних умов має надзвичайно важливе значення. Цей найважливіший ландшафтоутворювальний процес характеризується показниками рідинного, твердого і йонного стоку.

Для характеристики рідинного стоку використовують: сумарний об'єм стоку (в м³), модуль стоку (об'єм стоку за одиницю часу з одиниці площі водозбору, виражений в л/с з 1 га), коефіцієнт стоку (відношення

величини стоку до кількості опадів, які випали на території за той же період часу, тобто частка опадів, що витрачається на утворення стоку).

Величина стоку залежить від кількості опадів, геологічної будови водозбірного басейну, тріщинуватості гірських порід, рельєфу, літологічної будови ґрунтів, фізичних властивостей ґрунтів, рослинного покриву, особливо залісеної. В складних ландшафтах Центрально-Чорноземної зони при річній сумі опадів від 450 до 550 мм втрати вологи через поверхневий стік складають від 40 до 80 мм. Під впливом суцільних вирубувань лісів стік щорічно збільшується. Концентрація нітратного азоту в річках з басейнами на сільськогосподарських територіях в порівнянні із залісеними басейнами збільшується з 1-3 до 15-20 мг/л.

1.2.5 Оцінка посух

Посуха складається при антициклональному режимі погоди і супроводжується підвищеними в порівнянні з середніми нормами температурами повітря протягом періоду вегетації.

Атмосферна посуха, тобто жаркий період без дощів з вологістю повітря менше 35-30 %, звичайно супроводжується ґрунтовою посухою, яка виявляється в зниженні вологозапасів у ґрунті до вологості в'янення перегріву ґрунту і зростанні концентрації ґрунтового розчину до токсичних рівнів. Особливо гостро посуха виявляється на солонцюватих і засолених ґрунтах в зв'язку з підвищенням осмотичного тиску ґрунтових розчинів.

Локальний прояв посухи послаблюється при близькому заляганні вод підґрунтя, якщо корені рослин досягають капілярної кайми. Завдяки капілярному зволоженню ґрунт менше перегрівається і повільніше охолоджується оскільки теплоємність води в 2-3 рази вище теплоємності ґрунтів. Різниця в температурі сухих і вологих ґрунтів на поверхні може досягати 20°C, що позначається на температурі і вологості приземного шару повітря. Через зниження рівня ґрунтових вод підвищується сухість ґрунтів, посилюється континентальність клімату місцевості.

Частота і тривалість посух, сильно коливаючись по роках, зростає від Лісостепу до сухого Степу. Вони можуть продовжуватися від декількох днів до 3-4 місяців (табл. 1.8). Повторюваність посух досягає 30-40 % років у Лісостепу і 50-60 % у степовій зоні, 2-3 рази в сторіччя посухи бувають навіть в лісовій зоні.

За агрокліматичний показник посух по відношенню до ярих культур був запропоновано гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за період травень – липень. Диференціація цього показника по кліматичних зонах дала наступні результати. Для лісової зони при середньому багаторічному значенні ГТК 1,2 показник посухи склав 0,7; для лісостепової зони при

середньому ГТК 0,8 показник посухи рівний 0,6; для степової зони при середньому ГТК 0,6 показник посухи рівний 0,5. При цьому роками з посухами вважались ті, в які урожайність в порівнянні з середнім значенням знижувалася більш ніж на 25 %.

Таблиця 1.8 – Середня і найбільша тривалість посухи
(за А.С. Утешевим)

Природна зона	Тривалість посухи, дні		
	середня за рік	найбільша за сезон	абсолютний максимум
Периферія лісової зони	15	38-52	-
Лісостеп	32	69	-
Чорноземні степи	42-48	76-92	100
Сухі степи і напівпустелі	37-69	84-115	125

Більшість дослідників визнають найнадійнішим показником посухи вологість орного шару ґрунту (0-20 см).

Аналіз спостережень за вологістю ґрунту і станом сільськогосподарських рослин показав, що зниження запасів продуктивної вологи в орному шарі до 19 мм слід вважати початком посушливого періоду, а до 9 мм – початком сухого періоду. Тому декади протягом яких запаси продуктивної вологи в орному шарі складають менше 20 мм, відносять до посушливих, а декади із запасами вологи менше 10 мм – до сухих [88].

По термінах виявлення виділяють п'ять типів посухи: ранньовесняна, весняно-літня, літньо-осіння, комбінована і стійка.

Ранньовесняна посуха, проявляється в період від початку польових робіт до червня, характеризується особливо високою шкідливістю внаслідок швидкого висушування верхнього шару ґрунту і відповідно зрідження сходів рослин затримки кушіння і утворення вторинних коренів.

В таких умовах у ярих хлібів формується укорочений зачатковий колос зі зменшеною кількістю колосків і квіток, що зумовлює недобір зерна навіть при сприятливій погоді надалі. Крім того, рослини залишаються без вторинних коренів, що ще сильніше позначається на їхньому подальшому розвитку. Урожайність зернових, які сформувалися на первинній кореневій системі, навіть при сприятливому літньому зволоженні не перевищує 0,6-0,8 т/га, а в посушливих умовах зменшується до 0,2-0,4 т/га.

Ступінь страждання зернових культур від посухи залежить від запасів вологи у ґрунті на початок весни. Чим більше цей запас, тим довше період, протягом якого рослини зберігають здатність переносити повітряну посуху. Найбільший негативний вплив її позначається на ранніх зернових

культурах і меншою мірою на пізніх (кукурудза, просо, сорго та ін.), для яких головне значення мають літні опади.

Весняно-літня посуха виявляється в травні – червні, коли ярові зернові знаходяться у фазі кущіння або пізніше, а озимі культури – у фазі виходу в трубку або колосіння. Особливий збиток ярим зерновим культурам посуха наносить в період до розвитку вторинної кореневої системи. Тоді рослини залишаються на первинних коренях, втрачаючи здатність ефективно використовувати запаси ґрунтової вологи і живильних речовин. При настанні посухи після розвитку вторинної кореневої системи її шкідливий вплив набагато зменшується, особливо при достатньо високих весняних запасах вологи у ґрунті.

Подолання ранньолітньої посухи в східних районах країни досягається за рахунок більш пізніх термінів сівби ярих зернових культур, які «перечікують» посуху у стадії кущіння, інтенсивно розвиваючись потім в період липневого максимуму опадів. Щоб вони могли перечекати посуху, необхідно створити певний запас вологи, що досягається на паровому полі за допомогою снігонакопичувальних робіт взимку з використанням куліс з високостеблових рослин на стерньовому фоні. Робляться спроби обійти посуху в цих районах шляхом використання надраних або надпізніх посівів скоростиглих сортів зернових культур.

В районах з більш рівномірним розподілом літніх опадів доцільні ранні посіви в можливо стислі терміни.

Посухостійкості зернових сприяє застосування фосфорних добрив. Варто зауважити, що внесення їх в рядки прискорює кущіння ярої пшениці і відповідно розвиток вторинних коренів, які встигають за вологою, яка зникає. В таких випадках окупність 1 кг P_2O_5 зерном досягає 20 кг і більше, оскільки створення вторинної кореневої системи забезпечує значно більш високу урожайність в порівнянні з тією, яка може бути отримана на зародкових коренях.

Озимі хліби порівняно легко переносять весняно-літню посуху при обробітку на чистих парах, але їх урожайність сильно знижується на зайнятих парах.

Пізні просапні культури менше страждають від весняно-літньої посухи і дають непогані урожаї при достатній кількості опадів в липні і серпні.

Літньо-осіння посуха, що виявляється в другій половині літа (з липня), представляє небезпеку для ярих хлібів, оскільки викликає «захоплення» зерна в період його наливання, а також для пізніх культур під час розвитку репродуктивних органів. Озимі культури від неї не страждають.

Літньо-осіння посуха створює скрутні умови для отримання сходів озимих зернових, іноді навіть на чистих парах.

Для подолання посухи цього типу доцільно використовувати скоростиглі посухостійкі сорти ранніх зернових культур, які встигають до часу її настання сформувати урожай.

Комбінована (переривчаста) посуха виявляється в різний час вегетації і чергується з вологими періодами. Вона менш шкідлива в порівнянні з іншими типами посух, якщо в ґрунті є достатня кількість вологи, за рахунок якої рослини можуть переносити перемежову посуху.

Стійка посуха охоплює найбільшу частину вегетаційного періоду - з ранньої весни до кінця липня. Така посуха ушкоджує всі польові культури, завдаючи найбільшого збитку землеробству. З агротехнічних заходів позитивні результати дають тільки найефективніші заходи для створення в ґрунті високих запасів вологи: чисті пари і снігозатримання.

1.2.6 Вітровий режим

Вітер впливає на режим основних метеорологічних елементів в приземному шарі серед рослин. Він обумовлює перенесення водяної пари і тепла, розвиток дефляції.

Сильні вітри надають шкідливий вплив на рослини, особливо під час холодної адвекції. При активному вторгненні холодних мас повітря відбувається інтенсивна віддача тепла з ґрунту в повітря і охолодження тканин рослин яке усугубляється витратою тепла на випаровування і транспірація. При знижених температурах під час холодної адвекції посилення або ослаблення швидкості вітру може виявитися вирішальним в пошкодженні цвіту і зав'язей плодових дерев або овочевих культур.

Сильний вітер призводить до полягання зернових культур в період колосіння і дозрівання, завдає шкоди деревам, обломлюючи гілки, і т.д. З вітровим режимом був пов'язаний розподіл снігового покриву, перерозподіл опадів.

Врахування режиму вітру (напрямку і швидкості) має велике значення для виявлення сприятливих умов для розміщення сільськогосподарських культур, проектування полезахисних смуг, їхньої орієнтації.

Макрокліматичні чинники вітрового режиму сильно коректуються місцевими умовами, що виражається в зміні швидкостей і напрямів вітру в різних формах рельєфу і у виникненні місцевих циркуляцій (табл. 1.9).

Динамічний вплив рельєфу на вітер виявляється в посиленні його швидкості в місцях зближення ліній потоку і в ослабленні при їхній розбіжності. Посилення вітру спостерігається на вершинах пагорбів, на навітряних схилах іноді також на паралельних вітру схилах. Ослаблення швидкостей відбувається позаду перешкод, на підвітряних схилах і в негативних формах рельєфу.

Таблиця 1.9 – Коефіцієнти зміни швидкості вітру в різних умовах рельєфу в порівнянні з відкритим рівним місцем при нестійкій (1-й рядок) і стійкій (2-й рядок) стратифікації атмосфери на висоті 2 м

Форма рельєфу	Швидкість вітру на рівному місці, м/с	
	3-5	6-20
<i>Відкриті підвищення (пагорби)</i>		
Вершини		
висотою більше 50 м	1,4-1,5	1,2-1,3
	1,6-1,8	1,4-1,5
висотою менше 50 м	1,3-1,4	1,1-1,2
	1,6-1,7	1,3-1,4
Навітряні схили крутизною 3-10°		
верхня частина	1,2-1,3	1,3-1,2
	1,4-1,6	1,5-1,5
середня частина	1,0-1,1	1,0-1,1
	1,0-1,1	1,1-1,2
нижня частина	1,0	0,9-1,0
	0,8-0,9	1,0
Паралельні вітру схили крутизною 3-10°		
верхня частина	1,1-1,2	1,0-1,1
	1,3-1,4	1,2-1,3
середня частина	0,9-1,0	0,8-0,9
	1,0-1,1	0,9-1,0
нижня частина	0,8-0,9	0,7-0,8
	0,9-1,0	0,8-0,9
Підвітряні схили крутизною 3-10°		
верхня частина	0,8-0,9	0,7-0,8
	0,8-0,9	0,7-0,8
середня частина	0,8-0,9	0,8-0,9
	0,9-1,0	0,9-1,0
нижня частина	0,7-0,8	0,7-0,8
	0,8-0,9	0,8-0,9
<i>Підвищення з плоскими вершинами і пологими у верхній частині схилами</i>		
Вершини, верхні частини навітряних і підвітряних схилів крутизною 1-30°	1,2-1,4	1,1-1,2
	1,4-1,6	1,4-1,5
Середні і нижні частини навітряних і паралельних вітру схилів крутизною 4-10°	1,1-1,2	1,1-1,2
	1,1-1,2	1,2-1,3
Середні і нижні частини підвітряних схилів крутизною 4-10°	0,7-0,9	0,8-0,9
	0,9-1,0	0,9-1,0
<i>Долини, лощини, яри</i>		
Дно і нижні частини схилів долин, лощин, ярів, які продуваються вітром	1,1-1,2	1,2-1,3
	1,3-1,5	1,4-1,5
Дно і нижні частини схилів долин, лощин, ярів, які не продуваються вітром	0,7-0,8	0,7-0,8
	0,6 і менше	0,6 і менше
Дно і нижні частини схилів ярів, замкнутих долин, лощин	0,6 і менше	0,6 і менше
Середні і верхні схили долин, лощин, ярів, які продуваються вітром	1,2-1,3	1,1-1,2
	1,4-1,5	1,3-1,5
не продуваються	0,8-0,9	0,8-0,9
	0,6-0,7	0,6-0,7
замкнуті	0,6 і менше	0,6 і менше

До числа небезпечних метеорологічних явищ, пов'язаних з вітром, відносять суховії. Під суховієм розуміють горизонтальний потік повітря з підвищеною температурою і низькою відносною вологістю, який виникає на периферії антициклону частіше всього в трансформованому арктичному повітрі. Суховії, як і посухи, розвиваються головним чином в повітряних масах, що приходять з півночі. Переміщаючись над Європейською територією країни в помірні широти арктичне повітря втягується в антициклонну циркуляцію і далі, вже прогріте і сухе, по південній і південно-західній периферії антициклону проникає в степові і лісостепові райони у вигляді суховію. Тому в південно-східних районах і південній смузі Європейської частини країни суховій має східний, південно-східний або південний напрям. В Західному Сибіру суховій може мати південно-західний напрям, а в Середній Азії - північне.

Шкідлива дія суховію на рослини істотно виявляється при швидкості вітру більше 5 м/с, температурі вище 25 °С і відносній вологості повітря менше 30 %.

Частота появи суховіїв, кількість днів з ними, їх тривалість і інтенсивність істотно міняються в географічному розрізі, будучи, як і посухи, хорошим показником посушливості клімату. В лісовій зоні середня багаторічна кількість днів з суховіями за теплий сезон (квітень - жовтень) невелика – 1-2, в лісостеповій зоні вона складає 15-20, в степовій – 30-60, а в напівпустельній – 70-100 днів.

Кожній зоні властива своя динаміка суховіїв. Для лісової зони характерний максимум кількості днів з суховіями в травні, а мінімум - в літній період. В лісостеповій зоні виділяють два максимуми суховійності: один весною, а другий в середині або кінці літа. При цьому перший максимум значно більше другого. Два максимуми характерні і для степової зони, але другий звичайно дещо більший від першого або рівний йому.

1.2.7 Мікроклімат горбистого рельєфу

Раніше було розглянуто вплив різних елементів рельєфу на зміну агрокліматичних умов за окремими їхніми показниками. Розглянемо загальну картину перерозподілу агрокліматичних ресурсів і формування мікроклімату на прикладі горбистого рельєфу центральної частини Нечорноземної зони за матеріалами О.Н. Романової та ін. [83]. Ця картина вельми виразно змінюється у вертикальному розрізі.

Мікроклімат вершин горбів характеризується значним збільшенням інтенсивності вітрового режиму. При середній швидкості вітру 3-5 м/с на відкритих рівних місцях швидкість вітру на вершині і верхній частині відкритого пологого горба (4-8°) зростає в 1,2-1,4 рази, а в долині або

лощині, що лежить перпендикулярно до напрямку вітру, знижується і складає 0,6-0,7 від швидкості вітру на рівнині.

Внаслідок посилення турбулентного перемішування в денний час на вершинах горбів спостерігається зниження температур на 0,5-1,0°C. В нічні години температури підвищуються на 1-3 °C внаслідок стікання охолоджених повітряних мас вниз по схилу і надходження з атмосфери більш теплого повітря. Тривалість безморозного періоду збільшується на 5-15 днів в результаті підвищення мінімальних температур. З цієї причини суми температур за безморозний період зростають на 50-150°C.

Вологість ґрунту менше ніж на рівних ділянках на 20-30 % ПВ, запаси продуктивної вологи зменшені на 50-75 мм.

Мікроклімат верхніх частин схилів багато в чому залежить від експозиції схилу. У верхніх частинах пологих схилів південної експозиції радіаційний баланс на 5-7 % більше, ніж, на рівнині, за рахунок збільшення приходу прямої радіації. Денні і нічні температури повітря підвищені – максимальна на 1,0-1,5 °C, мінімальна на 1-3 °C. Денні температури збільшуються за рахунок збільшення радіаційного балансу і зменшення витрат тепла на випаровування внаслідок невеликих запасів вологи у ґрунті (за винятком надмірно вологої зони). Підвищення нічного мінімуму обумовлено, так само як і на вершині, стоком повітряних мас, які охолоджуються, вниз по схилу. В результаті збільшується тривалість безморозного періоду на 5-15 днів і сум температур за цей період на 75-175°C.

Вологість ґрунту за рахунок перерозподілу опадів і збільшення випаровуваності зменшується на 30-35 % ПВ або на 70-80 мм продуктивної вологи.

Мікроклімат верхніх частин пологих схилів північної експозиції характеризується зменшенням радіаційного балансу на 10-12 % в порівнянні з рівним місцем внаслідок зниження приходу прямої радіації.

Швидкості вітру зростають тут в 1,2-1,3 рази північних напрямків. Денні температури були знижені на 0,5-1,0 °C внаслідок зменшення радіаційного балансу. Нічний режим температури, як і на схилах південної експозиції визначається в основному стіканням охолодженого повітря, вниз по схилу, тому у верхніх частинах північних схилів мінімальні температури підвищені в порівнянні з фоновими на 1-3 °C.

Тривалість безморозного періоду така ж, як на схилах південної експозиції, а суми температур за безморозний період більше фонових на 25-125 °C, але дещо менше ніж на схилах південної експозиції, за рахунок більш низьких денних температур.

Мікроклімат середніх частин схилів в умовах пагорбного рельєфу відповідає по ряду мікрокліматичних показників фоновим значенням, що обумовлене особливостями нічного стоку-притоку охолоджених повітряних мас, уздовж схилу оскільки саме в середніх частинах схилів

притік зверху компенсується відтоком повітряних мас вниз по схилу. В зв'язку з цим мінімальні температури повітря в середніх частинах схилів так само як тривалість безморозного періоду і суми температур за цей період, не відрізняються від фонових значень. Проте для деяких показників певні особливості існують. Так для середніх частин південних схилів характерно додатковий притік сонячної радіації, що забезпечує збільшення радіаційного балансу на 5-7 %, у зв'язку з чим денні температури тут трохи підвищені (на 0,5-1,0 °C). Вологість ґрунту менше фонових значень, але не більш ніж на 20 % ПВ. Для мікроклімату середніх частин північних схилів характерно зменшення радіаційного балансу на 8-10 %, що викликає пониження денних температур на 0,5-1,0 °C.

Мікроклімат нижніх частин схилів формується під впливом переваги притоку охолоджених повітряних мас в зниження над їх стоком. Тут нижче, ніж на рівних ділянках, мінімальні температури повітря (на 1-3 °C), тривалість безморозного періоду коротше на 5-10 днів, суми температур за цей період менше на 50-100 °C. Нижні частини південних схилів зволожені так само, як рівні ділянки, а північні більш вологі, причому відмінності складають 10-20 % ПВ.

Мікроклімат підніжжя схилів визначається притоком охолодженого повітря і його застоєм, тобто наявністю «озер холоду». Внаслідок цього мінімальні температури на 3-5 °C нижче, а максимальні практично такі ж, як на рівнині, безморозний період коротше на 10-15 днів, суми температур за цей період менше на 100-200 °C, ніж на прилеглих рівнинах, вологість ґрунту більше на 20-30 % ПВ. Підніжжя схилів часто перезволожені і їх використання для вирощування сільськогосподарських культур вимагає застосування меліорації.

Мікроклімат замкнутих понижень в цілому характеризується найбільш несприятливими умовами: застій холодного повітря виражений дуже гостро. Це найбільш морозобійні місцеположення: мінімальні температури повітря в середньому за місяць тут нижче фонових на 4-6 °C, безморозний період скорочується на 20-30 днів, суми температур за безморозний період менше на 250-300 °C, вологість ґрунту в таких місцеположеннях вище, ніж на рівнині, більше ніж на 30 % ПВ.

Оптимальні за мікрокліматичними умовами місцеположення для вирощування сільськогосподарських культур в межах пагорбного рельєфу вибирають відповідно до розглянутих закономірностей. В північних районах оптимальними місцеположеннями для вирощування сільськогосподарських культур є середні частини схилів південної, південно-західної і західної експозицій. Особливе значення має виявлення місцеположень з відносно сприятливими мікрокліматичними умовами в районах Крайньої Півночі. До таких відносяться порівняно круті берегові схили (крутизна 15-25°) південної орієнтації, які в порівнянні з сусідніми рівнинними ділянками одержують приблизно в 1,5 рази більше сонячної

радіації, захищені від холодних північних вітрів; близькість водних об'єктів призводить до підвищення мінімальних температур, похила поверхня сприяє стоку надмірної вологи. Закриті від холодних вітрів долини, тобто витягнуті в широтному напрямі і добре інсольовані, також відносяться до оптимальних по мікроклімату місцеположень в цьому районі.

В середній частині Європейської території для вирощування теплолюбних культур також віддають перевагу схилам південних орієнтацій але внаслідок меншої небезпеки пошкодження холодними адвекціями можна використовувати і верхні частини підвищень.

На південь від 50° п.ш. вже відчувається нестача вологи, і до оптимальних місцеположень для рослинництва відносять, навпаки, північні експозиції, підніжжя схилів і понижені місцеположення.

1.3 Агроекологічна оцінка структури ґрунтового покриву

1.3.1 Загальні критерії оцінки структури ґрунтового покриву

Під структурою ґрунтового покриву (СГП) конкретної території розуміється закономірне просторове розміщення ґрунтів, пов'язане з літолого-геоморфологічними умовами. Це поняття відноситься до невеликих територій на відміну від планетарно-континентальних і зонально-провінційних закономірностей розміщення ґрунтів, для яких головним чинником є біокліматичний.

Первинна початкова одиниця ґрунтового покриву була названа В.М. Фрідландом [95] *елементарним ґрунтовим ареалом* (ЕГА), під яким розуміється ділянка території, зайнята одним ґрунтом, який відноситься до якої-небудь класифікаційної одиниці найнижчого рангу.

Елементарні ґрунтові ареали, чергуючись в просторі, утворюють ґрунтові комбінації (ГК), які і створюють структуру ґрунтового покриву. Таким чином, СГП можна розглядати як закономірну сукупність ЕГА, представлену у вигляді різних ґрунтових комбінацій.

В залежності від особливостей рельєфу, складу і властивостей ґрунтоутворювальних і підстильних порід та деяких інших умов розрізняються мікрокомбінації і мезокомбінації. Перші представляють чергування дрібних контурів ґрунтів, які пов'язані частіше за все з мікрорельєфом, другі – чергування більш крупних ЕГА і мікрокомбінацій, звичайно пов'язаних з мезорельєфом або просторовою зміною ґрунтоутворювальних порід.

Важливим показником, за яким групуються ґрунтові комбінації, є контрастність вхідних в їхній склад ЕГА. Під контрастністю ґрунтового

покриву розуміється ступінь відмінності властивостей, складу і родючості сусідніх ґрунтів, тобто ступінь якісної диференціації ґрунтового покриву.

З урахуванням розмірів ЕГА, контрастності ґрунтів, які складають ГК, а також наявності між компонентами генетичного зв'язку В.М. Фрідланд [95] запропонував виділити шість класів ґрунтових комбінацій: комплекси, плямистості, поєднання, варіації, мозаїки, ташети.

Комплекси – мікрокомбінації з регулярним (через декілька метрів або десятків метрів) перемежуванням дрібних плям ґрунтів, які контрастно розрізняються, взаємно обумовлених в своєму розвитку. Утворення комплексів обумовлено переважно впливом на ґрунтоутворення мікрорельєфу, а в окремих випадках життєдіяльністю землеріїв, нерівномірністю первинного розподілу солей в породі. З погляду господарського використання комплекс виступає як єдине ціле.

Плямистості – мікрокомбінації неконтрастних невеликих за площею плям ґрунтів. Відрізняючись від комплексів значно меншою контрастністю, ці комбінації характеризуються, як правило більш сприятливими умовами для сільськогосподарського використання.

Поєднання – ґрунтові комбінації, в яких регулярно чергуються досить крупні (порядку гектарів і десятків гектарів) ареали ґрунтів, які контрастно розрізняються, і можуть мати своє особливе господарське використання. Формування поєднань обумовлено мезорельєфом. Генетичний зв'язок між компонентами поєднань носить однонаправлений характер. Ґрунти понижених елементів рельєфу знаходяться під впливом ґрунтів більш високих ділянок у зв'язку з перерозподілом речовин з поверхневими і ґрунтовими водами.

Варіації – мезокомбінації, в яких чергуються середньо- і крупноконтурні ареали неконтрастних ґрунтів з одностороннім генетичним зв'язком.

Мозаїки – контрастні комбінації ґрунтів, обумовлені змінами в просторі складу і властивостей ґрунтоутворювальних порід.

Ташети – неконтрастні комбінації ґрунтів, обумовлені зміною порід або різними типами рослинності. В ташетах і мозаїках зв'язки між компонентами або відсутні, або дуже слабкі.

Для скорочення записів (формул) ГК використовують індекси ґрунтів, прийняті для позначення їх на ґрунтових картах. Комплекси позначаються послідовним написанням індексів ґрунтів без яких-небудь знаків між ними.

Наприклад, $\frac{K_2^{CH}}{50} \frac{K_{л}^{CH_2}}{20} \frac{CH_2}{30}$ означає комплекс солонцюво-каштановий,

що складається з каштанових середньосолонцюватих (50 %), лугово-каштанових ґрунтів (20 %) і солонців середніх (30 %).

При позначенні плямистості між індексами ґрунтів (ЕГА) ставиться крапка. Плямистість, представлена дерново-підзолистими ґрунтами різного ступеня опідзоленості, позначається як $\Pi_1^D \cdot \Pi_2^D \cdot \Pi_3^D$.

При написанні поєднань індекси з'єднуються знаком «+». Так, для поєднання дерново-середньопідзолистих, болотяно-підзолистих і торфово-глеєвих ґрунтів його формула буде $\Pi_2^D + \Pi_6 + B_H^F$.

У формулі варіацій між індексами ґрунтів ставиться знак «-». Варіації темно-каштанових середньопотужних і потужних за участю лугово-каштанових ґрунтів позначаються так $K_3'' - K_3''' - K_L$.

Для позначення мозаїк між індексами ставлять знак «×». Наприклад, $\chi_2^B \times \chi_1^{ост.к} \times \chi_1^{ост.к}$ представляє мозаїку чорноземів слаболучних середньопотужних, чорноземів залишково-карбонатних малопотужних і чорноземів залишково-карбонатних малопотужних сильнощербистих.

У формулі ташетів між індексами ґрунтів ставиться знак «:». $\chi_2^{OP} : L_3$ - ташет чорноземів опідзолених середньопотужних і темно-сірих лісових ґрунтів.

При написанні формули складних ГК в дужки поміщаються індекси, які відповідні простій комбінації (плямистості або комплекси) як компонента складного поєднання. Наприклад, складне поєднання плямистостей дерновослабо- і середньопідзолистих ґрунтів з дерново-підзолистими сильнозмитими і дерново-глеєвими ґрунтами.

Важливими характеристиками структури ґрунтового покриву є згадувані вже контрастність і складність.

Як агрономічний критерій контрастності доцільно використовувати належність компонентів ґрунтових комбінацій до різних категорій земель за обмежувальними чинниками і способами їх подолання. За цим критерієм встановлено п'ять ступенів контрастності ґрунтів по відношенню до тієї або іншої культури або групи культур:

- слабоконтрастні, що належать до категорій земель, придатних для використання з обмеженнями, які можуть бути подолані малозатратними меліораціями;
- середньоконтрастні, за участю категорій земель, придатних для використання з обмеженнями, які можуть бути подолані середньозатратними меліораціями;
- сильноконтрастні, за участю земель, потенційно придатних для використання після складних високовитратних меліорацій;
- дуже сильно контрастні, за участю земель, мало придатних для використання внаслідок неусувних обмежень;
- надзвичайно контрастні, за участю земель, непридатних для обробітку (табл. 1.10).

Складність або строкатість ґрунтового покриву характеризується частотою зміни ґрунтових ареалів. Вона залежить від площі ЕГА (форми

контурів). Існують різні способи характеристики складності ґрунтового покриву. В.М. Фрідланд запропонував характеризувати його кількістю перетинів ґрунтових меж на ґрунтовій карті на одиницю довжини лінії, яка перетинає територію, що вивчається, наприклад 1 км. Л.П. Ільїною [34] запропоновано оцінювати складність ГП за кількістю контурів на 100 га площі (без урахування форми контурів і кількості компонентів). Існує ряд більш точних методів оцінки складності ґрунтового покриву, заснованих на математичних характеристиках геометричних показників ґрунтових комбінацій [21].

Таблиця 1.10 – Шкала контрастності ґрунтів

Ступінь контрастності	Належність компонентів ГК до різних категорій земель за обмежувальними чинниками і способами їх подолання
Слабоконтрастні	1 і 2 категорії
Середньоконтрастні	1 і (або) 2 за участю 3
Сильноконтрастні	1,2,3 за участю 5
Дуже сильно контрастні	1,2,3 за участю 4
Надзвичайно контрастні	1,2,3 за участю 6

Для практичних, особливо меліоративних цілей, складність ґрунтового покриву повинна характеризуватися в першу чергу часткою неблагополучних ґрунтів в комплексі і кількістю контурів на одиницю площі. Залежно від цих показників розв'язується зокрема, питання про вибірку або суцільну меліорацію ґрунтових комплексів. Наприклад, за наявності в комплексі менше 30 % солонцевих плям можливо вибіркоче гіпсування, якщо їхня форма і розміри дозволяють використовувати відповідні технології. За цих умов пропонується розрізняти п'ять ступенів складності комбінацій (табл. 1.11).

Таблиця 1.11 – Класифікація контрастних комбінацій за ступенем складності

Комбінація	Частка неблагополучних ґрунтів, %	Ступінь розчленованості
Нескладна	<10	-
Помірно складна	10-30	помірна
Складна	10-30	висока
Дуже складна	30-50	помірна
Надзвичайно складна	30-50	висока

Примітка. При помірній розчленованості можна проводити вибіркоче меліорацію плям, при високій – не можна.

Складність і контрастність в сукупності характеризують неоднорідність ґрунтового покриву. При виробничій оцінці структури ґрунтового покриву основну увагу слід надати його агрономічній однорідності та агрономічній сумісності ґрунтів ділянки.

Агрономічна однорідність земельного масиву обумовлена відносно однорідними властивостями та режимами ґрунтів і проявляється у

вирівняному рівні продуктивності вирощуваної на ньому сільськогосподарської культури. Цій умові в найбільшій мірі відповідає ділянка, представлена ЕГА. Її продуктивність визначається агрономічними властивостями конкретного ґрунту і рівнем використання.

При характеристиці СГП конкретної ділянки землекористування важливо встановити агрономічний результат сумісного використання компонентів ґрунтових комбінацій. Неоднорідність ґрунтового покриву в межах сільськогосподарського поля приводить до строкатості урожайності, причому діапазон її коливань може досягати багатократних розмірів. Це може відбуватися не тільки внаслідок різної родючості компонентів ГК, але і за рахунок неспівпадання оптимальних термінів обробітку ґрунту, посіву і догляду за посівами. Особливо виразно це проявляється на ділянках з контрастним ґрунтовим покривом. В дерново-підзолистій зоні терміни готовності ґрунту на мікропідвищеннях і мікропониженнях можуть розрізнятися на 7-10 днів. В результаті цього оранку нерідко проводять в умовах, коли ґрунт на підвищеннях вже пересох, а в улоговинах і блюдцях ще не готовий до обробітку. Ця картина ускладнюється на літогенних мікрокомбінаціях – мозаїках, де піщані і супіщані ґрунти чергуються з суглинними.

Подібні ситуації визначають строкатість урожаю і недобір його на окремих або на всіх компонентах ґрунтового покриву. Наприклад, встановлено [40], що в 8 з 10 років на масивах з частковою участю дерново-підзолистих глеуватих ґрунтів більше 20 %, зниження урожаю озимої пшениці досягає 25-50 %. При частці еродованих ґрунтів більше 25 % спостерігається зниження урожаю на 20-40 %. На полях де одночасно є оглеєні і еродовані ґрунти та при частковій участі їх по 10-15 %, урожайність знижується на 30-50 %. Ще більш чутлива до неоднорідності ґрунтового покриву картопля.

У степовій і лісостеповій зонах плями солонців в комплексах із зональними ґрунтами практично виключають використання сучасних технологій обробітку сільськогосподарських культур внаслідок неможливості своєчасного проведення обробітку без попередньої меліорації. Тому значні площі зональних ґрунтових комплексів використовуються з дуже низькою ефективністю, а частина солонцевих плям завжди перебуває у стані пару.

На відміну від контрастних комбінацій компоненти плямистостей і ташетів, хоча і можуть значно розрізнятися за продуктивністю, але терміни проведення польових робіт на них близькі.

В даному зв'язку разом з поняттям агрономічної однорідності використовують поняття агрономічної сумісності, введене І.І. Кармановим [39]. З цих позицій виділяють три основні типи структур ґрунтового покриву:

– агрономічно-однорідні;

- агрономічно-неоднорідні сумісні;
- агрономічно-несумісні.

На ділянках з агрономічно-однорідними СГП застосовують однакові комплекси агротехнічних і меліоративних заходів в одні й ті ж оптимальні терміни і досягається близька урожайність сільськогосподарських культур. Агрономічно-однорідні СГП можна в будь-яких випадках включати до складу одного і того ж поля, вони представлені плямистостями або варіаціями.

До агрономічно-неоднорідних сумісних структур відносяться ГК, компоненти яких вимагають невеликих відмінностей в системах агротехнічних і меліоративних заходів при загальній їх однотипності і близьких термінах проведення. Такі СГП можуть включатися до складу одного поля.

Серед агрономічно-сумісних СГП розрізняють однорідні, які забезпечують однакову урожайність сільськогосподарських культур, і неоднорідні, урожайність на яких може помітно розрізнятися. Прикладом агрономічно-неоднорідних сумісних СГП можуть служити поєднання несолонцюватих і солонцюватих ґрунтів, плямистості.

Агрономічно-несумісні ділянки за структурою ґрунтового покриття вимагають якісно різних агротехнічних і меліоративних заходів, не допускають проведення основних польових робіт в одні й ті ж терміни. Як правило їх не слід включати до складу одного поля. Як приклад агрономічно-несумісних СГП, можна навести поєднання дерново-підзолистих ґрунтів, плакорів і пологих схилів з сильнооґлеєними ґрунтами улоговин і западин комплекси різних ґрунтів з солонцями.

Сумісність ГК потрібно розглядати з урахуванням виду використання, оскільки ґрунти, несумісні для вимогливих культур, можуть поєднуватися для інших видів використання.

1.3.2 Основні закономірності географії структури ґрунтового покриття (СГП)

В географічному аспекті якнайменшою контрастністю ґрунтового покриття характеризуються підзони сірих лісових ґрунтів, типових і лучних чорноземів, тобто лісостепова зона. Їм відповідають також найнижчі показники складності ґрунтового покриття, що пояснюється збалансованістю опадів і випаровуваності в цій зоні, завдяки цьому перерозподіл вологи невеликий і не має сильного впливу на процеси ґрунтоутворення.

На північ і на південь від лісостепової зони складність ґрунтового покриття збільшується, досягаючи найбільших значень в зонах тундри, напівпустелі й пустелі, в протилежність показникам контрастності ґрунтового покриття. Це пояснюється таким чином.

Сприятливі умови для формування контрастного ґрунтового покриву складаються в зонах, де баланс опадів і випаровуваності чітко, але не дуже сильно зсовується як у бік переваги опадів (таким чином, що зональні ґрунти не настільки перезволожені, щоб мало відрізнятися від напівболотних і болотних ґрунтів), так і у бік переваги випаровуваності (таким чином, що зональні ґрунти не настільки висушені, щоб мало відрізнятися від ґрунтів зонального засоленого ряду). Такі умови створюються в підзоні дерново-підзолистих ґрунтів, а також у підзоні південних чорноземів і примикаючої до неї підзони каштанових і темно-каштанових ґрунтів. В цих підзонах контрастність ґрунтового покриву досягає максимуму.

У зв'язку з посиленням загального зволоження від підзолистих ґрунтів до глейопідзолистих і тундрових, зональні ґрунти також перезволожені і їхня відмінність від ґрунтів з додатковим зволоженням виявляється не такою вже значною. В умовах крайньої аридності ґрунтовий покрив був представлений складними комплексами зональних світло-каштанових і бурих ґрунтів та інтразональними ґрунтами – солонцями і солончаками. Зональні ґрунти тут засолені і солонцюваті, тому ґрунтовий покрив даних територій також характеризується невеликими показниками контрастності.

Загальна закономірність формування структур ґрунтового покриву у всіх зонах – широкий розподіл комбінацій, які відображають зміну ґрунтів від автоморфних до напівгідроморфних або через напівгідроморфні до гідроморфних у зв'язку із зміною рельєфу, що означає виявлення одного з основних законів географії ґрунтів – закону аналогічних топографічних рядів.

1.3.3 Особливості структури ґрунтового покриву лісостепової і степової зон

Ґрунтові комбінації лісостепової зони відрізняються більшими розмірами ЕґА, ніж в тайгово-лісовій зоні. В північній частині переважають поєднання світло-сірих, сірих і темно-сірих ґрунтів з сірими лісовими глейовими за участю контурів дерново-підзолистих ґрунтів а також варіацій сірих і темно-сірих ґрунтів. Такі комбінації часто ускладнюються участю еродованих ґрунтів. На південь від території вирівняних вододілів і пологих схилів зайняті складними варіаціями-поєднаннями чорноземів опідзолених різної потужності темно-сірих лісових, лугово-чорноземних, торфово-глейових ґрунтів і плямистостей темно-сірих глейових і темно-сірих глеюватих ґрунтів.

Контури чорноземних ґрунтів часто були представлені плямистостями і варіаціями чорноземів різного ступеня вилугуваності, опідзоленості та потужності. Розчленовані території з пологими і

похилими схилами характеризуються поєднанням чорноземів з їхніми еродованими аналогами.

Участь останніх в СГП істотно знижує агрономічну оцінку полів. Поєднання з високою часткою участі середньо- і сильноеродованих ґрунтів слід виділяти в ґрунтозахисні сівозміни.

Ґрунтовий покрив сухостепової зони відрізняється широко розвиненою комплексністю. Участь солонцевих комплексів в СГП зони помітно наростає з півночі на південь і південний схід. Виняток становлять добре дреновані території, які характеризуються переважним розповсюдженням поєднань-варіацій і складних поєднань темно-каштанових ґрунтів різної потужності на вирівняних або увальних вододілах з темно-каштановими карбонатними солонцюватими і різною мірою еродованими ґрунтами на схилах. На легких породах, які сприяють хорошій промивності профілю від легкорозчинних солей, переважають варіації і поєднання-варіації легкосуглинкових, супіщаних і піщаних темно-каштанових і каштанових ґрунтів. На ділянках з різною потужністю і щєбнистістю елювію щільних порід СГП ускладнюється участю мозаїк.

На територіях, де ґрунтовий покрив формується за участю засолених порід, для СГП властивий розвиток складних контрастних сполучень темно-каштанових солонцюватих, солонцюгато-солончаковатих ґрунтів з солонцевими комплексами.

Найбільшого розвитку комплексність ґрунтового покриву досягає в підзоні світло-каштанових ґрунтів і в зонах бурих напівпустельних і сіро-бурих ґрунтів, відомих як «царство комплексів», переважно солонцевих. Вони можуть бути представлені контурами різної площі, можуть утворювати самостійні структури або входити в складні поєднання зональних ґрунтів різних родів з солончаками, луговими і іншими ґрунтами. Некомплексні масиви зустрічаються рідко і пристосовані до добре дренованих територій з породами легкого гранулометричного складу.

Сільськогосподарське використання солонцевих комплексів залежить перш за все від частки участі в них солонців. Комплекси з участю солонців до 10 % використовуються так само, як і зональні ґрунти. Бажано поліпшення їх плям шляхом хімічної меліорації, а в лісостеповій зоні воно можливе і за допомогою «землювання», тобто внесення шару чорноземного ґрунту. Комплекси за участю солонців від 10 до 30 % (25 %) використовуються під оранку ріллі під більш солонцестійкі культури і можуть бути поліпшені вибірковою гіпсуванням. За участю солонців більше 30-50 % частіше за все потрібна суцільна меліорація за допомогою хімічних засобів або меліоративної обробітки з використанням в кормових сівозмінах. За участю солонців більше 50 % комплекси слід використовувати переважно в системі лукопасовищного господарства.

1.3.4 Природна і антропогенна еволюція структури ґрунтового покриву

Існує цілий ряд еволюційних шляхів природного розвитку СГП, кожний з яких пов'язаний з певною групою чинників [96]: рельєф, процеси рельєфоутворення, пов'язані з процесами формування ґрунтів (водна ерозія, дефляція алювіальні і пролювіальні процеси, обвали, карстові та суфозійні процеси), явища мерзлоти і неоднорідність снігового покриву, неоднорідність ґрунтоутворювальних порід, ґрунтові води, строкатість рослинного покриву, вплив тваринного світу. Найкрупнішими по територіальному охопленню можна вважати чинники геологічного підйому і опускання суші, інтенсивність делювіально-пролювіальних процесів, процеси материкового соленакопичення, які ведуть до зміни СГП. Найбільш наглядно виявляється еволюція СГП в долинах річок, де вона пов'язана з природними процесами поглиблення долин і старіння терас. Компоненти структур змінюються в часі з різною швидкістю, що призводить до зміни самих СГП за всіма показниками. Більш того, напрям змін властивостей і просторового малюнка компонентів однієї СГП може бути різним.

В агрикультурний період напрям і швидкість еволюції СГП зазнають значних змін. Причини їх можна розділити на три групи: ерозійно-аккумулятивні процеси; безпосередня техногенна дія на ґрунт при інтенсивному сільськогосподарському виробництві; процеси вторинного ґрунтоутворення в результаті неправильного сільськогосподарського освоєння території.

Глибина антропогенної трансформації СГП залежить від ступеня нестійкості природних ландшафтів, їхньої потенційної схильності до розвитку тих або інших процесів (ерозії, дефляції, засолення, перезволоження і т.д.), яка реалізується в прискореній або сповільненій формі залежно від характеру господарської діяльності людини. Чим менше ця діяльність узгоджується з екологічною обстановкою і тенденціями природного розвитку ландшафту, тим нижче стійкість антропогенних СГП і глибше розвиток негативних процесів.

Залучення земель в сільськогосподарське виробництво викликало розвиток ерозії ґрунтів і збільшило неоднорідність ґрунтового покриву по складу компонентів і складності у декілька разів. В СГП всіх типів змиті ґрунти характеризуються найбільшою роздрібненістю, розчленованістю і контрастністю.

Активні дії на ґрунти (оранка, добрива, хімічна меліорація, зрошування, осушення, дренаж і т.д.) призводять до різних змін СГП. Науково обґрунтоване раціональне їх використання, яке усуває несприятливі властивості окремих компонентів СГП, сприяє

вирівнюванню і підвищенню родючості ґрунтів і відповідно зниженню контрастності ґрунтового покриття.

Проте, часто відбувається ускладнення природних СГП в результаті техногенної дії на ґрунти. Це пов'язано з помилками у виборі території, способів її сільськогосподарського освоєння і окультурення, а також з тим, що межі виробничих ділянок не співпадають з межами ЕГА і мікрокатен, а перетинають їх, штучно створюючи додаткову неоднорідність ґрунтового покриття.

Очевидно, ефективне використання земель можливо лише з урахуванням властивостей ґрунтового покриття в цілому, а не окремих різновидів ґрунтів, навіть переважаючих за площею. При цьому важливо враховувати характер і швидкість зміни властивостей кожного ґрунту, який входить до складу ГК. Такий підхід дозволяє зменшити неоднорідність ґрунтового покриття усередині виробничих виділів.

1.4 Агроекологічна оцінка ґрунтових умов

1.4.1 Будова ґрунтового профілю

Для оцінки ґрунтових умов важливо враховувати властивості не тільки гумусових горизонтів, але і всього ґрунтового профілю до материнської породи. При цьому необхідно брати до уваги потужність дрібноземлистої товщі, гумусової частини профілю, орного шару; розташування і властивості різних горизонтів, особливо ущільнених, перезволожених, солонцюватих, засолених; наявність прошарків, пов'язаних із зміною літології порід, розвиток плугової підшви і т.д.

В практиці землеробства добре відома особлива роль потужності гумусового шару в формуванні урожаю, тому при картографуванні ґрунтів прийнято складати картограми потужності цього шару, які дозволяють правильно вибирати глибину обробітку ґрунтів і тактику їхнього окультурення.

На чорноземних ґрунтах з ізогумусовим профілем оцінка шару розповсюдження коріння проводиться з більш повним використанням могутніх гумусових горизонтів. Так, наприклад, на кубанських чорноземах з двометровим гумусним профілем, де шляхом підбору культур з глибокопроникними кореневими системами можливо використання запасів вологи і мінеральних елементів з шару ґрунту 0-300 см [31]. Нерідко на глибині другого-третього метра чорноземних і темно-каштанових ґрунтів, особливо при використанні їх в зерно-парових сівозмінах з великою часткою пару або при зрошуванні, виявляються значні скупчення нітратів

– до 200-300 кг азоту на 1 га і навіть більше [41]. Для утилізації цих запасів необхідно використання відповідних культур, особливо багаторічних трав. При оцінці азотного режиму польових культур доцільно враховувати запаси мінерального азоту в шарі його споживання.

Найсприятливіша ситуація складається в ґрунтах з близьким розташуванням щільних порід, в яких розвиток кореневих систем неможливий (вапняків, мергелів, пісковиків, гранітів, глинистих сланців і інших кам'янистих порід, а також третинних глин з високою щільністю).

Несприятливий вплив щільних порід при недостатньому зволоженні виражається в дефіциті вологи, а в гумідних умовах за відсутності природного відтоку надмірних вод, воно виявляється у вигляді перезволоженості профілю. Ступінь його виявлення залежить від умов стоку і фільтрації. Вапняки, мергелі, тріщинуваті граніти, четвертні галечники – водопроникні. Глинисті сланці, третинні глини, пісковики, вивержені породи – водонепроникні.

Потужність шару розповсюдження коріння оцінюють з урахуванням кліматичних, геоморфологічних і петрографічних характеристик, а також з урахуванням вимог рослин. Одні рослини здатні вирости на дрібних кам'янистих ґрунтах (сосна, модрина, смерека, кедр, ялиця кавказька, яловець, береза бородавчаста, дика яблуня, клен польовий, кизил, бруслина бородавчаста і ін.), а інші їх не переносять.

На ґрунтах з елювіально-ілювіально-диференційованим профілем головна задача – подолання бар'єрної ролі ілювіальних горизонтів. Чим сильніше виражене ілювання, тим актуальніше застосування меліоративних заходів, створення достатньо потужного орного шару. Оптимальна потужність орного шару неоднакова для різних культур. Наприклад, просапні культури реагують на неї значно сильніше, ніж зернові.

Діагностика ущільнених горизонтів актуальна не тільки на підзолистих ґрунтах і солонцях, але і на чорноземних і каштанових ґрунтах з різним ступенем ущільнення верхньої і перехідної частини профілю внаслідок солонцюватості або інших причин. Створення потужного орного шару на таких ґрунтах за допомогою ярусних та інших меліоративних обробок істотно покращує його водно-фізичні властивості. Тим самим надалі складаються сприятливі передумови для мінімізації їх обробітку.

1.4.2 Органічна речовина ґрунтів

Вміст і запаси органічної речовини в ґрунтах традиційно служать основними критеріями оцінки ґрунтової родючості, а останніми роками все

більше розглядаються і, з погляду екологічної стійкості ґрунтів, як компоненту біосфери.

Органічна речовина в цілому і окремі її групи різносторонньо впливають на агрономічні властивості та режими ґрунтів. Циклічні процеси синтезу і трансформації органічної речовини в агроєкосистемі лежать в основі біогеохімічних круговоротів всіх біофільних елементів. Разом з тим, ці циклічні процеси виконують найважливішу роль у відтворенні властивостей ґрунту, що лежать в основі його родючості.

Органічна речовина ґрунтів значною мірою визначає живильний режим ґрунтів, який чинить на нього прямий вплив як джерело елементів живлення і непрямий, обумовлений дією різних груп органічних речовин на фізико-хімічні і водно-фізичні властивості ґрунтів. На ґрунтах, збагачених органічною речовиною значно знижуються втрати елементів мінерального живлення добрив в результаті міграційних процесів і забруднення сполучених середовищ.

В ґрунтах постійно відбуваються процеси трансформації інертних форм елементів мінерального живлення в лабільні. Найбільш відомі і вивчені процеси біологічної фіксації атмосферного азоту, хоча не менше складні перетворення здійснюються з важкодоступними формами фосфатів, калію, кальцію та інших біофільних елементів.

Всі ці процеси вимагають значних енергетичних затрат і відбуваються при прямій або непрямій участі ґрунтової біоти, тому їх здійснення можливо лише під час надходження до ґрунту органічних речовин, які служать енергетичним матеріалом для нормального функціонування ґрунтової біоти.

Органічна речовина значною мірою визначає місткість поглинання катіонів, обумовлену карбоксильними групами, а при лужній реакції середовища – додатково спиртовими і феноловими групами. Велике значення має комплексотвірна здатність органічної речовини, з нею пов'язано утворення агрономічно-цінної структури ґрунту, збільшення вологостійкості. Відома стимулююча дія гумусових речовин на ріст і розвиток рослин.

Гумусовий стан ґрунтів прийнято характеризувати вмістом гумусу в орному шарі, запасами в шарі 0-100 см, відношенням C:N, тобто збагачуваністю азотом, і відношенням вуглецю гумінових кислот до вуглецю фульвокислот, відповідно до якого визначається тип гумусу (табл. 1.12). Яке ж агрономічне значення цих критеріїв? Перш за все, який оптимальний вміст гумусу в ґрунтах для різних культур? Відомо немало спроб відповісти на це питання.

На різних етапах інтенсифікації землеробства зв'язок між вмістом гумусу в ґрунті і урожайністю рослин має різний характер.

Традиційне уявлення про прямий, тісний зв'язок вмісту гумусу з урожайністю склалося при відносно низькому рівні інтенсифікації

землеробства, при помірному застосуванні добрив, коли ґрунтовий гумус залишався єдиним (або основним) джерелом тих або інших елементів мінерального живлення рослин.

Таблиця 1.12 - Показники гумусового стану ґрунтів

Ознака	Рівень ознаки	Межі значень
Вміст гумусу, %	Дуже високий	>10
	Високий	6-10
	Середній	4-6
	Низький	2-4
	Дуже низький	<2
Запаси гумусу в шарі 0-100 см, т/га	Дуже високі	>600
	Високі	400-600
	Середні	200-400
	Низькі	100-200
	Дуже низькі	<100
Збагаченість азотом, C:N	Дуже висока	<5
	Висока	5-8
	Середня	8-10
	Низька	11-14
	Дуже низька	>14
Тип гумусу, $C_{г.к.}:C_{ф.к.}$	Гуматний	>2
	Фульватно-гуматний	2-1
	Гуматно-фульватний	1,0-0,5
	Фульватний	<0,5

Це уявлення значною мірою збереглося досі, хоча в міру інтенсифікації землеробства даний зв'язок значно ускладнюється. При оптимальній забезпеченості вологою, мінеральними елементами живлення, сприятливому співвідношенні механічних елементів і глинистих мінералів він часто не виявляється або проявляється слабо. В посушливих умовах залежність продуктивності ґрунтів від їхнього гумусового стану виявляється сильніше, оскільки з підвищенням вмісту гумусу збільшується вологоємність ґрунтів і відповідно збільшуються запаси продуктивної вологи і зменшується випаровування, тобто поліпшується водний режим.

При високому рівні інтенсифікації землеробства вплив органічної речовини ґрунту на урожайність виявляється через складні системні взаємодії, які обумовлюють, зокрема роздільну здатність ґрунту по відношенню до збільшення хімізації. У зв'язку з цим разом з фізико-хімічними аспектами на перший план виходять біологічний і екологічний, особливо для подолання великого пестицидного навантаження. Вельми важливі також енергетичний і економічний аспекти проблеми. При інтенсивному землеробстві умови для скорочення витрат механічної

енергії на обробіток ґрунту значною мірою визначаються гумусовим станом.

Ця проблема не набула належного розвитку. Тимчасовий застій в цій області агроґрунтознавства породив спроби абсолютизації гумусових показників, знання про вмісту гумусу в ґрунті майже не всього поняття родючості. При цьому випустили з уваги, що сам по собі гумусовий стан є не тільки причиною того або іншого рівня родючості ґрунту, але і наслідком великої сукупності природних чинників, які визначають цей стан. Іншими словами, ґрунт відрізняється сприятливими властивостями не тільки тому, що має високий вміст гумусу але і тому, що він має сукупність сприятливих природних чинників, які визначають його родючість і відповідно накопичення гумусу.

В результаті перекосів в розвитку гумусової проблеми фатальною виявилася недооцінка ролі лабільної органічної речовини, вивченню якої надавалося мало уваги. Останніми роками це упущення заповнюється. Найдоцільнішим підходом до виявлення агрономічної цінності гумусу і його складових можна вважати розділення всіх органічних сполук ґрунту на дві великі частини: групу консервативних, стійких речовин і групу лабільних сполук. Перша група об'єднує ті речовини, які характеризують типові ознаки ґрунтів, що формуються протягом довгого часу і зберігаються у вікових циклах. Це перш за все гумінові кислоти, гумати інші орґано-мінеральні сполуки, гіматомеланові кислоти, гумін. З їхнім вмістом, складом і властивостями пов'язано забарвлення ґрунтів, тепловий режим, водно-фізичні характеристики, місткість поглинання, кислотно-основна та інші види буферності ґрунтів, потенційні запаси елементів живлення рослин. Всі ці речовини безпосередньо беруть незначну участь у живленні рослин, але створюють для них сприятливе середовище.

Спроби кількісно оцінити внесок консервативних гумусових речовин у формування урожаю не дають, як правило, позитивних результатів, але з цього не постає висновок про незначну агрономічну роль цих компонентів гумусу. Причина, ймовірно полягає в тому, що ґрунт – складна система, в якій реально здійснюється правило взаємозамінності складових його компонентів, таким чином, що при втраті одного з складових ґрунту, який мав позитивний вплив на його властивості, його функції можуть переходити до іншого компонента. Наприклад, при поступовому зменшенні загальних запасів гуматів і гуміну, при переході від чорноземів до дерново-підзолистих ґрунтів все більшу роль у формуванні структури починають грати полуторні оксиди. В ґрунтах аридних територій ту ж саму роль в тій або іншій мірі виконують карбонати кальцію [47].

Позитивна агрономічна роль консервативних складових ґрунтового гумусу найбільш наглядно виявляється в екстремальних ситуаціях: в посушливі періоди, при хімічному забрудненні ґрунтів. Тому

найстійкішим виявляється землеробство на ґрунтах з високим вмістом гумусу.

Друга група органічних речовин ґрунту, лабільні компоненти якого безпосередньо беруть участь в живленні сільськогосподарських рослин, формують водоміцну структуру ґрунту, служать енергетичним матеріалом для мікроорганізмів, виявляється в агрономічному відношенні більш виразно.

Н.Ф. Ганжара [14] відносить до лабільних (легкорозкладних) форм органічних речовин нерозкладені рослинні залишки, органічні речовини тваринного походження, об'єднані загальним поняттям – джерела гумусу, а також проміжні продукти їхнього розкладання – детрит. Час практично повного розкладання лабільних форм органічних речовин обчислюється днями, місяцями і протягом років, стабільної частини – десятками, сотнями і навіть тисячами років.

Дефіцит лабільних форм органічної речовини в ґрунтах визначає стан так званій виснаженості, тобто різке погіршення живильного режиму і структурного стану. Тому задача землероба полягає в підтримці у ґрунті певної кількості лабільної органічної речовини (ЛОВ). Н.Ф. Ганжара запропонував методику оптимізації ЛОВ в дерново-підзолистих ґрунтах. Задача оптимізації зводиться до того, щоб вміст і склад легкорозкладних форм органічних речовин були такими, при яких забезпеченість ґрунтовим азотом була б достатньою для отримання прогнозованого урожаю за існуючих системах землеробства.

Визначені таким чином норми органічних добрив і місце їх внесення коректуються на основі показників ступеня виснаженості. Для кількісної оцінки ступеня виснаженості запропоновано показник, який характеризує відносний вміст вуглецю легкорозкладних форм органічних речовин, виражений у відсотках до загального вмісту вуглецю гумусу.

В дослідях встановлено, що оптимальний вміст вуглецю легкорозкладних форм органічних речовин в орному шарі дерново-підзолистих ґрунтів для зернових культур знаходиться в межах 0,2-0,4% від маси ґрунту або 6-12 т/га в орному шарі.

Очевидна необхідність розробки рекомендацій для ґрунтів інших типів. При цьому можливі пошуки інших критеріїв оптимізації режиму ЛОВ.

Таким чином, стрункої системи агроекологічної оцінки органічної речовини ґрунтів поки що немає. Для малоінтенсивних форм ведення землеробства придатні численні дані рівнянь регресії і кореляційних зв'язків між вмістом гумусу і урожайністю різних культур, отримані при розробці бонітувальних шкал. Ці матеріали дозволяють оцінити різні культури по відношенню до вмісту гумусу і потужності гумусового профілю. Наприклад, вимогливість багаторічних насаджень до цих умов набагато нижче, ніж вимогливість польових культур. З багаторічних

насаджень, виноградники виділяються більш низькою вимогливістю (коефіцієнт кореляції 0,28-0,55) і т.д.

1.4.3 Гранулометричний склад ґрунтів

Гранулометричний склад – це співвідношення у ґрунті механічних елементів різної крупності (гранулометричних фракцій), впливає практично на всі його властивості.

Найактивніша частина ґрунту – *мулиста фракція* ($< 0,001$ мм), збагачена гумусом, елементами зольного і азотного живлення рослин, яка відіграє основну роль у формуванні поглинальної здатності і структуроутворення. Ця фракція різко відрізняється від більш крупних перевагою глинистих мінералів (монтморилоніту, каолініту, хлориту, гідроліт, вермикуліту та ін.) над первинними, з яких зустрічається в основному кварц. Оптиміальне поєднання глинистих мінералів з певною часткою монтморилоніту, достатньо високий вміст гумусу, сполучень заліза, кальцію, сприятливий склад обмінних основ створюють передумови для формування водоміцної структури. Проте ефект може бути протилежним при розвитку відновних процесів в результаті перезволоження, при насиченні ґрунтового поглинаючого комплексу воднем, натрієм, при дуже малій кількості гумусу і високому вмісті монтморилонітових мінералів.

Дрібнопиловата фракція (0,005 - 0,001 мм) близька до мулистої за вмістом гумусу, складається із вторинних і первинних мінералів, здібна до коагуляції і структуроутворення але в набагато меншій мірі, ніж мулиста фракція. Надлишок неагрегованого дрібного пилу сприяє ущільненню ґрунтів, збільшенню набухання і усадки, погіршенню водопроникності, тріщинуватості.

Фракція середнього пилу (0,01 - 0,005 мм) не здатна до коагуляції і структуроутворення, але внаслідок підвищеного вмісту слюди, яка надає їй пластичності, зв'язності, утримує вологу, має слабку водопроникність.

Фракція крупного пилу (0,05 - 0,01 мм) за мінералогічним складом наближається до піщаної, має невисоку вологоємність, слабо набухає. Ґрунти, що збагатились фракціями крупного і середнього пилу, легко розпиляються, схильні до ущільнення.

Піщана фракція (1 - 0,05 мм), представлена в основному кварцем і польовими шпатами, має високу водопроникність, укрив низьку

поглинальну здатність. Для польових культур придатні піски з вологоємністю не менше 10 %, для лісових – не менше 3-5 %.

Співвідношення цих фракцій покладено в основу класифікації ґрунтів за гранулометричним складом, розробленої М.А. Качинським. Ця класифікація надана ним з поправкою на генезис ґрунтів з урахуванням того, що один і той же вміст фізичної глини (частинок <0,001 мм) по-різному позначається на властивостях підзолистих, степових і солонцевих ґрунтів, для яких були представлені різні шкали. Згідно з цими шкалами, наприклад, при вмісті фізичної глини 55 % підзолистий ґрунт відноситься до легкосуглинкового, чорноземний – до важкосуглинкового, а солонцевий – до середньосуглинкового.

Додержуватися цього принципу – свого роду архаїзм, данина минулому, коли властивості ґрунтів в основному пов'язувалися з їхнім гранулометричним складом. Тепер використовуються різні характеристики властивостей ґрунтів, пов'язані з появою солонцюватості (склад поглинених основ, ступінь пептизації мулу, набухання та ін.), оглеєння, злитозації, мінералогічного складу, самих різних проявів фізико-хімічного стану ґрунтів при одному і тому ж співвідношенні фракцій гранулометричного складу.

Класифікація ґрунтів за гранулометричним складом повинна ґрунтуватися виключно на відносному вмісті у ґрунті механічних фракцій. Така єдина для всіх типів ґрунтів класифікаційна шкала ґрунтів за гранулометричним складом давно рекомендована різними авторами, зокрема С.І. Долговим, з урахуванням розділення і номенклатури М.А. Качинського (табл. 1.13).

В цій шкалі за основу взято дев'ять основних різновидів ґрунтів за гранулометричним складом від пухкопісчастих до важкоглинистих з додатковим виділенням різновидів більш низького рангу по одній переважаючій фракції: піщаних (1,0 - 0,05мм), крупнопилуватих (0,05 - 0,01) мм, пилуватих (0,01 - 0,001 мм) і мулистих (дрібніше 0,001 мм).

Гранулометричний склад визначає багато сторін господарського використання ґрунтів. Від нього залежать водопроникність, водоутримуюча і водопідіймальна здатність ґрунтів. Низька вологоємність піщаних і супіщаних ґрунтів – головна причина страждання рослин від нестачі вологи в посушливих умовах, що набагато менше виявляється на вологосуглинкових і глинистих ґрунтах завдяки їхній здатності утримувати вологу. Проте, останні гірше проявляють себе в гумідних умовах у зв'язку з перезволоженням і розвитком оглеєння.

Таблиця 1.13 - Єдина класифікаційна шкала ґрунтів за гранулометричним складом

Вміст частинок	Основне найменування	Додаткове найменування по	Кількість
----------------	----------------------	---------------------------	-----------

розміром <0,01 мм %	різновидів	переважаючій фракції	різновидів
0-5	Пухкопіщаний	Піщані і крупнопиливаті	2
5-10	Зв'язнопіщаний	-	2
10-20	Супіщаний	-	2
20-30	Легкосуглинковий	Піщані, крупнопиливаті, Пилуваті і мулисті	4
30-40	Средньосуглинковий	-	4
40-50	Важкосуглинковий	-	4
50-65	Легкоглинистий	-	4
65-80	Средньоглинистий	-	4
80-100	Важкоглинистий	Пилуваті і мулисті	2

Ці категорії ґрунтів істотно розрізняються і за умовами теплового режиму. Легкі ґрунти швидше прогріваються і раніше готові до проведення польових робіт. Важкі ґрунти через велику вологонасиченість, а отже теплоємність, повільніше прогріваються весною, пізніше настає їхня фізична стиглість. Тому легкі ґрунти вважаються теплими, важкі – холодними.

Від співвідношення механічних елементів сильно залежить структурний стан ґрунтів. В цьому відношенні неблагополучні не тільки піщані і супіщані ґрунти. Рідко буває задовільною структура пилуватих ґрунтів з низьким вмістом колоїдів, особливо при невеликій кількості гумусу.

Гранулометричний склад значною мірою зумовлює гумусовий стан ґрунтів. В легких ґрунтах з низькою поглинальною здатністю, збіднених живильними речовинами, з високою аерацією утворюється менше органічної речовини і активніше протікають процеси його мінералізації. Збагачені колоїдами важкі ґрунти мають більш високу продуктивну здатність і сильніше закріплюють гумусні речовини, що утворюються. Тому важкі ґрунти завжди більш гумусовані в порівнянні з легкими. Наприклад, типові чорноземи важкосуглинкові містять 7-8 % гумусу, легкосуглинкові – 4-5 %, а супіщані – 2,5-3 %.

Більш низька поглинальна здатність легких ґрунтів обумовлює знижену їхню буферність і відповідно різке підвищення концентрації ґрунтового розчину, більш швидке його підкислення під впливом фізіологічно кислих добрив.

Порівнюючи численні дані гранулометричного складу ґрунтів і урожайності зернових культур в зональному аспекті, М.А. Качинський розробив десятибальну систему оцінки основних типів і підтипів ґрунтів (табл. 1.14).

Найбільш високим бонітетом серед підзолистих ґрунтів характеризуються легкосуглинкові різновиди, досить близькі до них супіщані в перезволожених і холодних районах. Дані категорії ґрунтів

більш теплі, краще прогріваються, більш водопроникні, досягають раніше, ніж глинисті і важкосуглинкові, легше обробляються. На більш південних дерново-підзолистих ґрунтах найвищий бонітет відмічається у середньосуглинкових різновидів. Із сірих лісових вищу оцінку одержують важкосуглинкові ґрунти, із чорноземів – глинисті різновиди, найбільш гумусовані і оструктурені, де негативні сторони високого вмісту глинистих частинок компенсуються їхньою хорошою агрегативністю. Це відбувається і в сіроземах, які володіють карбонатністю, і в червоних і жовтих алітних ґрунтах із залізистою агрегатністю.

Таблиця 1.14 – Приблизний бонітет різних ґрунтів за гранулометричним складом для хлібних злаків (за М.А. Качинським)

Ґрунти	Оцінка різних за гранулометричним складом ґрунтів, бал						
	глинисті	важкосуглинкові	середньосуглинкові	легкосуглинкові	супісчані	пісчані мілкозернисті, зв'язні	пісчані крупнозернисті, пухкі
Підзолисто-глієві	4	6	8	10	8	5	3
Підзолисті	5	6	8	10	7	5	3
Дерново-підзолисті	6	7	10	8	6	4	2
Сірі лісні	8	10	9	7	6	4	2
Чорноземи типові	10	9	8	6	4	3	1
Чорноземи південні	9	10	8	7	5	3	1
Темно-каштанові	8	10	9	7	6	3	1
Каштанові	7	9	10	8	6	3	1
Бурі	7	8	10	7	5	2	1
Сіроземи	8	10	9	7	5	3	2
Червоноземи та жовтоземи	10	9	7	6	4	-	-
Жовтоземопідзолисті	8	9	10	9	6	4	2

1.4.4 Склад ґрунту і водопроникність

Склад ґрунту характеризується щільністю і пористістю. Щільність ґрунту, або об'ємна маса, значною мірою визначає його водний і повітряний режими, біологічну активність, безпосередньо впливає на розвиток кореневої системи рослин. Вона залежить від мінералогічного, гранулометричного складу ґрунту, вміст органічної речовини і особливо від структурного стану.

Оскільки щільність порівняно легко визначається, її використовують як основний кількісний показник фізичного стану ґрунтів.

Щільність орного шару ґрунтів переважно знаходиться в межах 1,1-1,4 г/см³, проте відхилення від цих значень можуть бути значними, що сильно позначається на умовах розвитку рослин і ґрунтових організмів. Для багатьох рослин особливо садових культур, необхідно враховувати щільність перехідних горизонтів і ґрунтоутворювальних порід.

Важлива характеристика складу ґрунту – вміст в ньому повітря. При оптимальному складі ґрунту пористість аерації при польовій вологоємності не повинна бути нижче 15 %. При меншому вмісті в ґрунті повітря умови росту більшості культурних рослин погіршуються. Дослідами М.В. Курликової показано перевагу анаеробних процесів при об'ємі пор аерації 6 %.

При ущільненні ґрунту погіршується його аерація і збільшується частка недоступної вологи. При щільності 1,5-1,6 г/см³ на частку доступної вологи припадає всього 5-10 % об'єму ґрунту, причому ця вода є тільки при високому вологовмісті. Чим сухіше ґрунт, тим більше пригнічуються рослини від підвищеної щільності.

Нормальний газообмін ґрунту порушується при щільності більше 1,45 г/см³ в результаті скорочення кількості макропор і крупних капілярів.

Пригнічення рослин від зайвої щільності ґрунту виявляється в зниженні схожості, ослабленні забарвлення листя, зменшенні глибини проникнення кореневої системи, деформації коренів і бульб, зниженні росту рослин.

Несприятливо позначається на розвитку рослин і дуже пухкий склад ґрунту. Створювана системою обробітку щільність ґрунту, спочатку близька до оптимальної, в процесі вегетації змінюється до рівноважної. Величина цього дрейфу тим більше, чим сильніше рівноважна щільність відрізняється від оптимальної. Для чорноземів з високими показниками структурного стану різниця між оптимальною і рівноважною щільністю для більшості культур незначна (табл. 1.15), що визначає значні можливості мінімізації основного обробітку ґрунту аж до повної відмови від нього.

В інших ґрунтах ця різниця може досягати значних величин, що визначає необхідність використання прийомів протидії несприятливому дрейфу, в числі яких можуть бути, наприклад технології гребневої посадки картоплі та інших культур, меліоративні заходи, локальні прийоми обробітку ґрунту.

Таблиця 1.15 - Оптимальна і рівноважна щільність складу середньо- і важкосуглинкових ґрунтів (за В.В. Медведєвим)

Ґрунт	Щільність ґрунту, г/см ³		Дрейф
	оптимальна для ярих зернових	рівноважна	
Дерново-підзолистий	1,33	1,50	0,17
Чорнозем опідзолений	1,22	1,25	0,03
Чорнозем типовий	1,20	1,24	0,04
Чорнозем звичайний	1,20	1,27	0,07
Чорнозем південний	1,20	1,28	0,08
Темно-каштановий	1,23	1,32	0,09
Каштановий	1,25	1,35	0,10

Щільність ґрунтів значною мірою визначає його водопроникність. При цьому загальний об'єм пор у важких ґрунтах слабо впливає на процес фільтрації. Рух води відбувається не по всіх порах, а в основному по дренуючих (діаметром більше 100 мкм). Мезопори (діаметром 30-100 мкм), які містять капілярну вологу, при повному заповненні не беруть участь в процесі фільтрації; інфільтрація атмосферних опадів по них можлива тільки при їх частковому заповненні. Пори діаметром менше 30 мкм, в яких міститься пухко- і міцнозв'язана волога, процес фільтрації практично не захоплює. У важких мінеральних ґрунтах 70-90 % загальної пористості складають пори діаметром менше 30 мкм, на частку ж дренуючих пор в орному горизонті припадає 9-10 %, а в підорному – лише 2-4 % загальної пористості, отже, основна маса води в них знаходиться у зв'язаному стані і не здатна ні до висхідної, ні до низхідної міграції.

Інфільтрація води у важких ґрунтах відбувається не по всій площі ґрунтового профілю, а спостерігається інфлюкційний рух вологи з неоднорідним промочуванням по біопорах, реліктових тріщинах і тріщинах сезонної деформації. Крупні тріщини навіть в тому випадку, якщо вони не були зв'язані безпосередньо одна з одною, значно скорочують шлях води.

Оцінка водопроникності ґрунту проводиться з урахуванням природних і виробничих умов. Іригатори підрозділяють зрошувані ґрунти по швидкості вбирання на три великі групи:

- значної водопроникності, вбираючи за першу годину більше 150 мм води;
- середньої водопроникності, вбираючи за першу годину від 50 до 150 мм води;
- слабо водопроникності, вбираючи за першу годину менше 50 мм води.

Для умов звичайного природного вбирання дощових вод була запропонована наступна шкала оцінки водопроникності ґрунтів (табл. 1.16).

Таблиця 1.16 - Шкала оцінки дощів і водопроникності ґрунту

Інтенсивність дощу, або коефіцієнт вбирання води, мм/хв.	Оцінка	
	дощів	водопроникності ґрунту
>2.0	Сильні зливи	Дуже висока
2.0-0,5	Зливи	Висока
0,5-0,01	Сильні дощі	Підвищена
0,1-0,02	Помірні	Середня
0,02-0,005	Легкі	Знижена
0,005-0,001	Мряка	Низька
<0,001	Мряка	Дуже низька

Важливу проблему представляють оцінка умов водопроникності ґрунтів на схилах і її регулювання, особливо в період сніготанення, коли стік поверхневих вод проходить по мерзлому ґрунту.

Водопроникність мерзлих ґрунтів значною мірою залежить від вологості і глибини їх промерзання. Якщо ґрунт замерзнув при вологості 60-70% від повної вологості, він непроникний. При меншому зволоженні вода замерзає в ґрунті роз'єднаними кристалами, що забезпечує його водопроникність. Для її поліпшення доцільно глибокий обробіток або щільовання ґрунтів перед відходом в зиму.

1.4.5 Структурний стан ґрунтів

Під *структурністю ґрунту* розуміють його здатність розпадатися на агрегати під впливом механічних дій. *Структура ґрунту* – сукупність агрегатів різної величини, форми, пористості, механічної міцності і водоміцності. При оцінці структури слід відрізнити морфологічне її поняття від агрономічного.

Для морфологічного опису ґрунтів С.А. Захаров розробив класифікацію структур, яка включає три типи (з підрозділом на роди): кубовидна (глибиста, грудкувата, горіхова, зерниста), призмovidна (стовбчастовидна, стовбчаста, призматична), плитовидна (плитчаста, лускова). Роди діляться на види за величиною агрегатів.

Для агрономічної оцінки структури Н.І. Савінов запропонував класифікацію, згідно з якою до агрономічно-цінних відносяться агрегати розміром від 0,25 до 10 мм, більш крупні ґрунтові частини вважаються глибистою частиною ґрунту а більш дрібні – розпиленою частиною. Ці три роди підрозділяються на види (табл. 1.17).

Відношення маси грудочок діаметром від 0,25 до 10 мм до маси решти фракцій називається *коефіцієнтом структурності*.

Найкращі водно-повітряні властивості ґрунтів степової зони складаються при розмірі агрегатів від 0,25 до 3 мм, дерново-підзолистих – від 0,5 до 5 мм.

При оцінці стійкості ґрунту проти дефляції враховують вміст агрегатів розміром більше 1 мм в шарі ґрунту 0-5 см.

Таблиця 1.17 - Агрономічна класифікація ґрунтової структури
(за Н.І. Савіновим)

Роди	Види	Розмір агрегату (діаметр), мм
Глибистий	Крупні глиби	>100
	Середні	50-100
	Дрібні	10-50
Грудкуватий	Крупні грудочки	3,0-10,0
	Середні	1,0-3,0
	Дрібні	0,5-1,0
	Зернисті	0,25-0,5
Розпилений	Мікроструктурні елементи	0,01-0,25
	Пилувато-глинисті частинки	<0,01

Найважливішими умовами агрономічної цінності структури є її водоміцність і пористість (більше 45%).

Вміст водоміцних агрегатів в орному шарі чорноземів коливається переважно в межах 40-60%, що визначає стійкість складу і оптимальні значення щільності ґрунту для багатьох культур. Зменшення вмісту водоміцних агрегатів в типових чорноземах нижче 40% негативно позначається на ряді фізичних властивостей і в першу чергу на водопроникності. При зниженні кількості водоміцних агрегатів з 45-55 до 30 % водопроникність знижується в 3 рази.

Нестійкість складу дерново-підзолистих ґрунтів була пов'язана з невисоким вмістом в них водоміцних агрегатів, який змінюється від 15-17 % під просапними культурами до 20-30% під зерновими і до 30-40% під багаторічними травами. Ця нестійкість особливо різко виявляється в екстремальні за погодних умов роки. Дерново-підзолисті суглинкові ґрунти із вмістом водоміцних агрегатів менше 20% можуть ущільнюватися в орному шарі в роки з надмірним зволоженням до 1,5-16 г/см³. Оптимальний для вимогливих культур і стійкий склад дерново-підзолистих ґрунтів досягається при вмісті водоміцних агрегатів (>0,25 мм) більше 40%.

Для оцінки верхньої межі оптимального вмісту водоміцних агрегатів не має достатньої кількості даних. Орієнтовно нею можна вважати рівень 75-80%. При більш високому вмісті водоміцних агрегатів значно зростає пористість аерації в результаті збільшується непродуктивна витрата вологи на фізичне випаровування.

И.В. Кузнецова [55] запропонувала орієнтовну шкалу оцінки водомічної структури ґрунтів середнього і важкого гранулометричного складу і відповідний йому склад ґрунтів.

Агрономічне значення структури має декілька аспектів.

1. В структурних ґрунтах складається найсприятливіший водно-повітряний режим завдяки раціональному поєднанню капілярної і некапілярної пористості. Вони відрізняються більшою водопроникністю і вологоємністю. Наявність некапілярних пор сприяє зменшенню випаровування вологи з поверхні.

2. Достатня аерація за наявності доступної вологи створює кращі умови для активізації мікробіологічних процесів, запобігання денитрифікації, мобілізації живильних речовин.

3. Завдяки скороченню поверхневого стоку на структурних ґрунтах зменшується змив і розмив, а структурні агрегати розміром більше 1 мм стійко протистоять дефляції.

4. Агрономічно-цінна структура полегшує проростання насіння і розповсюдження коренів рослин.

5. На структурних ґрунтах зменшуються енергетичні витрати на механічний обробіток, створюються можливості його мінімізації аж до відмови від основного обробітку.

Процеси структуроутворення в ґрунтах протікають під впливом фізико-механічних, фізико-хімічних, хімічних і біологічних чинників.

До числа фізико-механічних чинників відноситься поділ ґрунту на агрегати в результаті зміни об'єму і тиску при змінному висушуванні і зволоженні, замерзанні і відтаванні води в ньому, тиск коренів рослин, діяльності риючих тваринних і розпушуючої дії ґрунтообробних знарядь. Розпушуюча дія промерзання на ґрунт виявляється тільки при оптимально вологому його стані. При замерзанні перезволоженого ґрунту, навпаки відбувається розрив структурних частинок, а промерзання сухого ґрунту не впливає на його кришіння.

Фізико-хімічні чинники структуроутворення – коагуляція і цементуюча дія ґрунтових колоїдів. При цьому водомічність забезпечується тільки склеюванням частинок органічними колоїдами при їх коагуляції дво- і тривалентними катіонами. Агрегати, що утворюються за участю тільки мінеральних колоїдів, водомічності не мають. Найводомічніша структура утворюється при взаємодії гумінових кислот з мінералами монтморилонітової групи і гідрослюдами. Мінерали гідроксидів заліза і алюмінію грають важливу роль в структуруванні червонокольорових глин і червоноземів.

В числі хімічних чинників структурування важливу роль грає цементация агрегатів окисними формами заліза при зміні відновних умов окислювальними в періодично перезволожених ґрунтах. Такі агрегати, за даними М.А. Качинського при високій водомічності мають малу

пористість (<40%), оскільки частина об'єму пор поступово заповнюється гідроксидом заліза.

Основна роль в структуроутворенні належить біологічним чинникам, тобто рослинності і організмам, що населяють ґрунт (особливо дощовим черв'якам). Первинне уявлення про формування водомічної структури, розвинене В.Р.Вільямсом зводилося до того, що утворений в ході розкладання рослинних залишків «діяльний» перегній просочує ґрунтові грудочки і склеює їх, потім відбуваються процеси денатурації, які перетворюють «діяльний» перегній на цемент. При цьому В.Р. Вільямс надавав вирішальне значення ульміновій кислоті та її кальцієвим солям.

Пізніше було доведено, що в процесах утворення водомічних агрегатів провідну роль відіграють гумінові речовини. Природа їх зв'язку з мінеральною частиною ґрунту до кінця не була вивчена, хоча показано, що вона здійснюється через іоногенні групи гідроксидів заліза, алюмінію, обмінних лужноземельних катіонів, сорбції на внутрішніх поверхнях глинистих мінералів монтморилонітової групи.

Надалі були отримані численні дані про динамічність водомічності ґрунтових агрегатів, коли протягом одного вегетаційного періоду спостерігалася зміна збільшення водомічності її спадом. Звідси витікає висновок, що разом з міцносклеюваними матеріалами в ґрунті є речовини, більш лабільні відносно склеювальної здатності. Таку здатність, як виявилось, мають полісахариди рослинного і мікробного походження причому другі в значно більшій мірі, ніж перші. Агрегація ґрунтів під впливом мікроорганізмів має різні аспекти: зчіпна сила міцелію актиноміцетів і грибів, склеювання частинок слизистими речовинами, які виробляються бактеріями і виділяються при їх автолізі.

ґрунтові агрегати, що сформувалися під впливом різних чинників, не можуть володіти однаковою стабільністю. Грудочка ґрунту, склеєна гуміновими речовинами, стійкими до мікроорганізмів, значно повільніше руйнується, ніж агрегат сформований під впливом білків, бактерійного слизу або зчіпної сили міцелію.

В географічному аспекті структурність ґрунтів корелює перш за все із вмістом гумусу. Це правило коректується солонцюватістю, засоленістю, оглеєністю, кислотністю ґрунтів, гранулометричним і мінералогічним складом.

1.4.6 Типи водного режиму ґрунтів

Залежно від надходження вологи в ґрунт, її пересування, зміни фізичного стану і витратами з ґрунту Г.Н. Висоцький встановив чотири типи водного режиму - промивний, періодично промивний, непромивний і випітний. Розвиваючи навчання Г.М. Висоцького, О.А. Роде виділив шість

типів водного режиму: мерзлотний, промивний, періодично промивний, непромивний, випітний, іригаційний. Останніми роками ця класифікація одержує подальший розвиток і налічує 14 типів водного режиму [74].

Тип мерзлотний властивий ґрунтам, які формуються в умовах багаторічної мерзлоти. Шар мерзлоти ґрунту, є водотривким, зумовлює наявність надмерзлотої верховодки. Тому вологість ґрунту, що відтанув, протягом більшої частини вегетаційного періоду підтримується на рівні від найменшої до повної вологоємності.

Водонасичений (водозастійний) водний режим характерний для болотних ґрунтів атмосферного зволоження і деяких болотних ґрунтів ґрунтового зволоження. Вологість ґрунту зберігається протягом всього року в межах повної вологоємності, лише іноді в посушливі періоди опускається до найменшої вологоємності (НВ).

Періодично водонасичений (водозастійний) водний режим характерний для болотних ґрунтів ґрунтового зволоження. Відповідно до сезонних коливань рівня ґрунтових вод вологість ґрунту варіює від повної до найменшої вологоємності. В окремі періоди можливо просихання верхнього горизонту нижче НВ.

Промивний водний режим властивий ґрунтам лісових зон, де річна сума опадів перевищує випаровуваність. В річному циклі вологообігу низхідні потоки переважають над висхідними. Ґрунтова товща щорічно весною і восени піддається крізному промочуванню до ґрунтових вод, що призводить до інтенсивного вилуговування продуктів ґрунтоутворення.

Періодично промивний водний режим відповідає умовам, коли річні величини опадів і випаровуваність близькі (опідзолені і лучні чорноземи Північного Лісостепу). Для даного типу водного режиму характерне чергування обмеженого промочування ґрунтової товщі (непромивні умови) в звичайні та посушливі роки і крізне промочування – у вологі (один раз на 10-15 років).

Промивний сезонно-сухий водний режим характеризується наявністю двох контрастних сезонів: дощового з вологістю ґрунту від повної до найменшої вологоємності і посушливого з вологістю ґрунту від вологості розриву капілярів до вологості в'янення. Такий водний режим характерний для тропічних вологих саван.

Непромивний водний режим домінує в умовах степів, напівпустель і пустель, де середня річна норма опадів менша від середньорічної випаровуваності. Ґрунтова товща промочується частіше за все в межах 0,5-2,0 м. У верхній частині ґрунтового профілю вологість коливається залежно від опадів, які випали, в межах від повної вологоємності до вологості в'янення, а в нижній частині вона знаходиться між вологістю розриву капілярів і вологістю в'янення (ВВ) протягом всього року.

Аридний (сухий) водний режим властивий ґрунтам напівпустель і пустель. Впродовж всього року вологість ґрунту в межах профілю близька до вологості в'янення або нижча.

Випітний водний режим виявляється в степовій і особливо в напівпустинній і пустинній зонах при близькому заляганні ґрунтових вод. В таких умовах відбувається інтенсивне підняття вологи по капілярах від ґрунтових вод у верхні горизонти ґрунту і її випаровування. За наявності у воді солей ці горизонти засолюються.

Десуктивно-випітний водний режим відрізняється від попереднього тим, що капілярна кайма ґрунтових вод не виходить на поверхню і випаровується не фізично, а відсмоктується кореннями рослин. Присутні в ґрунтовій воді солі випітніваються на деякій глибині у ґрунтовому профілі. Даний режим властивий луговим ґрунтам, а також напівгідроморфним.

Паводковий водний режим характерний для ґрунтів, періодично затоплюваних річковими, схиловими, дощовими або іншими водами. В таких умовах періодичне паводкове затоплення змінюється іншим типом водного режиму: промивним (в прируслі) десуктивно-випітним (в центральній заплаві), водозастійним (в притерасі) та ін.

Амфібіальний водний режим формується при постійному або тривалому затопленні ґрунтів водою (мілководдя озер, річкові плавні і т.д.). Ґрунт постійно знаходиться в перезволоженому стані, хоча поверхневі води можуть на деякий час і стікати.

Іригаційний водний режим створюється при штучному зрошуванні. Включає велику різноманітність категорій водного режиму в залежності від типу і інтенсивності зрошування, глибини і сезонних коливань ґрунтових вод, наявності і характеру штучного дренажу.

Осушний водний режим складається на штучно осушуваних болотних і заболочених ґрунтах, причому його конкретний вигляд також визначається характером дренажу і ступенем регулювання.

Описані категорії дуже узагальнено характеризують водний режим ґрунтів, не показуючи всієї різноманітності ситуацій, які складаються, що спонукає дослідників до подальшого вивчення цієї проблеми. В перспективному плані представляє інтерес класифікація водного режиму ґрунтів, запропонована Д.Ф. Ефремовим, Л.О. Карпачевським, А.П. Сапожниковим і А.Д. Вороніним [27]. Згідно цих класифікацій (табл. 1.18) тип водного режиму визначається поєднанням низхідного і висхідного потоків вологи. Якщо переважає висхідний потік, ґрунт (або його шар, в якому переважає цей потік) відносять до випітного, якщо низхідний – до промивного режиму.

Таблиця 1.18 - Класифікаційна схема типів водного режиму ґрунтів

Клас зволоження	Дренаж	Тип водного режиму ґрунтів
-----------------	--------	----------------------------

Мокрий	Дуже поганий, періодично утруднений	Постійно застійний, короткочасно поверхнево десуктивний
Сирий, періодично мокрий	Дуже поганий, періодично утруднений	Тривало застійний з літнім періодичним висушуванням до НВ
Сирий	Дуже поганий, періодично утруднений	Промивний, періодично застійний
Сирий, періодично вологий	Поганий, періодично утруднений	Промивний, періодично застійний з літнім евапотранспіраційним висушуванням
Вологий, періодично сирий	Поганий, періодично утруднений	Промивний, епізодично застійний
Вологий	Середній, періодично затримуваний	Промивний
Вологий, періодично свіжий	Середній, періодично затримуваний	Промивний з періодичним евапотранспіраційним висушуванням
Свіжий, періодично вологий до сирого	Середній, періодично затримуваний	Поверхнево-промивний з періодичним весняно-короткочасним і літньо-зливовим застійним перезволоженням (до НВ)
Свіжий	Хороший, епізодично затримуваний	Поверхнево-промивний з постійною вологістю вище ВВ
Свіжий, періодично сухий до дуже сухого	Хороший, епізодично затримуваний	Поверхнево-промивний з періодичним евапотранспіраційним висушуванням нижче ВВ
Сухий, періодично свіжий до вологого	Хороший, епізодично затримуваний	Поверхнево-промивний з епізодичним короткочасним літньо-зливовим перезволоженням до НВ
Сухий	Хороший, постійно промивний	Поверхнево-промочений
Дуже сухий	Хороший, постійно промивний	Поверхнево-промочуваний, постійно еваповисушуваний до МГ і нижче

По середньобогаторічній глибині промочування тип промивного водного режиму поділяють на підтипи: поверхневий – до 20 см, мілкий – до 50, середній – до 100, глибокий – до 150, дуже глибокий – більше 150 см.

Тип випітного режиму по капілярному підйому поділяється на підтипи: поверхневий – вода підіймається до шару 0-20 см, мілкий – до 20-50, середній – до 50-100, глибокий – до 100-150, глибинний – до шару більше 150 см.

Поєднання цих двох процесів дає відповідний клас водного режиму. Наприклад, дрібний промивний – середній випітний.

Застійний тип водного режиму поділяється по глибині шару із застійною водою, з вологістю більше НВ: поверхневий застійний, коли вода стоїть на поверхні ґрунту; неглибокий, коли вологість, відповідна НВ, спостерігається глибше 20 см; середній – теж в шарі нижче 50 см; глибокий – надмірне зволоження нижче 100 см; внутрішній – вологість, відповідна НВ, глибше 150 см (табл. 1.18).

На рівні класу зволоження враховують ступінь висушування ґрунту і глибину. За ступенем висушування виділяють градації: екстрависушування – вологість ґрунту нижче ВВ; десуктивне висушування – вологість ґрунту рівна ВВ; помірне висушування – вологість ґрунту рівна $\frac{1}{2}$ (НВ-ВВ); достатньо зволожений стан при вологості більше $\frac{1}{2}$ (НВ-ВВ). По глибині висушування виділяють градації: 0-20 см; 0-50, 0-75, 0-100, більше 100 см або відповідно поверхнєве, неглибоке, середнє, глибоке, дуже глибоке висушування.

Для оцінки тривалості цих процесів пропонуються градації: короточасний – 10 днів; малопродовжуваний – 10-20 днів; середньопродовжуваний – 20-30 днів; тривалий – більше 30 днів.

В класифікації була передбачена оцінка вірогідності прояву того або іншого процесу: капілярного підйому води на той або інший рівень, висушування ґрунтового шару і т.д.

1.4.7 Оцінка вологозабезпеченості ґрунтів

Розглядаючи критерії оцінки ґрунтової вологи в співвідношенні доступності рослинам, слід вказати наступні її категорії.

1. Недоступна для рослин волога (від максимальної гігроскопічності (МГ) – до води, зв'язаної в кристалічних решітках мінералів). Вологість ґрунтів, яка відповідає МГ, змінюється від 12-16% у глинистих ґрунтах до 6-12% у суглинкових і до 6% і менше у легких ґрунтах.

2. Дуже важкодоступна для рослин волога. Це частина пухкозв'язної води від максимальної гігроскопічності до вологості в'янення, слаборухома, пересувається тільки у вигляді пари, частково поглинається коренями з великою силою всмоктування.

3. Умовно важкодоступна волога. Знаходиться в межах між вологістю в'янення і вологістю розриву капілярів (ВРК). Це категорія вологості при якій підвішена волога в процесі свого випаровування втрачає здатність пересуватися до випарної поверхні. Поступає до коренів у формі пари, можливий плівковий механізм пересування.

4. Середньодоступна волога. Знаходиться в межах від вологості розриву капілярів до найменшої вологості (НВ), яка є найбільшою кількістю води, що утримується ґрунтом проти сил тяжіння. Найменша вологості змінюється від 10 % у легких ґрунтах до 50 % у важких. Середньодоступна волога володіє рухливістю і поступає до коренів рослин по капілярах і плівках.

5. Легкодоступна волога. Знаходиться в межах від найменшої вологості до повної вологості, є найбільшою кількістю води, яка може міститися у ґрунті при заповненні всіх пор. Ця категорія води володіє найбільшою рухливістю, але наявність її може бути причиною погіршення повітряного режиму ґрунту.

Названі категорії води об'єднуються в дві групи: непродуктивну воду (1-а і 2-а категорії) і продуктивну (3-а і 5-а категорії), нижньою межею якої служить вологість в'янення. Оптимум води для рослин лежить вище вологості розриву капілярів і до найменшої вологості (3-а і 4-а категорії води). Точніше, верхня межа вологості, при якій виникає перезволоження, знаходиться в інтервалі між повною і найменшою вологості і залежить від умов аерації. В піщаних і супіщаних ґрунтах пористість аерації при НВ надмірно висока, в легкосуглинкових оптимальна, в середньо- і важкосуглинкових – гранична (6-8 %). В глинистих дерново-підзолистих ґрунтах при НВ пористість аерації дуже знижується, відповідно критична вологість, що відповідає надмірному зволоженню, знаходиться нижче рівня НВ.

На практиці за початковий критерій вологозабезпеченості посівів використовують запаси продуктивної води у ґрунті. Дана оцінка має особливе значення перед початком весняних польових робіт оскільки з нею пов'язано прогнозування урожайності і коректування технологій обробітку сільськогосподарських культур, а також восени для планування заходів щодо накопичення і збереження води. Перед посівом озимих культур важливо знати не тільки загальні запаси продуктивної води, але і зволоження верхнього(орного) шару ґрунту, від якого залежить поява сходів.

Найбільш загальні оцінки цього критерію наведені в табл. 1.19. Запаси продуктивної води в метровому шарі ґрунту нижче 100 мм і вище 200 мм виходять за межі оптимальних для більшості польових культур. Надмірна вологість ґрунту (більше 250 мм) і дуже мала (менше 50 мм) негативно позначаються на розвитку рослин і їхній урожайності.

Таблиця 1.19 – Оцінка запасів продуктивної води
(за А.Ф. Вадюніною і З.А. Корчагіною)

Потужність шару ґрунту, см	Запаси води, мм	Якісна оцінка запасів води
0-20	>40 40-20 20	Хороші Задовільні Незадовільні
0-100	160 160-130 130-90 90-60 <60	Дуже хороші Хороші Задовільні Погані Дуже погані

Даний показник використовують при визначенні вологозабезпеченості посівів (K , мм), яку розраховують за формулою

$$K = (W + P) / E, \quad (1.10)$$

де W – запас продуктивної вологи в заданому шарі ґрунту перед посівом ярих культур або відновленням вегетації озимих, мм;

P – сума опадів за вегетаційний період культури, мм;

E – сумарне водоспоживання рослин, мм.

Сумарне водоспоживання (витрата води на випаровування ґрунтом і на транспірацію (E , м³/га) визначають за формулою

$$E = UK_B, \quad (1.11)$$

де U – урожайність, т/га;

K_B – коефіцієнт водоспоживання, м³ на 1 т урожаю.

В зрошуваному землеробстві і в зоні достатнього зволоження можливу урожайність можна приблизно визначати по середньобагаторічній вологозабезпеченості посівів.

Кількість середньобагаторічних опадів і коефіцієнт стоку уточнюють в найближчій від господарства агрометеорологічній станції.

За відсутності цих даних можливу урожайність (U , т/га) приблизно визначають за формулою

$$U = 10 (W + P) / K_B. \quad (1.12)$$

1.4.8 Забезпеченість ґрунтів елементами живлення

Забезпеченість ґрунтів елементами живлення і їхня доступність рослинам залежать від багатьох умов: гранулометричного і мінералогічного складу, гумусового стану, мікробіологічного режиму, реакції ґрунту, місткості поглинання і сполук обмінних катіонів, наявності токсичних речовин і сполучень, які зв'язують живильні елементи в

труднодоступні для рослин форми, складу і структурного стану ґрунтів, умов зволоження і температурного режиму. Оцінка ґрунтів для забезпеченості рухомими елементами живлення наведена в (табл. 1.20 – 1.22).

Таблиця 1.20 - Забезпеченість ґрунтів легкогідролізованим азотом, мг N на 100 г ґрунту

Забезпеченість азотом	pH <5			pH 5-6			pH >6		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Дуже низька	<4	<5	<7	<3	<4	<6	<3	<4	<6
Низька	<5	<7	<10	<4	<6	<8	<4	<5	<7
Середня	5-7	7-10	10-14	4-6	6-8	8-12	4-5	5-7	7-10
Висока	>7	>10	>14	>6	>8	>12	>5	>7	>10

Примітка: 1 – для зернових культур; 2 – для картоплі і корових коренеплодів; 3 – для овочевих культур.

Про потенційну забезпеченість рослин азотом судять за вмістом його легкогідролізованих форм, по нітрифікаційній здатності ґрунту. Фактичну забезпеченість встановлюють за наявністю у ґрунті запасів нітратного, нітритного і амонійного азоту. Забезпеченість посівів азотом розраховують на основі цих даних, а також даних про накопичення азоту за рахунок сучасної мінералізації і надходження з добривами.

Загальна тенденція перетворення сполук фосфору в ґрунті була пов'язана з переходом їх в більш стійкі важкорозчинні форми – тризаміщеного фосфату кальцію $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і фосфатів заліза і алюмінію. В процесі біологічного кругообігу фосфору і зміни його режимів в залежності від різних умов в ґрунті присутні розчинні його сполуки: кислі фосфати кальцію, заліза алюмінію різної основи та інші сполуки, сорбовані на поверхні глинистих мінералів, оксидів і гідроксидів заліза і алюмінію з різною міцністю зв'язку. Рухливість цих сполук залежить від реакції середовища, вмісту гумусу, вона істотно змінюється залежно від гранулометричного складу ґрунтів (табл. 1.21). В таблиці представлені шкали забезпеченості рослин рухомими фосфатами на основі відомих методів, прийнятих для різних ґрунтів. Ці оцінки, які характеризують чинник місткості, повинні доповнюватися оцінками чинника інтенсивності за Скофілдом або Карпінським і Замятіною. Для цього прийнятна витяжка 0,01 М CaCl_2 , яка імітує ґрунтові розчини (табл. 1.21).

Ґрунтовий калій ділять на необмінний, обмінний і, який знаходиться у ґрунтовому розчині. Валовий вміст K_2O може складати 2 % і більше. Частка обмінного калію по відношенню до загального запасу частіше за все складає менше 5 %, а в ґрунтовому розчині знаходиться тільки 1 % обмінного калію. Між цими формами існує рівновага. При зниженні вмісту

обмінного калію необмінний калій переходить в обмінний стан. З другого боку калій добрив може закріплюватися у ґрунті. Цей процес посилюється після вапнування.

Таблиця 1.21 - Оптимальні рівні забезпеченості фосфором і калієм дерново-підзолистих ґрунтів

Показники	Ґрунти	Орний горизонт	Підорний горизонт
Вміст рухомих фосфатів по Кірсанову (P_2O_5 , мг/кг ґрунти) для сівозмін: з переважанням зернових, багаторічних і однорічних трав, льону з кормовими коренеплодами, кукурудзою, овочами	1	200-300	150-250
	2	150-250	100-150
	3	100-150	80-100
	1	250-350	200-300
	2	200-300	120-150
	3	150-200	80-100
Концентрація P_2O_5 у витяжці 0,01 М $CaCl_2$ (мг/л) для сівозмін: з переважанням зернових, трав, льону з кормовими коренеплодами, кукурудзою, овочами	1-3	0,20-0,40	0,10-0,15
	1-3	0,50-0,60	0,15-0,20
Вміст рухомих форм калію (K_2O , мг/кг ґрунти) для сівозмін: з переважанням зернових, трав, льону з кормовими коренеплодами, кукурудзою, овочами	1	200-300	100-200
	2	170-230	100-150
	3	100-150	80-120
	1	250-350	100-200
	2	200-250	100-150
	3	140-200	80-120
Рухомі форми калію, % від місткості катіонного обміну	1	4,0-5,0	-
	2	3,5-4,0	-
	3	3,0-3,5	-

Примітка. Цифрами позначені ґрунти: 1 – суглинкові; 2 – супіщані, підстелені мореною; 3 – піщані і пухкопіщані, підстелені мореною.

Оцінки оптимальної забезпеченості ґрунтів сіркою для отримання високих урожаїв зернових, бобових і хрестоцвітних культур коливаються в межах 15–30 мг/кг. Фактичний вміст сірки в найбільш збіднених нею ґрунтах тайгово-лісової зони змінюється переважно в межах 6–20 мг/кг, досягаючи більш високих значень на окультурених ґрунтах. Слід підкреслити, що окультурення дерново-підзолистих ґрунтів, пов'язано з надходженням сірки з гноєм і мінеральними добривами, одночасно супроводжується значним зменшенням сорбції сульфатів в гумусових горизонтах у зв'язку зі зниженням кислотності і підвищенням вмісту рухомих фосфатів. Тим самим визначається додаткова потреба в сірці для формування високих урожаїв.

Інтенсифікація землеробства, підвищення урожайності сільськогосподарських культур визначають зростаючу потребу в

мікродобривах, ефективного використання яких можна досягти лише при врахуванні вмісту в ґрунтах рухомих форм мікроелементів.

Таблиця 1.22 - Угрупування ґрунтів за вмістом обмінного калію, визначуваного різними методами, мг/100 г ґрунту

Вміст обмінного калію	за Кірсановим	за Масловою	за Чиріковим	за Егнеру - Риму	за Оніані	за Мачигінім
Дуже низький	0-4	0-5	0-2	-	0-20	0-5
Низький	4-8	5-10	2-4	до 7	20-30	5-10
Середній	8-12	10-15	4-8	7-14	30-40	10-20
Підвищений	12-17	15-20	8-12	>14	-	20-30
Високий	17-20	20-30	12-18	-	>40	30-40
Дуже високий	>20	>30	>18	-	-	>40

1.4.9 Оцінка біологічної активності ґрунту

Показники біологічної активності ґрунту необхідні для характеристики його як біологічної системи і оцінки ступеня його зміни під впливом антропогенної дії, особливо ушкодження токсикантами і техногенними перевантаженнями. Внаслідок біохімічних перетворень в ґрунті відбуваються найважливіші процеси детоксикації ксенобіотиків, його самоочищення. Вирішальну роль в цих процесах відіграють асоціації ґрунтових мікроорганізмів, функціонуючих як єдине ціле завдяки впливу взаємозв'язаних метаболічних реакцій. Стерилізуючий ефект різних забруднювальних речовин призводить до випадання чутливих видів, розпаду мікробних ценозів зниженню біохімічної активності ґрунту і деградації екосистем.

Відомо багато показників, які характеризують різні аспекти біологічного стану ґрунтів. При вивченні біологічних реакцій кількість реєстрованих відгуків може бути практично нескінченним, тому вибір прийнятних показників є дуже непростою задачею, яка при всій її актуальності належного рішення ще не отримала. Можна говорити про нього лише в першому наближенні.

Для контролю за біологічним станом ґрунту важливо відібрати самі інтегральні показники, які піддаються інструментальному вимірюванню і відносяться до процесів з гомеостатичними механізмами. Під гомеостазом системи розуміється механізм регуляції, який упорядковує в часі зміну властивостей у напрямі стійкості основних характеристик системи. Проявом гомеостазу є певний діапазон значень рН, ОВП, вміст і склад органічної речовини, характерних для кожного типу ґрунту. Вирішальне

значення в підтримці гомеостатичного стану ґрунту мають елементарні ґрунтово-біологічні процеси: розкладання рослинного опадання, утворення гумусових речовин, розкладання гумусу, деструкція мінералів ґрунтоутворювальної породи, мінералоутворення, глеєутворення та ін. Абсолютно очевидно, що суть основних ґрунтово-біологічних процесів в ґрунті полягає в перетворенні органічних речовин. Для оцінки їх інтенсивності багато авторів використовують ферментативну активність ґрунту.

На основі узагальнення відповідних даних була запропонована система оцінки біологічної активності ґрунту [20,28], яка включає разом з оцінкою дихання ґрунту за виділенням вуглекислоти, показники ферментативної активності ґрунту в циклі вуглецю (дегідрогеназа целюлаза), азоту (уреаза, нітрат-нітритредуктаза), фосфору (фосфатаза) і загальну каталітичну активність ґрунту (табл. 1.23).

Таблиця 1.23 - Шкала для порівняльної оцінки біологічної активності ґрунту

Показник	Активність				
	дуже слабка	слабка	середня	висока	дуже висока
Виділення CO ₂ , CO ₂ /10 г/д	0-5	5-10	10-15	15-25	>25
Каталаза, O ₂ , см ³ /г/хв	До 1	1-3	3-10	10-30	>30
Дегідрогеназа по відновленню ТТХ, мкл H ₂ г/д	0-3	3-7	7-15	15-22	>22
Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ /10 г/год	0-5	0,5-1,5	1,5-5,0	5-15	>15
Протеаза, мг альбум./10 г/год	0-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	>3
Інвертаза, мг глюкози/г/д	До 5	5-15	15-50	50-150	>150

Представлена в таблиці 1.23 шкала порівняльної оцінки біологічної активності ґрунту має орієнтовний характер, потребує уточнення і перевірки на основі єдиних методів визначення ферментативної активності ґрунтів в різних умовах. Разом з оцінкою хімічного стану ґрунтів ця шкала служить складовою частиною пропонованої деякими авторами [20] комплексної системи показників моніторингу стану ґрунтів в умовах антропогенних забруднень.

Іншими авторами [4], як інтегральний показник біологічної активності ґрунту розглядається сумарна активність біомаси ґрунтових мікроорганізмів, визначувана респірометричним методом. Метод заснований на вимірюванні швидкості дихання популяції ґрунтових мікроорганізмів після збагачення ґрунту глюкозою.

1.4.10 Забрудненість ґрунтів важкими металами та іншими хімічними речовинами

До числа забруднюючих речовин навколишнього середовища входять важкі метали, пестициди, ряд похідних вуглецю, сірки, азоту, фтору, рідкі вуглеводні, синтетичні органічні речовини, радіонукліди та інші шкідливі речовини.

Згідно діючому в країні ДСТУ хімічні речовини, що потрапляють в ґрунт з викидів, скидів і відходів, підрозділяються на три класи за ступенем небезпеки (табл. 1.24).

Клас небезпеки хімічних речовин встановлюють по табл. 1.25.

Таблиця 1.24 - Класи забруднюючих речовин за ступенем їх небезпеки (ДСТУ 17.4.1.02-83)

Клас	Хімічні речовини
I. Дуже небезпечні	Миш'як, кадмій, ртуть, селен, свинець, фтор, бензопірен
II. Помірно небезпечні	Бор, кобальт, нікель, молібден, мідь, сурма, хром
III. Малонебезпечні	Барій, ванадій, вольфрам, марганець, стронцій, ацетофенол

Таблиця 1.25 – Показники для визначення класу небезпеки хімічної речовини (ДСТУ 17.4.1.02-83)

Показники	Норми для класів небезпеки		
	I	II	III
Токсичність, ЛД ₅₀ *	<200	200-1000	>1000
Персистентність у ґрунті, місяць**	>12	6-12	<6
ГДК у ґрунті, мг/кг	<0,2	0,2-0,5	>0,5
Міграція	Мігрують	Слабо мігрують	Не мігрують
Персистентність в рослинах, місяць	>3	1-3	<1
Вплив на харчову цінність сільськогосподарської продукції	Сильне	Помірне	Немає

Примітка: *ЛД₅₀ – летальна доза хімічної речовини, яка спричиняє при введенні в організм загибель 50 % тварин, мг/кг живої маси.

**Персистентність у ґрунті – тривалість збереження біологічної активності забруднюючої ґрунт хімічної речовини, яка характеризує ступінь її стійкості до процесу розкладання.

Таблиця 1.26 - Сільськогосподарські джерела забруднення ґрунтів важкими металами, мг/кг сухої маси

Елемент	Зрошування стічними водами	Фосфатні добрива	Вапняні матеріали	Азотні добрива	Органічні добрива	Пестици ди
As	2-26	2-1200	0,1-24	2,2-120	3-25	22-60
Cd	2-1500	0,1-170	0,04-0,1	0,05-8,5	0,3-0,8	-
Co	2-260	1-12	0,4-3,0	5,4-12	0,3-24	-
Cr	20-40000	66-245	10-15	3,2-19	5,2-55	-
Cu	50-3300	1-300	2-125	1-15	2-60	12-50
F	2-740	8500-38000	300	-	7	18-45
Hg	0,1-55	0,01-1,2	0,05	0,3-2,9	0,09-0,2	0,8-42
Mn	60-3900	40-2000	40-1200	-	30-550	-
Mo	1-40	0,1-60	0,1-15	1-7	0,05-3	-
Ni	16-5300	7-38	10-20	7-34	7,8-30	-
Pb	50-3000	7-225	20-1250	2-27	6,6-15	60
Se	2-9	0,5-25	0,08-0,1	-	2,4	-
Sn	40-700	3-19	0,5-4,0	1,4-16,0	3,8	-
Zn	700-49000	50-1450	10-450	1-42	15-250	1,3-25

Джерела надходження важких металів підрозділяються на природні і техногенні. До природних джерел відносяться вивітрювання гірських порід і мінералів, ерозійні процеси, вулканічна діяльність. Техногенні джерела забруднення ґрунтів важкими металами можуть бути розташовані в наступний ряд за масштабами забруднення і за питомим внеском: аеральні викиди підприємств чорної і кольорової металургії (найпотужніше джерело забруднення); потім автотранспорт; далі рідкі і тверді побутові комунальні відходи, включаючи осідання стічних вод (ОСВ); пестициди, органічні добрива, мінеральні добрива (табл. 1.26).

Характер профільного розподілу важких металів у природних і техногенних ландшафтах істотно розрізняється. Для техногенних територій характерний регресивно-акумулятивний тип розподілу, який виявляється в підвищеному накопиченні металів у гумусовому горизонті і різкому зниженні їх вмісту в нижчих шарах. На характер перерозподілу важких металів у профілі ґрунтів впливає комплекс ґрунтових чинників: гранулометричний склад, реакція ґрунтів, вміст органічної речовини, місткість поглинання катіонів, наявність геохімічних бар'єрів, дренаж.

Складну задачу представляє визначення гранично допустимих концентрацій хімічних речовин (ГДК) у ґрунтах. Поки що вона вирішена лише в першому наближенні. Наведені в табл. 1.27 ГДК хімічних речовин означають відповідно до ДСТУ «максимальну масову частку забруднюючої ґрунт хімічної речовини, яка не викликає прямого або непрямого впливу, включаючи віддалені наслідки, на навколишнє середовище і здоров'я людини».

Нормативи забруднення ґрунтів важкими металами потребують подальшої розробки, з урахуванням буферної здатності ґрунтів, яка відіграє значну роль в ослабленні токсичної дії важких металів на рослини. За свідченням ряду авторів рівні вмісту металів, при яких починають виявлятися ослаблення росту рослин і інші негативні ефекти, можуть розрізнятися у декілька разів у піщаних і глинистих окультурених і неокультурених ґрунтів. При розробці ГДК токсичних речовин повинна враховуватися не тільки безпосередня дія їх на живі організми але і на екосистему в цілому з урахуванням органічних зв'язків між її компонентами і можливих віддалених наслідків надходження забруднюючих речовин в біосферу.

Недолік нормування граничного забруднення окремо кожного елемента полягає ще в тому, що не враховується вплив негативної дії декількох елементів, кожен з яких присутній в субкритичних концентраціях. Ця інтеграція може бути непростю з проявом антагоністичної і синергічної взаємодії речовин, що потребує подальших досліджень.

На даному етапі, щоб в якійсь мірі подолати цей недолік, використовується сумарний показник забруднення, що є сумою значень коефіцієнтів концентрацій, тобто відношення аномальної концентрації кожного елемента до його фонового значення. Сумарний показник забруднення (Z_c) визначається за формулою

$$Z_c = Kc_i - (n - 1), \quad (1.13)$$

де Kc_i – коефіцієнт концентрації металу, рівний частці від ділення масової частки i -го елемента в забрудненому і фоновому ґрунтах;

n – кількість визначуваних інгредієнтів.

Характеризуючи загальну картину забруднення ґрунтів важкими металами, можна відзначити, що небезпечні його рівні, які перевищують значення ГДК, спостерігаються в основному біля металургійних підприємств в радіусі до 10-12 км і уздовж автодоріг з достатньо інтенсивним рухом (в смугах шириною до 100 м). В цих районах сільськогосподарське використання ґрунтів повинно бути строго спеціалізованим, їх слід виключати із звичайних сівозмін.

Таблиця 1.27 - ГДК хімічних речовин у ґрунтах і допустимі рівні їхнього вмісту за показниками шкідливості, мг/кг ґрунту з урахуванням фону

Елемент	ГДК	Показники шкідливості		
		Транс локаційний	водний	загальносанітарний
Водорозчинні форми				
F	10,0	10,0	10,0	25,0
Рухомі форми				
Cu	3,0	3,5	72,0	3,0
Ni	4,0	6,7	14,0	4,0
Zn	23,0	23,0	200,0	37,0
Co	5,0	25,0	1000	5,0
F	2,8	2,8	-	-
Cr	6,0	-	-	6,0
Pb	6,0	-	-	-
Валовий вміст				
Sb	4,5	4,5	4,5	50,0
Mn	1500	3500	1500	1500
V	150	170	350	150
Pb	30	35	260	30
As	2	2	15	10
Hg	2,1	2,1	33,3	5,0
Pb+Hg	20+1	20+1	20+2	30+2
Cu	55	-	-	-
Ni	85	-	-	-
Zn	100	-	-	-

З урахуванням сумарного показника забруднення була запропонована схема оцінки ґрунтів сільськогосподарського використання за ступенем забруднення хімічними речовинами (табл. 1.28).

Забруднення важкими металами з агропромислових джерел до рівнів, що наближаються до ГДК, можливі тільки на землях, на яких засоби хімізації, наприклад, пестициди або осідання стічних вод, застосовувалися тривалий час без належного контролю. Внесення мінеральних добрив і традиційних органічних добрив в середніх дозах, здатне підняти рівень вмісту важких металів у ґрунтах до нині діючих значень ГДК лише за сотні років.

Найвірогіднішими об'єктами, на яких можна чекати підвищених рівнів забруднення важкими металами і для яких необхідне проведення обстежень, є: приміські зони крупних промислових центрів (на відстані до 10 км); овочеві сівозміни, з високою насиченістю добривами і пестицидами; поля, з традиційно тривалим використанням стічних вод або

опадів стічних вод; території, на яких систематично застосовують пестициди (наприклад мідні препарати на виноградниках).

Таблиця 1.28 - Принципова схема оцінки ґрунтів сільськогосподарського використання за ступнем забруднення хімічними речовинами

Категорія ґрунтів за ступнем забруднення	Сумарний показник забруднення (Zc)	Забрудненість відносно ГДК	Можливе використання ґрунтів	Необхідні заходи
I. Допустима	<16,0	Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує фонове але не вище ГДК	Можна використовувати під будь-які культури	Зниження рівня дії джерел забруднення ґрунтів. Здійснення заходів щодо зниження доступності токсинів для рослин.
II. Помірно небезпечна	16,1-32,0	Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує ГДК при лімітуючому, загальносанітарному і міграційному водному показнику шкідливості не нижче ГДК по транслокаційному показнику	Можна використовувати під будь-які культури за умови контролю якості продукції рослинництва	Заходи, аналогічні категорії I. За наявності речовин з лімітуючим міграційним водним показником проводиться контроль за вмістом цих речовин в поверхневих і підземних водах
III. Дуже небезпечна	32,1-128,0	Вміст хімічних речовин в ґрунті перевищує ГДК при лімітуючому транслокаційному показнику шкідливості	Можна використовувати під технічні культури без отримання з них продуктів харчування і кормів в яких можливий вміст хімічних речовин вище ГДК	Заходи, аналогічні категорії I. Обов'язковий контроль за вмістом токсинів у рослинах, що використовуються як продукти харчування і кормів. Обмеження використання зеленої маси на корм худобі, особливо рослин-концентратив
IV. Надзвичайно небезпечна	>128	Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує ГДК за всіма показниками	Слід виключити з сільськогосподарського використання	Заходи щодо зниження рівня забруднення і скріплення токсинів у ґрунтах. Контроль за вмістом токсинів у ґрунті, атмосфері, водах

2. АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

2.1 Оцінка сільськогосподарських культур за їхніми біологічними вимогами до умов росту

2.1.1 Вимоги рослин до теплозабезпеченості і температурного режиму

Агроекологічна оцінка сільськогосподарських культур починається зі встановлення тривалості вегетаційного періоду. Загальна оцінка потреби рослин в теплі дається по сумі активних температур (вище 10°C) за період вегетації. Ця характеристика може дуже сильно розрізнятися не тільки у культур, але і у різних сортів однієї і тієї ж культури (табл. 2.1). Потреба в теплі розрахована практично для всіх сільськогосподарських рослин, їх сортів і гібридів.

Разом з цим показником для оцінки відношення культур до термічних умов важливо враховувати біологічний мінімум температури при проростанні насіння, появі сходів, діапазон сприятливих температур для появи сходів, біологічний мінімум температури для формування вегетативних і генеративних органів, плодоношення, зимівлі рослин.

Особливу увагу необхідно надати оцінці мінімальної температури для проростання насіння і появи сходів. При низькій температурі ґрунту насіння не дає сходів, а при тривалій дії низьких температур вони загнивають. Чим вище температура ґрунту в період посів – сходи; тим швидше йде проростання насіння при достатній кількості вологи. Наприклад, насіння озимої пшениці при температурі близько 5 °C проростають протягом 6 днів, при 10 °C – 4 днів при 15-20 °C – протягом 1-2 днів. Картопля при 11-12 °C в помірно вологому ґрунті дає сходи на 23 - й день, при 14-15 °C – на 17-18-й день, при 18-25 °C – на 12-13-й день. Проте, якщо температура ґрунту підіймається до 27-28 °C, то сходи з'являються тільки на 16-17-й день.

Для кожного виду рослин існують певні температурні межі, в межах яких відбувається проростання насіння. Для зернових культур, наприклад, мінімум знаходиться в межах 0-5 °C, оптимум – в межах 20-25 °C а максимум – в межах 30-40 °C. Для кукурудзи – відповідно 8-10, 30-35 і 40-50 °C.

Класифікація сільськогосподарських рослин за вимогами до температури проростання насіння і появи сходів була представлена в табл. 2.2.

Таблиця 2.1 - Потреба культур в теплі за вегетаційний період для широти 55°

Культура	Характеристика сорту (гібрида) по скоростиглості	Сума активних температур, °С
Яра пшениця	Ранньостиглий	1200-1400
	Середньостиглий	1300-1500
	Пізнньостиглий	1450-1700
Ячмінь	Самий ранньостиглий	950-1750
	Середньостиглий	1200-1350
	Пізнньостиглий	1300-1450
Овес	Самий ранньостиглий	1000-1250
	Середньостиглий	1250-1400
	Пізнньостиглий	1400-1600
Просо	Самий ранньостиглий	1400-1550
	Середньостиглий	1600-1750
	Пізнньостиглий	1800-1950
Кукурудза на зерно	Самий ранньостиглий	2100
	Середньостиглий	2400
	Середньопізнній	2700
	Пізнньостиглий	2900
Кукурудза на силос (фаза молочної стиглості)	Самий ранньостиглий	1800
	Середньоранній	2100
	Середньопізнній	2300
	Пізнньостиглий	2400
Гречка	Середньостиглий	1300
Горох	Середньостиглий	1300
Картопля	Середньостиглий	1600
Буряк цукровий	Середньостиглий	2000
Буряк кормовий	Середньостиглий	1500

Таблиця 2.2 - Мінімальна температура, необхідна для проростання насіння і появи сходів різних культур, °С

Культура	Проростання насіння	Поява сходів
Гірчиця, конюшина, люцерна	0-1	2-3
Пшениця, ячмінь, горох, буряк, чина, сочевиця, вика яра	1-2	2-3
Соняшник, картопля	5-6	8-9
Кукурудза, просо, суданська трава	8-10	10-11
Квасоля, сорго	10-12	12-13
Бавовник, арахіс, рис	12-14	14-15

Для більшості теплолюбних культур температура ґрунту, при якій допускається посів, повинна бути дещо вищою від початкової температури проростання насіння, інакше поява сходів сильно затягується, а ранні сходи можуть підпадати дії весняних заморозків.

Холодостійкість – здатність рослин тривалий час переносити низькі позитивні температури (від 1 до 10 °C) без необоротного пошкодження. Вона властива рослинам помірної зони на відміну від більшості субтропічних і тропічних рослин, які при температурі дещо вищій за 0 °C ушкоджуються.

Холодостійкість визначається здатністю рослин зберігати нормальну структуру цитоплазми і змінювати обмін речовин в період охолодження і подальшого підвищення температури.

Морозостійкість – здатність рослин переносити температуру нижче 0 °C. Морозостійкість складається із здатності рослин уповільнювати замерзання шляхом екранування від охолодження, пониження точки замерзання і стійкості протоплазми до дегідратації при замерзанні.

Уповільнення утворення льоду в тканинах обумовлено пониженням точки замерзання розчинів. Клітинний сік замерзає залежно від його концентрації при температурах від -1 до -5 °C. Клітини, об'єднанні в тканині, замерзають при більш низькій температурі ніж клітинний сік. Крім того, вода в клітинах здібна до переохолодження, тобто вона може охолоджуватися нижче за точку замерзання без негайного утворення льоду. Проте переохолоджений стан нестійкий, він рідко зберігається довше декількох годин.

Зниження точки замерзання дає хоча і обмежений, але єдиний захист рослинам від морозу в період вегетації. За стійкістю до заморозків в цей період польові культури розділяються на групи, характеристики яких наведені в табл. 2.3.

Морозостійкість багаторічних рослин – складніше явище, пов'язане з загартовуванням і морозостійкістю самої протоплазми. В умовах сезонного клімату рослини здобувають восени «льодостійкість», тобто здатність переносити утворення льоду в тканинах. Процес загартовування складається з декількох фаз, кожна з яких готує перехід до наступної. Загартовування до морозу у озимих злаків і плодових дерев починається багатоденною (до декількох тижнів) дією температур трохи вище за нуль. На цій фазі в протоплазмі нагромаджуються сахари та інші захисні речовини, клітини стають бідніше водою, а центральна вакуоль розпадається на безліч дрібних вакуолей.

Таблиця 2.3 - Стійкість сільськогосподарських культур до заморозків в різні фази розвитку, °С

Культура	Початок пошкодження і часткова загибель рослин у фазу			Загибель більшості рослин у фазу		
	сходів	цвітіння	дозрівання (молочної стиглості)	сходів	цвітіння	дозрівання (молочної стиглості)
Найстійкіші						
Яра пшениця	-9,-10	-1,-2	-2,-4	-10,-12	-2	-4
Овес	-8,-9	-1,-2	-2,-4	-9,-11	-2	-4
Горох	-7,-8	-3	-3,-4	-8,-9	-3,-4	-4
Чина	-7,-8	-2,-3	-2,-8	-8,-10	-3	-4
Стійкі						
Віка ярова	-6,-7	-3	-2,-4	-8	-3,-4	-4
Нут	-6,-7	-2,-3	-2,-3	-8	-3	-3,-4
Боби	-5,-6	-2,-3	-2,-3	-6	-3	-3,-4
Соняшник	-5,-6	-3	-2,-3	-7,-8	-3	-3
Сафлор	-6,-7	-2,-3	-3,-4	-8	-3	-4
Гірчиця біла	-6,-7	-3,-3	-3	-8	-3	-4
Льон	-5,-7	-1,-3	-2,-4	-7	-2	-4
Цукровий буряк	-6,-7	-2,-3		-8	-3	
Середньостійкі						
Соя	-3,-4	-2	-2,-3	-4	-2	-3
Малостійкі						
Кукурудза	-2,-3	-1,-2	-2,-3	-3	-2	-3
Просо	-2,-3	-1,-2	-2,-3	-3	-2	-3
Суданська трава	-2,-3	-1,-2	-2,-3	-3	-2	-3
Сорго	-2,-3	-1,-2		-3	-2	-3
Нестійкі						
Гречка	-1,-2	-1	-1,-2	-2	-1	-2
Бавовник	-0,5;-1	-0,5;-1	-1	-1	-1	-2
Рис	-0,5;-1	-0,5		-1	-0,5	-2

Завдяки цьому протоплазма виявляється підготовленою до наступної фази, яка проходить при регулярних слабких морозах від -3 до -5 °С. При цьому ультраструктури і ферменти протоплазми перебудовуються таким чином, що клітини переносять зневоднення, пов'язане з утворенням льоду. Тільки після цього рослини можуть, не наражаючись на небезпеку, вступати в заключну фазу процесу загартовування, яка при безперервному морозі щонайменше від -10 до -15 °С робить протоплазму морозостійкою. Відлига, особливо в кінці зими, викликає швидке зниження стійкості рослин. Після закінчення зимового спокою здібність їх до загартовування і разом з тим високий ступінь загартування швидко втрачаються.

Жаростійкість рослин означає здатність переносити жару без необоротного пошкодження. Жаростійкість складається із здатності протоплазми витримувати екстремально високі температури і здібності уникати пошкоджень екрануванням і віддзеркаленням проміння, теплоізоляцією, охолоджуванням в результаті транспірації.

Жаростійкість залежить від тривалості дії тепла, тобто підкоряється закону доз: більш помірна жара при великій тривалості надає таке ж пошкодження, як і короткочасна сильна жара. Тому жаростійкість прийнято характеризувати перенесенням певних температур при їх півгодинній дії.

По відношенню до жаростійкості розрізняються групи нежаростійких видів рослин, які ушкоджуються вже при 30-40 °С, жаровитривалих еукаріотів, які переносять півгодинне нагрівання до 50–60 °С. Температура вище 60 °С є неперехідною межею для високодиференційованих рослинних клітин. Більш високі температури здатні переносити лише жаростійкі прокаріоти.

Жаростійкість – дуже специфічна властивість: навіть близько споріднені види одного і того ж роду можуть помітно розрізнятися за цією ознакою. Найхарактерніші відмінності в стійкості виникли в ході еволюції і відбору. Так, наприклад, жаростійкість листя багатьох видів в тундрі складає 42 °С, в тайзі – 44 °С, а в жарких напівпустелях – 47 °С.

З культурних рослин жаростійкістю володіють теплолюбні рослини південних широт – сорго, рис, бавовник, рицина. В період утворення генеративних органів жаростійкість однорічних рослин знижується.

Іноді як критерій жаростійкості використовують тривалість дії високої температури, при якій настає параліч устячок листя. Наприклад, у вівса, досить чутливого до високих температур і схильного до запалу, параліч устячок настає при температурі 38-40 °С через 4-5 годин. У ячменю, який характеризується більш високою жаростійкістю, параліч устячок відзначено при температурі 38-40 °С через 25-35 год, а у проса відзначеного ще більш високою жаростійкістю, паралічу устячок не спостерігається при цій температурі протягом 48 год.

2.1.2 Відношення рослин до світла

Фізіологічна дія світла на рослини виявляється прямо (через фотосинтез) і впливає побічно на ріст і розвиток. Швидкість фотосинтезу визначається інтенсивністю падаючого світла, температурою, яка впливає на ензиматичні процеси фіксації CO_2 , і концентрацією CO_2 в тканинах.

Ріст і розвиток рослин окрім інтенсивності і спектрального складу світла залежать також від тривалості світлового і темного періодів. Недостаток світла може призвести до голодування і загибелі рослини а надмірна освітленість нерідко виявляється причиною сонячного опіку.

Серед вищих рослин широко поширений фотоперіодизм, пов'язаний з адаптацією їх до сезонних режимів умов освітлення. До фотоперіодичних реакцій відноситься: цвітіння, бульбоутворення, формування репродуктивних органів, перехід в стан спокою та ін.

По реакції на тривалість дня рослини ділять на три основні групи: довгого дня, короткого дня і нейтрального дня.

Рослини довгого дня цвітуть і плодоносять при тривалості дня не менше 12 год. До них відносяться озимі і ярі злаки першої групи (пшениця, жито, ячмінь, овес), всі культури сімейства хрестоцвіті (капуста, редька, гірчиця та ін.), всі макові, горох, квасоля, сочевиця, вика, картопля, цукровий буряк, льон.

До групи рослин короткого дня входять види, цвітіння яких швидшає при скороченні денного освітлення (менше 12 год): злаки другої групи (кукурудза, просо, суданська трава й ін.), всі гарбузові, соя, рицина, квасоля, кунжут, бавовник, південні сорти конопель, багато сортів тютюну, хміль, з овочевих – батат, червоний перець.

Тривалість вегетаційного періоду у короткоденних рослин убиває по мірі просування на південь, а у довгоденних – на північ.

До рослин нейтрального дня відносять види, які не мають фотоперіодичної чутливості і зацвітають майже одночасно при будь-якій тривалості дня (кінські боби, гречка, соняшник, сафлор, нут).

Крім цих груп, розрізняють рослини проміжні (стенофотоперіодичні), які зацвітають при середній тривалості дня; рослини короткодовгоденні, які швидко зацвітають при дії на них спочатку коротким, а потім довгим днем (наприклад, скабіоза); рослини довгокороткоденні, які швидко зацвітають після перебування їх спочатку в умовах довгого, а потім короткого дня.

Фотоперіодична реакція видів і різновидів рослин пов'язана з їх географічним походженням. Рослини короткого дня походять з тропічних і субтропічних країн. В помірних широтах переважають рослини довгого дня.

Кожній рослині властива певна амплітуда світлової напруженості. Виділяють три екологічні групи рослин по відношенню до світла:

геліофіти (облігатні і факультативні), тіньовитривалі і тіньові (сунофіти). У тіньовитривалих рослин інтенсивність фотосинтезу може досягати максимуму приблизно при 50 % повного денного освітлення.

2.1.3 Відношення рослин до вологозабезпеченості

Рослини витягують воду з ґрунту до тих пір, поки всмоктувальна сила корінців може конкурувати з всмоктувальною силою ґрунту. Поглинання води відбувається тим інтенсивніше, чим більше всмоктувальна поверхня кореневої системи і чим легше корені і ґрунтова волога приходять в зіткнення один з одним.

Корені розвивають завдяки концентрації клітинного соку всмоктувальну силу, достатню для витягання із ґрунтів більшої частини зв'язаної води. Потім всмоктувальна сила ґрунту різко зростає. Для подальшого споживання води корінням необхідний притік її з ділянок ґрунту, вільних від коренів, або корені слідує за водою, збільшуючи свою активну поверхню.

У вологолюбних трав'янистих рослин стійке в'янення настає при всмоктувальній силі ґрунту 0,7-0,8 МПа, у більшості сільськогосподарських рослин – при 1-2 МПа, а у рослин помірно сухих місцях вирощування і деревних порід – при 2-3 МПа. Відповідну вологість називають вологістю в'янення. Її визначають, фіксуючи вологість ґрунту, при якій рослини стійко в'януть. Відношення вологості в'янення до максимальної гігроскопічності називають коефіцієнтом в'янення. Величина його значно змінюється у різних рослин (табл. 2.4).

Вологість в'янення залежить від щільності ґрунту. При його ущільненні значно скорочується кількість водо- і повітропровідних пор, в які могли б проникати корені рослин. В той же час збільшується частка дрібних неактивних пор, в яких вода утримується з тиском більше 1,6 МПа. В інтервалі щільності 1,50 - 55 г/см³ вологість в'янення збільшується на 28 – 30 % в порівнянні з ущільненням 1,11 - 4,44 г/см³.

Оптимальна вологість шару розповсюдження коріння, при якій досягається максимальна інтенсивність росту рослин, змінюється для різних видів в межах 65-90 % найменшої вологості, зокрема: 75-90 % – для багаторічних трав 65-80 % – для зернових, 70-85 % – для овочевих культур.

Узагальнені дані по оптимальній вологості для деяких культур наведені в табл. 2.5. Ці дані носять вельми рекогносцирувальний характер, оскільки діапазон оптимальної вологості залежить від структурного стану ґрунтів, їх гранулометричного складу. Наприклад, нижня оптимальна межа вологості ґрунту для озимої і ярої пшениці, кукурудзи, картоплі, зернобобових культур становить на важких, середніх і легких ґрунтах

відповідно 75, 70 і 65 % НВ, для овочевих культур – 80, 75 і 70 % НВ, для багаторічних трав – 75, 70 і 60 % НВ.

Таблиця 2.4 - Коефіцієнти в'янення різних сільськогосподарських культур

1,0-1,2	1,2-1,4	1,4-1,6	1,6-1,8
Виноград Сорго	Сорго Яблуна Айва Суданська трава Буркун Люцерна Житняк	Груша Вишня Черешня Слива Алича Льон Пшениця Ячмінь Просо	Соняшник Смородина Чай Огірки Картопля Овес Кукурудза Гречка Соя М'ята перцева

Таблиця 2.5 - Оптимум вологості ґрунту для різних рослин

Вміст води у ґрунті, % НВ			
>100	100-80	80-70	70-60
Рис	Мандарин Фейхоа М'ята перцева Огірки	Картопля Гречка Горох Капуста Конюшина Овес Кукурудза Соя Коноплі Смородина	Цукровий буряк Люцерна Пшениця Жито Ячмінь Бавовник Соняшник Виноград

При перезволоженні ґрунтів порушується повітряний режим, нагромаджуються токсичні продукти анаеробіозу. Стійкість різних рослин до перезволоження або затоплення водою неоднакова (табл. 2.6). Деякі з рослин характеризуються дуже високою пристосованістю до надлишку вологи за рахунок розвитку повітроносних тканин в коренях, поверхневого розвитку кореневих систем в більш аерованих шарах ґрунту.

Таблиця 2.6 - Відносна стійкість рослин до затоплення

Нестійкі	Слабостійкі	Стійкі
Люцерна Ячмінь Квасоля Конюшина повзуча Конюшина сунічна Буркун білий Салат-латук Овес Картопля Томат Абрикос Персик	Кострець Бавовник Костриця лугова Рис суходільний Жито Райграс багаторічний Сорго Тимофіївка Пшениця Пирій Яблуня Слива	Костриця висока Рис Лядвенець великий Груша

Таблиця 2.7 - Допустимі терміни весняного затоплення лугових трав

Трави	Допустима тривалість весняного затоплення, д	Сума температур порожнистої води, °С
Конюшина лугова, костриця червона, люцерна	5-10	20-40
Тимофіївка, тонконіг, конюшина гібридна, мишачий горошок	12-17	70-80
Лисохвіст, костер безостий, пирій повзучий	18-25	90-100
Канаркова трава, бекманія	30-40	140-160

Тривалість виживання рослин в умовах затоплення сильно залежить від температури води. Якщо у весняний період допустима тривалість затоплення різних видів багаторічних трав (табл. 2.7), коливається в межах 5-25 діб (для деяких видів більше), то в літній період вона не повинна бути більше 20-26 год. Для зернових культур літнє затоплення не повинне перевищувати 5-12 год, для овочевих – 5-7 годин.

Рослини по-різному реагують на глибину залягання і якість ґрунтових вод. Їхній вплив може бути позитивним, коли йдеться про «ґрунтове живлення» рослин прісними, особливо проточними водами, при оптимальній глибині їх залягання, і навпаки, рослини можуть пригнічуватися в результаті заболочування при близькому розташуванні ґрунтових вод або страждати від надлишку солей при підвищеній мінералізації.

Рівень ґрунтових вод, при якому рослини починають пригнічуватися і гинути, *називається критичним*. В полуаридних і аридних умовах це відбувається в основному через високу їхню мінералізацію. В гумідних умовах, де підвищена мінералізація ґрунтових вод зустрічається рідко, негативний вплив їх був пов'язаний тільки із заболочуванням.

Критичний рівень ґрунтових вод залежить від інтенсивності капілярного підняття, потужності капілярної кайми і мінералізації води.

В межах капілярної кайми вологість ґрунту зменшується до верхньої її межі. В нижній її частині водою заповнені всі ґрунтові пори, в середній – дрібні і середні, а у верхній – тільки дрібні. Таким чином, у верхній зоні капілярної кайми створюються оптимальні умови водно-повітряного режиму для рослин, при достатній вологості зберігається хороша аерація. Тому глибина залягання ґрунтових вод буде оптимальною в тому разі, коли верхня частина капілярної кайми знаходиться в зоні масового розповсюдження коренів рослин.

Дані оптимальної глибини залягання слабомінералізованих ґрунтових вод для різних рослин наведені в табл. 2.8.

При застійних ґрунтових водах, характерних для понижених замкнутих елементів рельєфу відбувається накопичення токсичних продуктів анаеробіозису. Особливо несприятливі такі води для багаторічних насаджень – садів і виноградників. Їх передчасна загибель при рівні залягання застійної води на глибині 1,5-2,0 м неминуча, навіть при невисокому ступені мінералізації.

При проточних ґрунтових водах на схилах терас з вільним ґрунтовим стоком, в передгір'ях плодові дерева не зазнають пригнічення при розташуванні кореневих систем в зоні капілярної кайми завдяки достатній забезпеченості киснем.

Таблиця 2.8 - Оптимальна глибина залягання прісних ґрунтових вод для різних рослин

Рослина	Глибина залягання води, см	Рослина	Глибина залягання води, см
Пшениця	90-110	Слива	120-160
Ячмінь	90-110	Вишня	120-160
Овес	80	Волоський горіх	160
Льон	80-100	Виноград	110-150
Кукурудза	100-120	Абрикоса	150-200
Картопля	100-120	Персик	130-180
Бавовник	100-150	Смородина	80-100
Цукровий буряк	100-110	Малина	80-100
Жито	80-120	Костер безостий	70
Горох	70-80	Люцерна	70
Коноплі	80-100	Райграс пасовищний	80-100
Журавлина	25-30	Костриця лугова	80-100
Брусниця	30-35	Тонконіг звичайний	80-100
Яблуня	140-200	Конюшина лугова	80-100
Груша	140-200	Люпин	100-120

Рослини по-різному переносять ґрунтове перезволоження. Найбільш стійкі до нього багаторічні трави, які розташовуються в ряд: буркун білий (9-12 днів), люцерна середня (10-14), житняк гребінчастий (10-17), костер безостий (24-28) пирій мілкоцвітний (31-35), тимофіївка лугова і канаркова трава (більше 40 днів).

В табл. 2.9 показані відносні рівні продуктивності багаторічних насаджень в залежності від глибини залягання ґрунтових вод, засолених нейтральними солями з мінералізацією більше 2 г/дм³ і лужними солями.

В умовах недостатнього зволоження продуктивність сільськогосподарських рослин визначається їх посухостійкістю, тобто здатністю переносити значне збезводнювання клітин, тканин і органів.

Рослини піддаються водному стресу як в результаті дефіциту вологи в ґрунті (ґрунтова посуха), так і через посилення транспірації у відповідь на високу температуру і низьку вологість повітря (атмосферна посуха). Ґрунтова посуха звичайно наростає поступово, і рослини частково встигають пристосуватися до неї, атмосферна посуха настає раптово, її дія призводить до запалу рослин.

Таблиця 2.9 - Рівень продуктивності багаторічних насаджень залежно від глибини залягання мінералізованих ґрунтових вод

Рівень ґрунтових вод, м	Продуктивність (в умовних одиницях – від 0 до 1)		
	насіннячкових, абрикоса, черешні	сливи, вишні, яблуні	виноградної лози
3,75	1,00	-	-
3,50	1,00	-	-
3,25	0,98	-	-
3,00	0,97	1,00	-
2,75	0,90	1,00	1,00
2,50	0,80	0,95	1,00
2,25	0,68	0,88	0,96
2,00	0,53	0,80	0,90
1,75	0,38	0,68	0,84
1,50	0,18	0,55	0,87
1,25	0,10	0,35	0,73
1,00	0,10	0,10	0,70
0,75	-	0,10	0,25
0,50	-	-	0,10

Під дією посухи знижується схожість насіння, зменшується ріст зародкових коренів, затримується формування вторинної кореневої системи, закриваються устячка, листя в'яне і скручується, швидшає їхнє старіння, дуже скорочується ККД фотосинтезу і т.д.

Як комплексна властивість посухостійкості залежить від здатності рослин уникати висихання і стійкості до висихання. Уникати висихання допомагають всі механізми, за допомогою яких рослині вдається при сухості повітря і ґрунту зберігати якомога довше хороший стан води в тканинах. Це досягається в тій чи іншій мірі більш ефективним поглинанням води з ґрунту шляхом підвищення сисної сили і розвитку кореневої системи, зменшенням втрати води завдяки своєчасному закриттю устячок, ефективному захисту від кутикулярної транспірації і зменшенню транспіруємих поверхонь, запасанням води і підвищенням здатності проводити воду.

Стійкість до висихання – це видоспецифічна і здатна до адаптивної зміни властивість протоплазми переносити сильне зневоднення.

Посуха буває іноді такою сильною, що рослини вже не в змозі витягувати воду з ґрунту. Посухостійкість рослин при повному припиненні водопостачання називається *витривалістю*. Це міра специфічної здатності даного виду рослини зберігати запаси води в своїх пагонах.

Існують різні класифікації рослин по їх відношенню до водного режиму. Виділяють наступні основні екологічні типи рослин: гідрофіти, гігрофіти, мезофіти, ксерофіти. Більшість рослин, що використовуються в сільському господарстві, – мезофіти і значно рідше – ксерофіти. Серед

культурних форм типових ксерофітів практично немає, вони представлені дикорослими видами.

Таблиця 2.10 - Середня витрата води на утворення 1 г сухої речовини, г

Рослини	Витрата	Рослини	Витрата
Пшениця	540	Люцерна	840
Ячмінь	520	Костер безостий	1016
Жито	630	Конюшина лугова	640
Овес	580	Кінські боби	776
Рис	680	Кавун	580
Горох	778	Бавовник	570
Кукурудза	370	Амарант	300
Просо	300	Портулак	280
Сорго	322	Дуб	340
Картопля	640	Береза	320
Гречка	578	Бук	170
Соняшник	600	Сосна	300
Льон	905	Модрина	260
Квасоля	700	Ялина	230
Цукровий буряк	397		

Таблиця 2.11 - Коефіцієнти водоспоживання сільськогосподарських культур для районів нечорноземної зони Росії, м³/т сухої біомаси

Культура	Умови зволоження, роки		
	вологі	середні	посушливі
Озима пшениця	375-450	450-500	500-525
Озиме жито	400-425	425-450	450-550
Яра пшениця	350-400	400-465	435-500
Ячмінь	375-425	435-500	470-530
Овес	435-480	500-550	530-590
Кукурудза (зелена маса)	174-250	250-350	350-406
Картопля	167-300	450-500	550-659
Буряк	240-300	310-350	350-400
Льон	240-250	300-310	370-380
Багаторічні трави (сіно)	500-550	600-650	700-750
Багаторічні трави (пасовища)	125-140	150-165	175-190

До певної міри посухостійкість рослин може характеризуватися *коефіцієнтом транспірації*, тобто кількістю води в грамах, яка витрачається на синтез 1 г сухої речовини. Величина його значною мірою залежить від умов місцеперебування (водно-фізичних властивостей ґрунту, забезпеченості живильними речовинами і ін.) і зімкнутості фітоценозу. Проте, цей коефіцієнт вельми специфічний для різних культур і дозволяє судити, наскільки продуктивно витрачається волога рослинами (табл. 2.10).

Коефіцієнт водоспоживання сільськогосподарських культур – кількість води (м^3), що витрачається на випаровування з поверхні ґрунту і транспірацію для утворення 1 т сухої біомаси – менш специфічний для конкретних рослин і характеризує ефективність використання вологи агроценозом. Він сильніше залежить від природних і агротехнічних чинників, ніж коефіцієнт транспірації, різко зростаючи в роки з недостатньою кількістю опадів. Зниження коефіцієнта водоспоживання досягається скороченням непродуктивної витрати вологи шляхом вдосконалення технологій обробітку сільськогосподарських культур.

Коефіцієнт водоспоживання має важливе значення при розрахунку рівня можливої урожайності. В табл. 2.11, представлені найхарактерніші коефіцієнти водоспоживання основних польових культур.

Для дерев важливою умовою посухостійкості є здатність подавати воду у верхні частини крони. Посухостійкість плодових дерев збільшується в такому порядку: груша, яблуня, слива і персик.

2.1.4 Вимоги рослин до фізичних умов ґрунтів, їхнього складу та структурного стану

Проява цих умов значною мірою залежить від гумусового стану ґрунтів, гранулометричного і мінералогічного складів, потужності орного шару, ступеня окультуреності. Кількісно виміряти відношення різних культур до цих умов не завжди можливо. Проте для якісної оцінки їх впливу на продуктивність рослин існуючого практичного досвіду в більшості випадків достатньо.

Таблиця 2.12 - Відношення рослин до гранулометричного складу ґрунтів [11]

Рослини, для яких вважаються найкращими ґрунти			
Піщані і супіщані	Середні- і легкосуглинкові	Структурні важкосуглинкові і глинисті	Малоструктурні і злиті важко-суглинкові і глинисті
Озиме жито Яре жито Картопля Арахіс Кавун Диня Гарбуз Еспарцет Черешня Оливки Люцерна жовта Житняк сибірський Овес піщаний Піщана акація Сосна	Просо Сорго Овес Жито Гречка Ячмінь Соя Соняшник Кунжут Рицина Квасоля Горох Томат Картопля Черешня Яблуна Груша Чай Оливки Виноград Волоський горіх Мандарин Лимон Айва Інжир Тютюн Кедр Дуб	Пшениця Ячмінь Кукурудза Жито Соя Соняшник Рицина Нут Квасоля Льон Цукровий буряк Коноплі Бавовник Вика Конюшина Слива Абрикос Вишня Волоський горіх Гранат Хурма Дуб Клен Ясен	Рис Кукурудза Цукрова тростина Люцерна Фундук Слива Вишня Гранат Хурма Фейхоа Пирій Буркун Ялина Дуб Дика яблуна Дика груша

Таблиця 2.13 - Родючість скелетних ґрунтів Криму

Група ґрунтів за скелетністю	Кількість скелета, %	Родючість, %		
		зернові	сади	виноградники
Дрібноземлисті	<10	100	100	100
Слабо хрящуваті	10-30	100-90	100	100
Середньо-хрящуваті	30-50	90-70	100-70	100
Сильно-хрящуваті	>50	70-50	70-50	100-70
Хрящувато-щебенисті	10-30	90-70	100	100
Щебенисті	30-50	70-50	70-50	100-70
Щебенисто-кам'янисті	50-70	50-30	50-30	70-50
Кам'янисті	70-90	0-30	0-30	20-50
Скелетні	>90	0	0	20

Таблиця 2.14 - Оптимальна щільність орного шару різних ґрунтів для деяких польових культур

Ґрунти	Гранулометричний склад ґрунтів	Культури	Оптимальна щільність, г/см ³	
			середнє значення	інтервал
Дерново-підзолисті	Важко- і середньо-суглинкові Легкосуглинкові і супіщані	Зернові	1,29	1,10-1,40
		Кукурудза	1,15	1,10-1,20
		Картопля	1,11	1,10-1,20
		Зернові колосові	1,27	1,25-1,35
		Кукурудза	1,22	1,10-1,45
Чорноземи лісостепу і сірі лісові ґрунти	Важко- і середньо-суглинкові Легкосуглинкові	Зернові колосові	1,21	1,05-1,30
		Цукровий буряк	1,14	1,00-1,26
		Зернові колосові	1,23	1,10-1,40
Чорноземи Степу і каштанові ґрунти Сіроземи	Важко- і легкосуглинкові	Зернові	1,19	1,05-1,30
		культури	1,19	1,05-1,30
		Кукурудза	1,26	1,20-1,40
		Бавовник		

Традиційно при оцінці вимог культур до фізичних умов ґрунтів основна увага приділялась відношенню їх до гранулометричного складу. Довгий час він використовувався як інтегральна характеристика фізичних властивостей ґрунтів. Більшість рослин відрізняє екологічна належність до певних категорій ґрунтів, а для деяких вона вельми специфічна. Наприклад, разом з псамофітами, приуроченими до піщаних місцезростань (житняк сибірський, саксаул, овес піщаний, сосна та ін.), існує група рослин, які не виносять піщаних ґрунтів (кукурудза, слива, вишня, ялина, дуб і ін.).

В цілому про відношення рослин до гранулометричного складу ґрунтів можна судити по табл. 2.12, складеної В.Ф.Вальковим [11]. Проте, треба мати на увазі, що в різних природних зонах відношення рослин до гранулометричного складу сильно змінюється залежно від умов зволоження і теплозабезпечення.

Таблиця 2.15 - Рівень родючості ґрунтів для багаторічних насаджень при різному ступені ущільнення шару розповсюдження кореневої системи (25-150 см)

Склад профілю	Щільність, г/м ³	Рівень родючості (в умовних одиницях від 0 до 1)		
		Плодові		Виноградники
		насіллячкові	кісточкові	
Дуже рихлий	1,15	1,00	1,00	-
	1,20	1,00	1,00	1,00
Рихлий	1,25	1,00	1,00	1,00
Слабоущільнений	1,30	1,00	1,00	1,00
	1,35	0,95	0,92	1,00
	1,40	0,78	0,73	0,90
Ущільнений	1,45	0,65	0,56	0,70
Сильноущільнений	1,55	0,39	0,35	0,30
	1,60	0,28	0,21	0,10
Дуже щільний	>1,70	0,00	0,00	0,00

Особливо важливо враховувати гранулометричний склад ґрунтів виборі ділянок під багаторічні насадження, оскільки помилки, допущені при закладці садів і виноградників, виявляються надто пізно і значними затратами праці і засобів. Оптимальний вміст фізичної глини для плодкових насаджень змінюється в межах 30 - 65 % [71, 52].

Для виноградників найвищий рівень родючості мають ґрунти із вмістом фізичної глини 25 - 30 %.

При оцінці вимоги культур до гранулометричного складу ґрунтів особливо враховують їх відношення до скелетності, тобто наявності механічних елементів розміром більше 1 мм.

В невеликій кількості скелетні включення індиферентні або позитивно впливають на урожайність деяких культур. Наприклад, відомі факти більш високої урожайності виноградників (на 10 - 20 %) на слабоскелетних різновидах перегнійно-карбонатних ґрунтів в порівнянні з дрібноземистими без скелетних включень [11].

Підвищення скелетності ґрунтів призводить до зниження урожайності всіх культур, хоча у виноградників воно відбувається більш поступово (табл. 2.13). Останніми роками з'явилася досить різноманітна

інформація, яка характеризує вимоги рослин до складу ґрунту (щільності і пористості).

Польові культури проявляють різне відношення до щільності ґрунту (табл. 2.14). Для більшості культур суцільної сівби ці значення знаходяться в межах 1,1 - 1,3 г/см³, для просапних – в межах 1,0 - 1,2 г/см³, що відповідає 55 - 60 % загальної пористості. Деякі культури, наприклад бавовник, люцерна, люпин, добре розвиваються при більш високих значеннях щільності орного шару. Особливо виділяється рис, для нормального росту і розвитку якого необхідна висока ущільненість верхнього шару.

Таблиця 2.16 - Реакція плодових культур на ступінь ущільнення (г/см³) суглинних і глинистих ґрунтів для горизонтів різної потужності

Реакція дерев	Потужність горизонту ґрунту, см	Культура			Примітка
		Черешня, абрикос	Яблуня	Слива, вишня	
Довговічні, сильно плодоносять	20-80	<1,45	<1,50	<1,50	Глибоке ущільнення не має значення для сливи на дренованих ґрунтах
	80-150	<1,45	<1,50	<1,50	
	150-200	<1,50	<1,50	<1,50	
Ростуть і плодоносять задовільно	20-80	<1,45	<1,50	<1,55	-
	80-150	<1,48	<1,55	1,60-1,70	
	150-200	<1,50	1,55-1,75	1,60-1,75	
Ростуть задовільно, але тільки на дренованих плоских схилах крутизною не менше 3-10°	20-80	<1,45	<1,50	<1,55	Тільки для районів достатнього зволоження
	80-150	<1,48	1,55-1,60	немає	
	150-200	1,50-1,55	немає значення	значення	
Дуже пригнічені і не плодоносять	20-80	<1,50	<1,60	<1,70	В степових районах ущільнені ґрунти неприпустимо використовувати під сади
	80-150	<1,55	<1,65	<1,70	
	150-200	<1,60	<1,70	-	

Проникнення коренів більшості рослин в ущільнені горизонти з об'ємною масою 1,4 - 1,6 г/см³ утруднено, їх розвиток пригнічується, при більш високих значеннях щільності ріст кореневої системи неможливий.

Для плодових насаджень має важливе значення щільність всього шару розповсюдження коріння до 1,5 - 2,0м (табл. 2.16).

По стійкості до ущільнення ґрунту плодові дерева розташовуються в такому порядку: черешня, абрикос, груша, яблуня, слива, вишня.

Максимальна продуктивність всіх плодових порід на важких ґрунтах спостерігається при щільності менше $1,35 \text{ г/см}^3$, на легких - $1,40 \text{ г/см}^3$. В результаті вивчення багаторічної урожайності плодових дерев на ґрунтах Північного Кавказу з різним ущільненням В.Ф.Вальков [11] встановив взаємозв'язок цих показників (табл. 2.15). Подібні дані були отримані і для виноградарників. При ущільненні активної кореневої товщі до $1,35 \text{ г/см}^3$ і відповідно пористості вище 50 % рівень родючості ґрунтів для культури винограду залишається високим. Але вже при щільності $1,5 \text{ г/см}^3$ і пористості 45 - 50 % урожайність знижується в два рази, а при щільності більше $1,7 \text{ г/см}^3$ виноград гине. Ущільнення ґрунту негативно позначається на накопиченні цукру в ягодах і сприяє зростанню кислотності. Тому перед посадкою садів і виноградарників проводять меліоративний обробіток ґрунту, особливо плантаж.

2.1.5 Потреба рослин в елементах живлення і характер їх споживання

Накопичено великий фактичний матеріал про споживання мінеральних речовин сільськогосподарськими рослинами. Різні їх види, виростаючи на одному і тому ж ґрунті, поглинають з нього мінеральні речовини в різних співвідношеннях. Вимоги рослин до мінерального живлення обумовлені їхніми генотиповими особливостями. Тип елементного хімічного складу рослинності був закладений на ранніх етапах формування і склався при освоєнні нею різних геохімічних ніш [33]. Це знаходить віддзеркалення в хімічному складі рослин різних сімейств (табл. 2.17).

Відмінності між ними дуже істотні. Злакові рослини набагато багатші за інші кремнієм але бідніше кальцієм, натрієм, молібденом і бором. Сімейству хрестоцвітих властиво підвищена кількість натрію, хлору, сірки, бору, магнію. У бобових багато азоту і молібдену, в гречаних – марганцю, цинку і кобальту.

Ці відмінності посилюються різноманітністю хімічного складу окремих родів і видів рослин у зв'язку з їх пристосуванням в процесі еволюції до певних умов живлення. У фітомасі рослин виявляються практично всі відомі хімічні елементи, показана участь 27 з них в метаболічних процесах, 15 визнані необхідними для нормального росту і розвитку рослин (C, O, H, N, P, K, Ca, Mg, Fe, S, Cu, B, Mn, Zn, Mo).

Таблиця 2.17 - Вміст макро-и мікроелементів у рослинах, мг/кг сухої маси

Родина рослин	N	P	K	Na	Ca	Mg	Si
Злаки	15990	2040	18100	1720	3650	1630	10930
Боби	33560	3520	21930	2750	13860	2870	4460
Лободові	18530	3200	25380	35270	14080	7320	4900
Хрестоцвіті	25070	3770	22380	7360	16100	2350	2900
Складноцвіті	16100	2200	13200	5600	8500	2450	2200
Гречані	17800	2720	18320	4200	13150	5300	6500

Продовження таблиці 2.17

Родина рослин	S	Cl	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Co
Злаки	1700	3920	720	49	20,6	5,4	6,8	0,91	0,27
Боби	1610	3840	700	50	25,8	7,6	22,3	1,32	0,33
Лободові	10250	29550	220	96	26,3	8,5	35,7	0,85	0,33
Хрестоцвіті	2950	7660	179	59	19,0	5,4	23,9	1,16	0,32
Складноцвіті	1900	6300	466	75	28,7	10,4	22,4	1,12	0,45
Гречані	1250	-	234	132	63,0	5,7	27,3	0,91	0,56

Значний вплив на хімічний склад рослин, крім генетичного чинника, надають екологічні умови. Надлишок тих або інших хімічних елементів в навколишньому середовищі позначається на хімічному складі рослин, але дуже по-різному. Одні з них здатні накопичувати мінеральні елементи у великих кількостях, інші підвищених концентрацій не переносять.

Вміст мінеральних речовин в рослинах залежить від ґрунтово-кліматичних умов, агротехніки, добрив.

Інтенсивність засвоєння мінеральних елементів має періодичність і може розрізнятися по фазах росту і розвитку у декілька разів. Наприклад, ячмінь споживає мінеральні елементи в основному в період від кущіння до виходу в трубку, у пшениці період споживання дещо більш розтягнутий, у буряку максимальне споживання в середині вегетації, у проса – перед викиданням волоті, у плодових дерев спостерігається два періоди інтенсивного засвоєння елементів живлення: рано весною (розпускання квіткових бруньок, цвітіння, утворення листового апарату) і восени, після загасання росту і знімання плодів, що пов'язано з осіннім ростом коренів і закладкою плодових бруньок.

Можливості споживання мінеральних елементів рослинами з ґрунту були пов'язані з особливостями розвитку кореневих систем, здатністю витягувати живильні речовини з труднодоступних форм. Остання ознака, крім залежності від потужності кореневої системи, залежить від специфічної її здатності безпосередньо впливати на ґрунти кореневими виділеннями. Ідентифікація рослин по цій здатності не отримала розвитку

проте емпірична її оцінка практикується. Відома, зокрема, підвищена засвоювана здатність коренів гречки, гірчиці, люпину, буркуну, соняшнику в порівнянні із зерновими колосовими, тим більше льоном і коноплями.

Кількісні оцінки розвитку кореневих систем рослин до певної міри відображають їх відношення до родючості ґрунту. Наприклад, коренева система у вівса сильніша, ніж у ячменю, у озимого жита сильніша, ніж у озимої пшениці. Відповідно пшениця більш вимоглива до родючості ґрунту, ніж жито, а ячмінь більш вимогливий від вівса. Зрозуміло, цей зв'язок сильно коригується рядом інших чинників.

2.1.6 Відношення рослин до реакції ґрунту

Реакція ґрунту впливає на ріст рослин безпосередньо і через постачання живильними речовинами. При рН менше 3 і більше 9 протоплазма клітин в коренях більшості листкостеблових рослин ушкоджується. Крім того, надлишок Al^{3+} в сильноокислих ґрунтах і боратів в лужних чинить на корені токсичну дію.

Різні рослини мають неоднаковий інтервал рН, сприятливий для їх росту і розвитку (табл. 2.18), і мають різну чутливість до відхилення реакції від оптимальної. В цьому відношенні вони розділяються на декілька груп:

1. Найбільш чутливі до кислотності: бавовник, люцерна, еспарцет, цукровий, столовий і кормовий буряки, коноплі, капуста. Вони добре ростуть тільки при нейтральній або слаболужній реакції (рН 7-8) і дуже сильно реагують на внесення вапна навіть на слабоокислих ґрунтах.

2. Чутливі до підвищеної кислотності: ячмінь, яра і озима пшениця, кукурудза, соя, квасоля, горох, кормові боби, конюшина, соняшник, огірки, цибуля, салат. Вони краще ростуть при слабоокислій або нейтральній реакції (рН 6-7) і добре реагують на вапнування не тільки сильноокислих, але і середньоокислих ґрунтів. На вапнованих ґрунтах урожайність цих культур значно підвищується, різко зменшується випадання озимої пшениці і конюшини при перезимівлі.

Таблиця 2.18 - Інтервал рН ґрунту, сприятливий для росту різних рослин

Рослина	рН	Рослина	рН
Люцерна	7,2-8,0	Соняшник	6,0-6,8
Цукровий буряк	7,0-7,5	Бавовник	6,5-7,3
Коноплі	6,7-7,4	Просо	5,5-7,5
Капуста	7,0-7,4	Жито	5,0-7,7
Огірки	6,4-7,5	Овес	5,0-7,5
Цибуля	6,4-7,5	Гречка	4,7-7,5
Ячмінь	6,0-7,5	Редис	5,0-7,3
Пшениця озима	6,3-7,5	Морква	5,6-7,0
Пшениця яра	6,0-7,3	Томат	5,0-8,0
Кукурудза	6,0-7,5	Льон	5,5-6,5
Соя	6,5-7,5	Картопля	4,5-6,3
Горох	6,5-7,0	Чайний кущ	4,0-5,0
Кормові боби	6,0-7,0	Люпин	4,6-6,0
Квасоля	6,4-7,1	Бруква	4,8-5,5
Конюшина	6,0-7,0	Тимофіївка	4,5-7,6
Салат	6,0-7,0		

3. Слабочутливі до підвищеної кислотності: жито, овес, просо, гречка, тимофіївка, томат, редис, морква. Ці культури можуть задовільно рости в широкому інтервалі рН, при кислій і слаболужній реакції (рН 4,5-7,5), але найбільш сприятлива для їхнього росту слабокисла реакція (рН 5,5-6,0). На сильно- і середньокислих ґрунтах вони позитивно реагують на вапнування повними нормами, що пояснюється не тільки зниженням кислотності, але і посиленням мобілізації живильних речовин і поліпшенням живлення рослин азотом і зольними елементами.

4. Льон і картопля потребують вапнування тільки на сильноокислих ґрунтах. Картопля малочутлива до кислої реакції і добре росте на кислих ґрунтах. Для льону характерний вузький інтервал оптимальної реакції. Він чутливий і до підвищеної кислотності ґрунту, і до лужної реакції. Найбільш сприятливі для його росту слабокислі ґрунти (рН 5,5-6,0).

При внесенні високих норм вапна і доведенні реакції середовища до нейтральної урожай картоплі й льону і особливо його якість можуть знижуватися, картопля сильно уражається паршою, а льон – бактеріозом. Негативний вплив підвищених норм вапна на ці культури пояснюється не стільки нейтралізацією кислотності, скільки зменшенням кількості засвоєних сполук бору в ґрунті, а також надмірною концентрацією іонів кальцію у ґрунтовому розчині, внаслідок чого утрудняється надходження в рослини інших катіонів, зокрема магнію і калію.

5. Люпин синій і жовтий, середела, чайний кущ краще ростуть на кислих ґрунтах (рН 4,5-5,0) і погано - при лужній і навіть нейтральній реакції ґрунту. Ці культури чутливі до надлишку водорозчинного кальцію

в ґрунті, особливо на початку росту, тому негативно реагують на підвищені норми вапна. Проте, при внесенні знижених норм вапняних добрив, що містять магній, зниження урожаю цих культур не спостерігається.

По чутливості до кислотності і чуйності на вапнування розрізняються не тільки різні сільськогосподарські рослини, але і різні їхні сорти (особливо ячменю, ярої пшениці, кукурудзи, гороху, конюшини, люцерни).

Зони оптимальних значень рН значною мірою змінюються залежно від гранулометричного складу ґрунтів, вмісту гумусу.

Характеризуючи відношення плодових культур до реакції середовища, слід зазначити, що на кислих ґрунтах при рН нижче 5 для насіннячкових і нижче 6 для кісточкових порід необхідне вапнування. Абрикос не виносить кислої реакції але малочутливий до лужної реакції глибоких горизонтів. Груша і яблуня, добре розвиваючись на слабокислих ґрунтах, абсолютно не виносять підвищеної лужності навіть в глибоких горизонтах. Оцінка реакції середовища для плодових насаджень може бути такою: при рН 3,5-4,5 ґрунти придатні під плодові насадження тільки після вапнування; 4,5-6,0 – придатні під плодові насадження, бажано вапнування для кісточкових порід; 6,0-8,0 – придатні під сади без меліорації; 8,0-8,5 – придатні для кісточкових і задовільні для насіннячкових порід; більше 8,5 – під сади непридатні.

Оптимізація реакції ґрунтів має особливу екологічну значущість для районів з радіонуклідним забрудненням. Зміна реакції дерново-підзолистих ґрунтів від середньокислої до оптимальної знижує надходження радіонуклідів стронцію-90 і цезію-137 в зернові культури в 2-3 рази, а в сіно багаторічних трав в 3-5 разів.

2.1.7 Чутливість сільськогосподарських культур до забруднення ґрунтів важкими металами

Щоб забезпечити нормальне протікання метаболічних процесів, рослини активно поглинають коренями дефіцитні іони і затримують надмірні іони. Остання процедура здійснюється різними рослинами за допомогою різних механізмів і з неоднаковим успіхом. Рослини, не здатні повністю виключити проникнення надмірних іонів в метаболічні центри, страждають від їх надлишку, знижується урожайність, погіршується якість продукції, а при накопиченні високотоксичних елементів (кадмію, свинцю, цинку, миш'яку, ртуті та ін.) виникає загроза отруєння споживачів продукції. Тому важливо знати граничні величини накопичення металів тими або іншими рослинами, їх окремими органами та інтенсивність

даного процесу в різних умовах. Із цього приводу поки що немає достатньої ясності, хоча накопичений чималий матеріал.

Таблиця 2.19 - Граничне накопичення важких металів деякими сільськогосподарськими культурами, мг/кг сирової маси

Культура	Мідь	Свинець	Цинк	Кадмій
Буряк листовий	0,7-2,1	0,2-2,0	4,0-29,0	-
Томат	0,5-1,1	0,07-0,1	1,0-10,0	-
Морква	0,5-1,3	0,1-1,6	3,0-8,0	0,05-0,5
Ревінь	0,2-0,8	0,04-0,7	0,4-5,3	-
Буряк столовий	0,9-3,0	0,1-2,2	6,0-31,0	-
Перець червоний	0,8-1,2	0,05-0,12	2,0-4,0	-
Картопля	-	0,27	-	0,04-0,12
Пшениця	-	0,20	-	0-0,2
Жито	-	0,30	-	0-0,2
Овес	-	0,20	-	-

Встановлено, що найбільша кількість важких металів нагромаджується, як правило, в коренях, потім в стеблах, далі в листях і менше всього в зерні, а також у корене- і бульбоплодах.

Рослини різних видів мають неоднакову здатність накопичувати важкі метали. Поки що важко побудувати конкретні ряди по здатності поглинання, хоча такі спроби відомі, але як загальні закономірності можна відзначити найвище накопичення важких металів в овочах, особливо листових, і силосних рослинах і менше надходження в бобові, злакові і технічні культури.

Найбільш легко поглинаються і нагромаджуються в їстівних частинах рослин такі елементи, як цинк, кадмій, марганець, молібден; навпаки, поглинання свинцю, ртуті, хрому досить обмежено. В таблиці 2.19 наведені дані по накопиченню деяких з них рослинами.

2.1.8 Реакція рослин на забруднення повітря

До числа джерел забруднення повітря, що завдають найвідчутнішого збитку сільськогосподарському виробництву, відносяться озон, діоксид сірки, оксиди азоту, вуглеводні і фтористий водень. Шкідливі речовини проникають з повітря в рослини в результаті газообміну, а також з дощем і при осадженні туману і пилу на поверхні пагонів. Токсична дія залежить від концентрації шкідливої речовини і тривалості його дії. Ознаками пошкодження можуть бути: акумуляція шкідливих речовин в рослині, зсуви рН на поверхні пагонів і в тканинах, знижена або, навпаки, підвищена активність певних ферментів, розпад хлорофілу, депресія

фотосинтезу зміни в білковому обміні і у вторинному метаболізмі, порушення росту і, нарешті, зміни проникності і параліч замикаючих клітин.

У дерев порушується механізм всмоктування води і водний режим, листя обпадає, верхівкові пагони засихають. При менш сильному пошкодженні дерева не гинуть, але їх продуктивність і приріст помітно знижуються. Ріст пагонів сповільнюється річні кільця в деревині стають помітно більш вузькими. В цілому картина пошкодження різноманітна і досить неспецифічна – одна і та ж шкідлива речовина спричиняє у різних рослин неоднакові ефекти, а один і той же симптом може викликатись різними речовинами; часто виникають лише окремі, а не всі можливі ефекти.

Різні види рослин неоднаково чутливі до шкідливих газів.

По відношенню до сірчистого газу дуже чутливі – люцерна, люпин, конюшина, квасоля, салат, шпинат, редис, ячмінь, бавовник; чутливі горох, вика; стійкі – рапс, цибуля, кукурудза.

До фтористого водню дуже чутливі – кукурудза, петрушка, слива, цибуля; чутлива – люцерна; стійкі – томати, спаржа, пшениця, соняшник, буряк, квасоля.

До оксидів азоту дуже чутливі – шпинат, квасоля, овес; стійкі – капуста, гарбуз, суниця, цибуля.

2.1.9 Вплив рельєфу і літологічних умов на рослини

Вплив на рослини відносної висоти, експозиції і крутизни схилів виявляється не прямо, а побічно, через перерозподіл агрокліматичних ресурсів. У зв'язку із зміною умов інсоляції, вітрового режиму перерозподілом води і тепла продуктивність рослин на різних елементах рельєфу може розрізнятися у декілька разів. Навіть в межах рівнин в умовах горбистого рельєфу при різниці висот 20 - 100 м і крутизни схилів 2 - 7° мають місце істотні відмінності в рості і розвитку рослин. Перш за все наголошується прискорення їх розвитку на позитивних елементах рельєфу в порівнянні з негативними, що пов'язано з відмінностями в добовому ході температури повітря і в зволоженості ділянок.

Тривалість вегетаційного періоду більшості сільськогосподарських культур помірних широт в умовах горбистого рельєфу збільшується разом із збільшенням добових коливань температури повітря в напрямі від вершини і верхньої частини схилу до підніжжя його або до дна долини. На вершинах і верхніх частинах схилів тривалість вегетаційного періоду різних культур на 3 - 8 днів, а на середніх частинах схилів на 2 - 4 дні менше в порівнянні з відкритим рівним місцем. В широких долинах і у підніжжя схилів тривалість вегетаційного періоду у різних культур на 3 - 5

днів більше, ніж на відкритому рівному місці. Швидкість розвитку рослин змінюється також залежно від експозиції схилу: на південних схилах вона, як правило, вища, ніж на північних. Ці умови в землеробстві враховуються у край слабо, хоча стан їх вивченості і наявний практичний досвід дозволяють істотно змінити розміщення сільськогосподарських культур і технології їх обробітку.

Склад і будова ґрунтоутворювальних порід нерідко є визначальними відносно умов ґрунтоутворення і ріст тих або інших видів рослин. В даному випадку особливо виділяються так звані літогенні ґрунти, які розвинені на виходах стародавніх відкладень. Деякі з них, наприклад, на каоліновій корі вивітрювання або на третинних морських монтморилонітових глинах практично не придатні для вирощування більшості польових культур, зокрема на виходах морени, дуже несприятливі.

Істотно розрізняється відношення культур до ґрунтів на різних четвертних відкладеннях, особливо шаруватих. Агрономічна оцінка ґрунтоутворювальних порід не набула належного наукового розвитку. Проте є певний практичний досвід підбору культур для вирощування на літогенних і інших ґрунтах з проблематичною літологією.

2.2 Оцінка сільськогосподарських культур за впливом на ґрунти і ландшафти у зв'язку з особливостями біології і агротехніки

2.2.1 Оцінка культур за кількістю рослинних залишків, які надходять в ґрунт, і їх якісним складом

Кількість і якість рослинного матеріалу, який надходить в ґрунт після тієї або іншої культури, в значній мірі визначає режим мінерального живлення, агрономічні властивості ґрунтів і фітосанітарну ситуацію. Сільськогосподарські культури внаслідок різних біологічних особливостей і технологій обробітку неоднаково впливають на режим органічної речовини. По зменшенню надходження в ґрунт післязбиральних залишків кореневої маси можна розташувати у вигляді наступного ряду: багаторічні трави – кукурудза на силос – озимі зернові – ярі зернові – зернобобові – цукровий і кормовий буряк – картопля – льон-довгунець.

Абсолютна кількість рослинних залишків після кожної культури залежить від умов обробітку. В зернових агроценозах, наприклад, вона може складати від 1,5 до 5 т/га (а при залишенні соломи і більше).

Усереднені дані про кількість післязбиральних залишків деяких польових культур наведені в табл. 2.20. Відповідно до надходження в ґрунт рослинних залишків складається баланс гумусу: під багаторічними

травами найбільш благополучно при обробітку зернових культур на південних чорноземах, наприклад, втрати його складають 0,2 - 0,4 т/га, під просапними вони зростають до 0,6 - 1,0 т/га.

Таблиця 2.20 - Кількість післязбиральних залишків різних культур, що надходять в орний шар ґрунту, за даними, узагальненими різними авторами, т сухої речовини на 1 га

Культура	В.А. Дьомін (1989)	Л.Л. Шишов (1989)	А.А. Титлянова (1992)	Н.Ф. Ганжара (1989)
Озима пшениця	2,5-3,2	2,2-5,4	2,8-6,5	2,0-3,2
Озиме жито	2,5-3,2	2,2-5,4	2,8-6,5	2,0-3,2
Ячмінь	2,5	2,0-4,0	1,7-4,5	2,0-3,2
Конюшина	3,6-9,1	-	-	4,0-7,0
Кукурудза	4,6	3,0-5,7	2,9-6,0	1,5-4,6
Горох	2,2	2,0-3,2	-	1,5-2,5
Картопля	1,3	-	-	0,8-1,2
Цукровий буряк	-	-	-	1,0-1,5
Люпин	-	-	-	2,0-3,0

Змінюючи співвідношення площі під різними культурами сівозміни, можна до певної міри регулювати надходження в ґрунт органічної речовини з рослинними залишками. При цьому важливо оцінювати не тільки їх вплив на гумусний стан ґрунтів, але і різноманітне виявлення ролі лабільних органічних речовин в процесах структуроутворення, азотфіксації, перетворення елементів живлення рослин, енергетиці біологічних процесів.

Не дивлячись на те, що рослинні залишки складають невелику частку загальної кількості органічної речовини ґрунту, їм належить важлива роль в постачанні рослин живильними речовинами. При цьому вплив їх на урожайність подальших культур залежить від хімічного складу, особливо від відношення вуглецю до азоту. При розкладанні рослинних залишків з широким відношенням С:N значна частина азоту, що звільняється, використовується мікроорганізмами. За вмістом азоту в рослинних залишках культури можна розмістити в такій послідовності: багаторічні бобові трави – зернобобові – коренеплоди – кукурудза – зернові.

За даними С.А. Воробйова [13] вміст азоту в сухій масі кореневих і поукісних залишків становив відповідно у багаторічних бобових трав 1,8 і 1,7 %, гороху – 1,5 і 1,1 %, кукурудзи на силос – 1,2 і 1,1 %, зернових культур – 1,0 і 0,7 %.

2.2.2 Вплив культур на склад і структурний стан ґрунтів

Воно було пов'язано як з біологічними особливостями самих рослин (розвиток кореневих систем, їх ущільнююча здатність, кореневі виділення, надходження рослинних залишків і їх хімічний склад), так і з механічною дією на ґрунт машин і знарядь, що відповідають технологіям обробітку тієї або іншої культури.

Найбільш сприятливо впливають на структуру ґрунту рослини з добре розвиненою кореневою системою, високою продуктивністю і проективним покриттям поверхні, не потребують обробітку ґрунту в період вегетації. Цим умовам відповідають багаторічні бобові і злакові трави або їх суміші. Значний вплив на ґрунтову структуру надають однорічні бобово-злакові травосуміші, але зважаючи на короткий період вегетації, їхній ефект в структуроутворенні значно нижче, ніж багаторічних трав. Із зернових культур найбільшу здатність до утворення ґрунтової структури мають озимі хліби, у яких більш тривалий період вегетації, більш розвинена коренева система і які добре прикривають ґрунт восени і весною від руйнуючої дії атмосферних опадів і талих вод. Просапні культури в цьому відношенні мають низьку оцінку. Виняток становить кукурудза на силос, яка має добре розвинену кореневу систему і не поступається в структуроутворенні озимим зерновим культурам.

Особливо слабо виражена здатність до структуроутворення у коренеплодів і картоплі, після яких у ґрунті залишається дуже мало коренів. Крім того, при їх збиранні ґрунт піддається сильній механічній дії, відбувається руйнування ґрунтових агрегатів, особливо при високій або дуже низькій вологості ґрунту.

Схематично основні польові культури в порядку убуючої здатності до структуроутворення можна поставити в такий ряд: багаторічні бобово-злакові травосуміші, багаторічні бобові трави – однорічні бобово-злакові суміші – озимі зернові культури – ярі зернові і зернобобові – льон – картопля – коренеплоди. Цей ряд в основному відображає закономірність, встановлену по кількості органічної речовини, що залишається в ґрунті після збирання урожаю.

Структурування або «безструктурна» дія агротехніки на ґрунт в значній мірі залежить від рівня інтенсифікації виробництва, використання добрив, пестицидів, технічних засобів, освоєння новітніх досягнень науково-технічного прогресу. За відповідних умов традиційний багатократний механічний обробіток просапних культур значною мірою може бути скорочений, а для деяких з них зведений до нуля.

Від структури ґрунту залежать і інші фізичні її властивості, особливо частка крупних пор, водо- і повітропроникність, щільність складу. Вплив вирощуваних рослин на ці властивості виявляється, крім структури через

застосований обробіток ґрунту і у меншій мірі через кореневі системи. Проте, за даними Ф.І. Левіна [46], щільність складу орного шару дерново-підзолистого ґрунту під рослинами (озиме жито, овес, картопля, багаторічні трави) помітно менша, ніж без рослин, особливо під багаторічними травами другого року користування. Різниця загальної пористості досягає 2 %.

2.2.3 Ґрунтозахисна здатність сільськогосподарських культур

Ця характеристика значною мірою пов'язана з попередніми. Ґрунтозахисна ефективність культур залежить перш за все від густоти стояння рослин, кількості рослинних залишків на поверхні ґрунту, яку вони залишають після себе, а також впливу на структурний стан ґрунту рослин і технологій їх обробітку. В даному відношенні рослини розділяються на три групи: добре-, середньо- і ті що слабо захищають ґрунт. До першої групи відносяться багаторічні трави до другої - зернові суцільного посіву і однорічні трави, до третьої - просапні, технічні, овочеві культури, плодові і виноградні насадження. В табл. 2.21 наведені показники стійкості різних агротехнічних фонів до ерозії і дефляції ґрунтів.

Таблиця 2.21 - Показники стійкості ґрунтів до ерозії і дефляції під різними культурами

Агрофон	Коефіцієнт	
	ерозійної небезпеки	дефляційної небезпеки
Чистий пар	1	1
Цукровий буряк	0,9	0,95
Кукурудза на зерно	0,85	0,85
Соняшник	0,8	0,85
Картопля	0,75	0,85
Ярі зернові	0,6	0,75
Змішані посіви ярих культур	0,5	0,75
Однорічні трави	0,5	0,75
Горох, вико-вівсяна суміш	0,35	0,75
Кукурудза на зелений корм	0,6	0,7
Просапні культури з підсівом багаторічних трав	0,5	0,7
Ярі зернові культури з підсівом багаторічних трав	0,4	0,7
Озимі зернові	0,3	0,3
Змішані посіви озимих культур	0,25	0,25
Поукісні і пожнивні посіви ярих культур	0,3	0,25
Пожнивні посіви озимих культур	0,2	0,25
Багаторічні трави 1-го року використання	0,08	0,08
Багаторічні трави 2-го року використання	0,03	0,03
Багаторічні трави 3-го року використання	0,01	0,01

2.2.4 Оцінка рослин за характером їх впливу на водний режим ґрунтів

Рослини з глибоко проникаючими коренями (люцерна, цукровий буряк, соняшник і ін.) здатні висушувати ґрунт на велику глибину (до 3,0 - 3,5 м). В районах недостатнього зволоження після таких культур відновити запаси вологи в цьому шарі протягом одного осінньо-зимового періоду не вдається. Активне висушування ґрунту в цих районах відбувається під багаторічними рихлокущовими злаками, які мають густу мережу дрібних пронизуючих ґрунт коренів.

Рослини з невеликою кореневою системою, такі як картопля, споживають вологу в основному з верхнього півметрового шару ґрунту. Після них залишається досить високий запас вологи в нижчих шарах ґрунту. Ще менший об'єм ґрунту пронизують своїми коренями такі культури, як цибуля, огірки, селера, які потребують рясного зрошування навіть в районах вологого клімату.

2.2.5 Оцінка фітомеліоративного впливу рослин на ґрунт

При підборі культур на солонцюватих, засолених, перезволожених, кислих і інших ґрунтах з несприятливими властивостями важливо враховувати здатність їх, активно впливати на меліоративні процеси. Наприклад, при меліорації солонцевих ґрунтів необхідно використовувати рослини, які в найбільшій мірі здатні збагатити ґрунт органічною речовиною, кальцієм, підвищувати концентрацію CO_2 , сприяючи розчиненню ґрунтових карбонатів кальцію, як за рахунок прижиттєвих кореневих виділень, так і розкладання багатьох рослинних залишків. В даному відношенні унікальну здатність має буркун з глибоко проникаючою кореневою системою. В зрошуваних умовах високий ефект досягається при агробіологічному методі меліорації солонців, в якому багаторічні трави використовуються на фоні плантажної (перекидної) оранки із залученням в орний шар карбонату кальцію, розчинність якого підвищується під їх впливом.

Для попередження засолення ґрунтів, з близько залягаючими мінералізованими ґрунтовими водами особливо ефективно використання люцерни. В напівпустинній зоні в даному відношенні вельми перспективні деякі види кохінхінки, содника, солодець, з деревних порід інтенсивний меліоративний вплив на ґрунти солонцюво-солончакового комплексу має в'яз приземистий.

2.2.6 Оцінка впливу культур на фітосанітарний стан ґрунтів

Сільськогосподарські рослини залежно від їх біологічних особливостей і хімічного складу мають різноманітний вплив на чисельність і функціонування шкідливих організмів в агрофітоценозах. Обробіток тих або інших культур, особливо повторний і тим більше беззмінний, призводить до накопичення специфічних видів бур'янів, хвороб і шкідників. Наприклад, посіви пшениці і ячменю супроводжуються накопиченням сірої зернової совки, збудників кореневої гнилі, до яких стійкий овес. Останній може сприяти розвитку осередків вівсяної нематоди, яка викликає гетеродероз зернових культур, і т.п.

Особливу проблему представляє комплекс явищ, пов'язаних з так званим ґрунтостомленням в результаті накопичення в ґрунті фітотоксикантів при повторному обробітку ряду культур.

Характер впливу сільськогосподарських культур на фітосанітарний стан ґрунтів встановлюється за результатами урахувань і спостережень за динамікою чисельності шкідливих організмів та досліджень фітотоксичності ґрунтів.

3. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНИХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕРОБСТВА

3.1 Оптимізація розміщення сільськогосподарських культур

Людина використовує в сільському господарстві всього декілька сотень видів рослин і декілька десятків видів тварин. Більша частина сільськогосподарської продукції забезпечується в кращому разі 20 видами тварин і рослин. Протягом тисячоліть люди намагалися їх покращувати, роблячи дуже обмежені спроби отримати користь з решти фауни і флори. Поза сумнівом, наші нащадки краще нас використовуватимуть величезний генетичний потенціал рослин і тварин, якщо він буде збережений.

Різноманітність навколишнього середовища є першою гарантією його гомеостазу [80]. Звідси витікає необхідність використання всіляких заходів щодо збереження в незмінному вигляді різноманітних біоценозів, охорони генофонду рослин і розвитку робіт з інтродукції диких видів.

Дуже актуальною залишається проблема раціонального розміщення традиційних культур. Хрестоматійними прикладами вирішення цієї задачі на сучасному рівні науково-технічного прогресу стали «кукурудзяно-соевий пояс» центральної частини Великих рівнин Північної Америки, спеціалізація на вирощуванні зернових колосових культур і рапсу на півночі цих рівнин, сорго – на півдні. Дані способи вирішення проблеми спеціалізації виробництва не ідеальні з погляду впливу їх на екологічну обстановку, особливо такі, як виробництво пшениці в дво-, трипільних зернопарових сівоzmінах, досить неблагополучних з погляду дефляції, ерозії, дегуміфікації ґрунтів. В плані оптимізації розміщення угідь, культур, вдосконалення структури посівних площ є значні резерви, оскільки спеціалізація виробництва в багатьох районах знаходиться в суперечності з природними чинниками. Раціональне рішення цієї задачі могло б дати значне збільшення виробництва продукції і вирішити багато суперечностей екологічного характеру без особливих матеріальних витрат.

В складних ерозійних ландшафтах, на піщаних і інших малородючих ґрунтах назріла необхідність перегляду зернової спеціалізації на користь тваринництва з одночасною інтенсифікацією виробництва зерна в районах лісостепової зони. Зосередивши виробництво товарної пшениці на чорноземах, темно-каштанових і каштанових ґрунтах, слід скоротити її посіви на солонцевих ґрунтах на користь фуражних культур.

Необхідно істотно збільшити виробництво кукурудзяного зерна шляхом розширення ареалу вирощування цієї культури в більш північних районах за рахунок ранньостиглих гібридів. В традиційних районах

виросування кукурудзи питома вага її у виробництві зерна повинна скласти не менше половини.

Північні межі районів вирощування кукурудзи на силос доцільно позначити там, де ранньостиглі сорти і гібриди цієї культури можуть стійко визрівати до молочно-воскової стиглості. З кожного гектара кукурудзи, зібраної у стадії воскової стиглості, можна збирати більше, ніж у фазі дозрівання зерна: кормових одиниць - в 3,1 рази, цукру - в 3 рази, протеїну - в 2,4 рази більше.

Південні межі розміщення кукурудзи визначаються критичними рівнями вологозабезпеченості, в більш посушливому кліматі на зміну цій культурі висувається сорго. Завдяки розширенню посівів сорго в районах з меншою кількістю опадів, ніж це необхідно для вирощування кукурудзи, в США, наприклад, за декілька років була створена нова зона товарного виробництва м'яса.

При порівняльній оцінці сільськогосподарських культур по їх продуктивності доцільно разом з іншими критеріями виходити з кінцевої мети виробництва і, якщо це кормова культура, з виходу тваринницької продукції.

За кормовими достоїнствами і якістю протеїну на перше місце з традиційних культур необхідно поставити зернобобові, а з колосових злаків – ячмінь. Аналіз численних дослідів, проведених на відгодівельному поголів'ї свиней, показує що 1 т незбагаченої білковими добавками пшениці забезпечує отримання приблизно 120 кг приросту маси, така ж кількість ячменю – 160 кг і гороху в складі комбікорму – 350 кг.

Істотної зміни потребує структура посівів сільськогосподарських культур, розміщених на зрошуваних землях. Необхідно здійснити переорієнтацію зернового господарства на зрошуваних землях і в ряду інших районів на виробництво кормів, овочевих культур.

Доцільно сконцентрувати посіви цукрового буряка в районах переважання типових, звичайних, лучних чорноземів і темно-сірих лісових ґрунтів, зосередити товарне картоплевиробництво на середньо- і легкосуглинкових ґрунтах лісостепової зони з урахуванням потреб місцевих промислових центрів і більш південних районів країни.

Потрібно значне розширення в зонах північного лісостепу посівів озимого жита, ячменю, зернобобових, рапсу. Необхідно диференціювати розміщення культур по стійкості до посухи, перезволоження, солонцюватості, засоленості ґрунтів та до інших несприятливих умов.

Перспектива розвитку зернового господарства і кормовиробництва значною мірою пов'язана із створенням нових сортів зернових і кормових культур. Для північних районів країни необхідно створення скоростиглих і середньостиглих сортів зернових стійких до холоду, полягання, хвороб, шкідників, проростання зерна на кореню, підвищеної кислотності ґрунтів. Інтенсифікація обробітку в цих зонах провідних зернових культур -

ячменю, вівса озимого жита - стримується слабою стійкістю сортів до полягання.

Для південного лісостепу і степової зони потрібні середньостиглі, середньопізні і скоростиглі сорти з високою якістю зерна, стійкі до посухи, хвороб, шкідників, полягання, солонцюватості ґрунтів.

Асортимент сортів зернових культур значною мірою визначить набір технологій їх обробітку і відповідно обсяги використання добрив, меліорантів, пестицидів і ретардантів.

Великі можливості є в розширенні асортименту кормових культур, у тому числі, інтродукції нових видів. Ускладнення агроценозів, розвиток полікультури - одна з перспектив екологізації землеробства і підвищення його стійкості.

3.2 Особливості формування сівозмін

Основа будь-якої системи землеробства – сівозміна. Перше наукове тлумачення сівозміни оформилося у вигляді теорії плодозміни, ще на початку XIX ст. А. Теер обґрунтував його доцільність, виходячи із своєї ж теорії гумусового живлення рослин, з якої витікала необхідність чергування культур, які виснажують ґрунт і щоб збагатили його гумусом. До середини XIX ст. ця необхідність вже розглядалася з позицій теорії мінерального живлення Ю. Лібіха, тобто з погляду одностороннього виснаження ґрунту елементами живлення.

Представники іншого напрямку П.О. Костичев і В.Р. Вільямс пов'язували зниження родючості ґрунту при обробітку зернових культур з погіршенням його фізичних властивостей, особливо агрономічно-цінної структури, з чого робився висновок про необхідність введення в сівозміну сумішей багаторічних бобових і злакових трав, здатних створювати таку структуру.

Одночасно розвивалися уявлення про необхідність чергування культур для подолання несприятливих фітосанітарних умов: засміченості посівів, накопичення шкідників, ґрунтових патогенів, специфічних для тих або інших рослин.

Зрештою склався різносторонній підхід до оцінки ролі сівозмін, в основі якого лежать наступні критерії: регулювання режиму органічної речовини ґрунту і мінеральних елементів живлення; підтримка задовільного структурного стану ґрунту; регулювання водного балансу агроценозів; запобігання процесів ерозії і дефляції; зменшення засміченості посівів; регулювання фітосанітарного стану ґрунту.

Проте, на практиці справа виглядає значно складніше. Орієнтуючись на плодозміну, товаровиробник вимушений займатися відразу багатьма

культурами, держати різноплемінну худобу, вести універсальне господарство. Таке господарство не може досягти високої продуктивності праці, а в умовах сучасного спеціалізованого виробництва приречено на банкрутство, бо кожна група культур потребує свого комплексу технічних засобів, для обробітку зберігання і переробки продукції, різнопланової технічної орієнтації і т.д.

Процес спеціалізації сільського господарства в передових країнах почався давно і неухильно продовжується. Виробники концентрують зусилля на виробництві мінімальної кількості видів продукції. Відповідно давно існують і існують суперечності між плодозміною і спеціалізацією землеробства, які можуть загострюватися, якщо утрируються вимоги спеціалізації або абсолютизуються ті або інші положення теорії сівозмін. Так було наприклад, у випадку з уявленнями про одностороннє виснаження ґрунту елементами живлення або з концепцією В.Р. Вільямса про значення водоміцної структури і ролі багаторічних трав в її створенні, яка призвела до фетишизації і повсюдного нав'язування травопільних сівозмін. Це породжувало дискусії. В даному зв'язку Н.М. Тулайков [92] писав, що в додатку до зернового господарства посушливих районів «ці положення не можуть мати такого значення, яке додавалося їм в минулому уявленні про сівозміни». Він вважав, що «в основі спеціалізованого господарства є одне положення – це поставити основні рослини в найкращі умови існування і, якщо можливо, – зробити це в умовах монокультури». «Введені в сівозміну (крім чистого пару) додаткові до основних (пшениця) рослини повинні в найкращій мірі забезпечити високі урожаї цієї головної рослини».

Науково-технічний прогрес і збільшення виробничо-ресурсного потенціалу до певної міри згладжують дані суперечності. При оптимальній забезпеченості добривами і пестицидами, використанні стійких до хвороб сортів біопрепаратів та інших засобів захисту рослин значення сівозміни у відношенні мінерального живлення рослин, боротьби з бур'янами і в тій чи іншій мірі з шкідниками і хворобами ослабляється, зростають можливості повторного обробітку культур, головним критерієм доцільності чистого пару стає вологозабезпеченість.

Непереборною перешкодою на шляху поглиблення спеціалізації сівозмін стоїть біологічне виснаження внаслідок накопичення у ґрунті колінів. Більшість інших стримуючих чинників можна подолати різними засобами, питання лише в ступені затрат і екологічній безпеці вживаних препаратів і технологій.

До числа проблематичних чинників, що не дозволяють уникнути зміни культур без великих витрат, слід віднести розвиток бурякової нематоди, кореневої тлі, вілту бавовнику та ін. В тих випадках, коли беззмінний обробіток культур веде до накопичення специфічних шкідників, різко зростають затрати виробництва через використання

інсектицидів і ще більший екологічний ризик, внаслідок їхньої токсичності.

На основі усереднених даних прийнято вважати можливими такі екологічно допустимі концентрації посівів в сівозмінах: зернові культури – 60-80 %, цукровий буряк – 20-25 %, кукурудза – 50-60 %, коноплі – 50 %, картопля – 30-50 %, соняшник і льон – 14-6 %. Ці межі можуть істотно коливатися. Наприклад, озиме жито на дерново-підзолистих ґрунтах дасть однаковий урожай, як по конюшиновому пару, так і після ячменю і вівса (на фоні добрив). Порівняно невелике зниження його урожайності при беззмінній культурі по удобреному фоні. Добрий урожай кукурудзи на силос і зелений корм на цих же ґрунтах можна одержувати по будь-якому попереднику, а також при беззмінних її посівах. Можливі високі урожаї картоплі при беззмінних посадках.

Слід особливо виділити підсівні, поукосні, пожнивні культури, що продовжують час знаходження ґрунту під рослинним покривом, як один з найважливіших засобів біологізації землеробства. При цьому особлива роль належить хрестоцвітим з їх унікальною здатністю очищення ґрунту від інфекції. Використовуючи рапс, суріпицю, можна значно усилити профілактичну санітарну дію сівозміни. Посіви ущільнювачів вельми ефективні також відносно захисту від ерозії.

У вдосконаленні структури посівних площ і сівозмін, важливе значення має розміщення багаторічних трав. З розширенням їх посівів часто зв'язують вирішення задачі регулювання гумусового балансу ґрунтів. Підхід до травосіяння з цих позицій безвідносно до виробничої його доцільності і ефективності абсолютно некоректний. Якщо в тайгових районах доцільно його значне розширення, то в степу воно призвело б до зниження продуктивності ріллі. В степовій зоні багаторічні трави слід розміщувати в основному в ґрунтозахисних сівозмінах на ерозійно-небезпечних землях, на ґрунтах з близьким рівнем ґрунтових вод, в сівозмінах на зрошуваних землях. У всіх зонах необхідні оптимізація термінів користування багаторічними травами, збільшення бобового компоненту в їх складі, що набагато підвищує продуктивність і значення їх, як попередника в сівозмінах. Різноманітна роль багаторічних трав в сучасному землеробстві доповнюється новими аспектами. На ґрунтах з глибинним нітратним профілем, який утворився в результаті інтенсивного парування або перевантаження агроценозів азотними добривами, багаторічні трави здатні витягувати азот нітратів з глибоких шарів ґрунту, запобігати скиданню його в ґрунтові води.

Роль багаторічних трав як попередника в сівозмінах зростає при їх удобренні. Удобрені багаторічні трави залишають в ґрунті більше органічної речовини, збагаченої живильними елементами, які потім поступово звільняються в ході вегетації подальшої культури. В результаті знижується небезпека її полягання, поліпшуються умови мінерального

живлення, зменшуються втрати мінеральних елементів на вимивання. Це особливо важливо на легких за гранулометричним складом ґрунтах, де частка багаторічних трав повинна істотно підвищуватися.

Першочергова задача екологізації землеробства полягає в адекватному розміщенні культур відповідно до їх біологічних вимог, що може бути досягнуто формуванням спеціалізованих сівозмін стосовно агроекологічних типів земель.

Пристосованість сільськогосподарських культур до певних умов їх обробітку, давно відома в народі, стала тепер відправною позицією нової науки - агрофітоценології.

На жаль, даний підхід не був основним в проектуванні сівозмін. Проте, досвід такого роду диференціації сівозмін достатньо великий. В Латвії, наприклад виробництво цукрового буряку сконцентровано на Земгальській рівнині з дерново-карбонатними ґрунтами і високою питомою вагою меліоративних ґрунтів. Вони були виділені в особливу групу земель придатних для рентабельного вирощування цукрового буряку в сівозмінах, які забезпечують найкращі умови для цієї культури. Для складання схем бурякових сівозмін використовують коефіцієнт земельного забезпечення буряку, який характеризує відношення площі земель, придатних для розміщення буряку, до її посівної площі. Із зміною цього коефіцієнта змінюється набір і чергування культур. Ситуація вважається критичною, коли коефіцієнт знижується до 3 і концентрація буряку в сівозмінах досягає 33 % [85].

В районах, що спеціалізуються на вирощуванні картоплі, рекомендується виділяти три групи земель:

- землі, придатні для механізованого обробітку картоплі і інших просапних;
 - землі, на яких не вирощують просапні, але добре ростуть конюшина і озимі культури;
 - землі, на яких розміщують багаторічні трави і ярі зернові культури.
- Особливо виділяються землі для вирощування льону.

В країнах на захід від Латвії спеціалізація використання земель і відповідно сівозмін ще більш поглиблена. Цей процес здійснюється за рахунок посиленого використання добрив і пестицидів. Там він визначається економічним механізмом, стимулюючим адаптацію до різноякісності земель.

Доводи на користь локалізації розміщення культур, що вимагають підвищеної родючості ґрунтів, в тайгово-лісовій зоні посилюються також обмеженими можливостями використання органічних добрив. Помітне збільшення вмісту гумусу при окультуренні дерново-підзолистих ґрунтів відбувається, починаючи з дози 10-15 т/га за рік, а для добрива кормових або овочевих культур потрібні дози відповідно 20-30 і 30-40 т/га в середньому за рік. Реально можна ставити задачу окультурення дерново-

підзолистих ґрунтів до рівня, що дозволяє з високою рентабельністю вирощувати найвимогливіші культури лише на певних масивах, в першу чергу прилеглих до тваринницьких підприємств.

Доцільна також локалізація розміщення груп культур за різним відношенням до кислотності, що сприятиме значному зниженню витрат вапна. На дерново-підзолистих суглинкових ґрунтах Білорусі, за даними І.М. Богдевича [6] для сівозмін з льоном, картоплею, люпином, житом, вівсом виділяють (або створюють) ділянки з рН в орному шарі 5,5-6,0; для зерно-трав'яно-просапних сівозмін з кукурудзою і коренеплодами з рН 6,1-6,5; для зерно-трав'яно-бурякових прифермських, овочево-кормових сівозмін – рН 6,5-6,7.

Різні групи культур потребують різної забезпеченості ґрунтів елементами живлення. За даними того ж автора, для сівозмін з переважанням зернових культур, багаторічних і однорічних трав, потрібен рівень забезпеченості ґрунтів рухомим фосфором (за Кірсановим), в орному шарі 20 - 30 мг/100 г ґрунту, рухомим калієм 20 - 30 мг/100 г; для сівозмін з коренеплодами і кукурудзою потрібна забезпеченість ґрунту фосфором 25 - 35 мг/100 г, калієм 25 - 35 мг/100 г ґрунту.

Очевидно, замість традиційного настрою на загальне підвищення родючості ґрунтів, як правило, мало підкріпленого реальними можливостями, стратегія землекористування повинна бути орієнтована в першу чергу на інтенсифікацію використання кращих земель і вжиття заходів щодо запобігання ерозії, дефляції та інших видів деградації. Підвищення їх продуктивності створить передумови для виведення з активного сільськогосподарського обороту неблагополучних земель.

Ухвалюючи рішення про «нарощування» родючості бідних ґрунтів, необхідно розуміти, що вони є продуктом екологічних обставин, які визначають їх бідність. Підвищення їхньої родючості пов'язано найчастіше з подоланням несприятливих елементарних ґрунтових процесів шляхом використання великих кількостей органічних добрив, меліорантів і інших затратних заходів. Причому підтримка нового стану земель вимагає постійних зусиль, бо як, тільки вичерпається меліоративний ефект, посиляться прояв несприятливих процесів.

Використовування таких земель повинне бути орієнтовано на обробіток культур, стійких до несприятливих умов, здатних протистояти засоленості, солонцюватості, перезволоженню, висушуванню, ерозійним процесам, несприятливій фітосанітарній обстановці. Значення сівозміни посилюється у міру ускладнення агроландшафту і виявлення несприятливих чинників.

Сівозміни відіграють ключову роль в запобіганні ерозійних процесів. Від підбору культур за їх ґрунтозахисною здатністю і чутливістю до змитості ґрунтів залежить їхня продуктивність і збереження ґрунтового покриву. Формування сівозмін в складних ерозійних ландшафтах

здійснюється з урахуванням розчленованої території і крутизни схилів. При цьому градація схилів по крутизні, яка представлена в загальній схемі класифікації земель, має різну екологічну інтерпретацію. Наприклад, в умовах Центрально-чорноземної зони, де водна ерозія ґрунту найбільш інтенсивно виявляється в період весняного сніготанення, під інтенсивні зерно-просапні і зерно-паропросапні сівозміни рекомендується відводити незмиті і слабозмиті чорноземи і темно-сірі лісові ґрунти на схилах крутизною до 3°, а на сірих і світло-сірих лісових ґрунтах - до 2°. На слабо- і середньозмитих чорноземах і темно-сірих лісових ґрунтах з крутизною схилів 3-5°, на сірих і світло-сірих ґрунтах з нахилом 2-3° вводяться травопільні сівозміни (із зерновими і зернобобовими культурами, багаторічними травами). На середньо- і сильнозмитих чорноземах і темно-сірих лісових ґрунтах на схилах більше 5°, сірих і світло-сірих лісових ґрунтах на схилах більше 4° слід вводити ґрунтозахисні сівозміни, які включають 50 % і більше багаторічних трав.

В «Системах землеробства» Молдавії рекомендується на рівнинних місцях і схилах до 5° застосовувати звичайні польові сівозміни з насиченням їх просапними культурами до 60 - 70 %. На схилах крутизною 5-8° вводяться ґрунтозахисні кормові сівозміни, в яких провідне місце займають культури суцільної сівби. На більш крутих схилах переважають багаторічні трави із смуговим розміщенням зернових культур.

При формуванні сівозмін важливо мати на увазі, що функції їх по регулюванню режиму вологи, елементів живлення, органічної речовини, складу ґрунту, їх фітосанітарного стану, подолання засміченості посівів виконують також система обробітку ґрунту, система добрив, чистий пар і система догляду за ним, підбір сортів, терміни посіву та інші агротехнічні заходи. Інтеграція цих систем і елементів значно збільшує ступені свободи при виборі схем сівозмін, вирішенні задач їх спеціалізації і біологізації виробництва.

Найбільш дискусійним питанням при розробці структури використання ріллі і сівозмін в степових і лісостепових районах, як правило, є чистий пар, сучасна і перспективна роль якого заслуговує спеціального розгляду.

3.3 Перспектива чистого пару в світлі екологізації землеробства

Роль чистого пару в землеробстві пов'язується зі зменшенням впливу посух, подоланням засміченості посівів, накопиченням рухомих елементів живлення рослин у ґрунті, поліпшенням фітосанітарної ситуації. При цьому підвищується стійкість виробництва зерна, економиться насіння, більш рівномірно і ефективно використовуються трудові і матеріально-технічні ресурси. Наявність парового клину дозволяє понизити напруженість польових робіт в періоди максимальних навантажень, а отже, потреба в основних, оборотних фондах і робочій силі. Тому пар протягом сторіч супроводить вирощування зернових культур в посушливих районах, і всі спроби відмовитися від нього супроводжувалися зниженням ефективності сільськогосподарського виробництва.

Проте при всіх достоїнствах чистого пару йому властиві такі серйозні недоліки, як підвищена ерозійна небезпека, скорочення надходження в ґрунт рослинних залишків, надмірна мінералізація органічної речовини, втрати азоту внаслідок міграції нітратів за межі шару розповсюдження коріння, висока непродуктивна витрата вологи. Частка засвоєння опадів ґрунтом у чистих парах не перевищує 25–30 % навіть при використуванні снігозатримуючих куліс.

Особливу турботу викликають втрати гумусу, внаслідок скорочення надходження органічної речовини і посилення мінералізації. Ці, так звані, «біологічні втрати» гумусу досягають в парових полях 1,5–2 т/га за рік. Нерідко вони посилюються ерозійними втратами. Дуже показовий в цьому відношенні досвід землеробства Канади. За 60-70 років використання чорноземних і каштанових ґрунтів Канадських прерій в зернопарових сівоzmінах з 30 – 40 % чистого пару вміст гумусу в орному шарі знизився на 50-60 %. Період 20-50-х років пов'язаний з найбільш марнотратним використанням гумусового фонду, враховуючи дуже високі темпи його втрат в чорноземних і особливо лугово-чорноземних ґрунтах (табл. 3.1).

Надмірна частка пару в Канаді була пов'язана з обмеженою можливістю збуту зерна (при підтримці високих цін). Надмірна мінералізація гумусу, як показали дослідження вчених Саскачеванського університету супроводжувалася накопиченням нітратів в ґрунтах до глибини 3–5 м і ґрунтових водах.

Таблиця 3.1 - Вплив різних сівозмін і беззмінного вирощування культур на продуктивність оранки і вміст гумусу в чорних глинистих ґрунтах Канади

Сівозміни	Вихід зерна з 1 га сівозмінної площі в середньому за 1922-1955 рр., т		Вміст гумусу %	
	без добрив	гній	без добрив	гній
Пар – пшениця	1,19	1,13	3,7	4,1
Пар-пшениця-пшениця	1,36	1,54	4,9	5,5
Пар-пшениця-пшениця-пшениця	1,36	1,66	4,7	5,5
Пшениця беззмінна	1,63	1,81	7,2	7,6
Ячмінь беззмінний	2,31	-	6,8	-
Овес	1,88	-	6,3	-

Дослідження, проведені в Заураллі, Сибіру і Казахстані, також показали, що при тривалому використуванні чорноземів в сівозмінах з чистим паром відбувається міграція нітратів на глибину 3–5 м. Чим вище частка пару в сівозміні, тим більше втрати азоту, особливо при інтенсивній механічній обробці парових полів і недостатньому застосуванні фосфорних добрив. Втрати азоту за рахунок низхідної міграції нітратів збільшуються на південь чорноземної зони, де часто створюється відносний надлишок мінерального азоту в порівнянні з тією його кількістю, яку можуть використовувати зернові агроценози. В безпарових сівозмінах, не переобтяжених добривами, подібних явищ у всіх ґрунтових зонах не спостерігалось. В цілому збільшення втрат гумусу і азоту в ґрунтах степової зони було пов'язано, перш за все, з розширенням чистого пару при недосконалій системі догляду за ним.

Нерідко спостерігаємо зниження потенційної родючості ґрунтів в зерносіючих районах світу маскується ростом урожайності за рахунок використання добрив і пестицидів. Проте це тимчасове благополуччя має певну межу і викликає тривогу за майбутнє ґрунтів і ґрунтового покриву.

Все це означає, що чистий пар є певною даниною ради стійкості виробництва зерна. Прагнення відмовитися від цієї данини цілком природно, так само як дискусії, які постійно супроводжують цю проблему.

Визначаючи можливості скорочення частки чистого пару або відмови від нього, слід, очевидно, виходити з того, наскільки його функції можуть бути замінені іншими засобами. Якщо регулювання мінерального живлення і фітосанітарної ситуації досягається використанням добрив, гербіцидів та інших агротехнічних засобів, а виробничі навантаження знімаються додатковими виробничими ресурсами, то головним критерієм чистого пару або заміни його зайнятим стає вологозабезпеченість.

За узагальненими даними С.А. Воробйова [13], в Нечорноземній зоні 9 років з 10 ґрунт зайнятого пару до посіву озимих зволожується до необхідного рівня для проростання і початкового періоду росту рослин озимих культур. Різниця в запасах вологи в орному шарі в цей час між зайнятим і чистим паром складає в середньому 11 % вологості ґрунту чистого пару.

В лісостеповій зоні Європейської території вірогідність достатньої забезпеченості озимих культур вологою в початковий період їхнього життя знижується до 70 % років. Різниця в запасах ґрунтової вологи між чистими і зайнятими парами збільшується і досягає 27 % вологості ґрунту чистого пару.

В цій зоні виявляється якісна диференціація зайнятого пару. Пари, зайняті культурами, які рано збираються (озиме жито і кукурудза на зелений корм, бобово-злакові однорічні суміші, багаторічні бобові трави на один укіс), до моменту посіву озимих накопичують достатньо вологи. Пари, зайняті кукурудзою на силос й іншими культурами більш пізніше за збиранням в більшості років не забезпечують вологою нормальний початковий ріст озимих культур. Ще сильніше це виражено в степовій зоні.

Особливі умови водного режиму в чистих і зайнятих парах створюються в степових і лісостепових районах Уралу і Сибіру, де по парах висівають яру пшеницю. Зважаючи на малу кількість зимових і весняних атмосферних опадів ґрунт весною не повністю насичується вологою і зволожується, головним чином, в другій половині літа і на початку осені. При нестачі вологи весною і в першій половині літа посіви культур, які займають пар, далеко не завжди вдаються. Проте, навіть при невеликому урожаї культура, яка займає пар, висушує ґрунт до такого рівня, що в подальший період аж до посіву ярої пшениці запаси вологи не вдається відновити.

Ґрунтуючись на матеріалах новітніх досліджень, можна вважати, що у міру інтенсифікації землеробства і росту забезпеченості виробничими ресурсами в районах вирощування ярої пшениці, де річна сума опадів перевищує 350 - 400 мм, чистий пар поступається місцем зайнятому. Виняток становитимуть сівозміни з озимим житом.

В більш посушливих умовах степової зони ця проблема, набагато більш складна по своїй суті, знаходиться в стані дискусії через недостатню розробленість. Матеріали наукових досліджень дозволяють думати, що в степовій зоні Уралу, Західному Сибіру є передумови для заміни чистого пару буркуновим (донниковим) на легких по гранулометричному складу ґрунтах, солонцях, особливо з близьким заляганням ґрунтових вод. На інших ґрунтах зони чистий пар як необхідна умова виробництва зерна збережеться надовго. Пошуки альтернативних рішень дуже актуальні але результати їх поки що важко прогнозувати. Вкрай важливо упорядкувати

систему догляду за паровими полями, особливо добиватися повного залишення соломи на полях і мінімізації обробітку ґрунту з тим, щоб гранично скоротити надмірну мінералізацію органічної речовини, втрати азоту внаслідок низхідної міграції нітратів запобігти ерозійним процесам і зменшити втрати вологи на випаровування.

В зв'язку з цим, дуже показовий досвід Канади, де залишення в полях всієї нетоварної частини урожаю при мінімізації обробітку і відповідному вживанні добрив і гербіцидів дозволило оптимізувати виробництво зерна в посушливих районах.

3.4 Перспектива екологізації обробітку ґрунту

В плані екологізації землеробства перспектива вдосконалення систем обробітку ґрунту була пов'язана з адаптацією їх стосовно до різноманітних ґрунтово-кліматичних, геоморфологічних, літологічних умов і поглибленою диференціацією відповідно до агроекологічних вимог сільськогосподарських культур. В глобальному екологічному аспекті розвиток обробітку ґрунту має чітко виражений вектор мінімізації. За останні декілька десятиків років в світі відбулося переосмислення ролі механічного обробітку ґрунту, його призначення, функцій і особливо негативних наслідків.

Механічний обробіток руйнує природну будову ґрунтів, яка часто є оптимальною для тих або інших культур. Позбавлення ґрунту природної мульчі (підстилки, дернини), розпиленість верхнього шару створює передумови для посилення стоку, ерозії, дефляції. Внаслідок механічного обробітку відбувається руйнування ґрунтових зооценозів, скорочення зоонаселення, руйнування ходів черв'яків і коренів, зниження здатності до біологічного самоспушування. Під впливом двигунів і робочих деталей машин ґрунт часто переущільнюється, що викликає необхідність чергового спущення. При цьому переущільнюється підорний шар, виникає плугова підшоша.

При інтенсивній обробці відбувається активна мінералізація органічної речовини ґрунту, зростає непродуктивна витрата гумусу. Обробіток ґрунту вимагає великих матеріальних і енергетичних витрат.

Функції механічного обробітку ґрунту (регулювання складу ґрунту, структурного стану, водного, повітряного, теплового, поживного режимів; загортання в ґрунт насіння рослин, органічних і мінеральних добрив, меліорантів; знищення бур'янів, шкідників і хвороб) в різних природних умовах мають неоднакове значення, а частину їх можуть виконувати інші агротехнічні або агрохімічні прийоми.

На ґрунтах, рівноважна щільність яких близька до оптимальної, для вирощування більшості польових культур (велика частина чорноземів і темно-сірих лісових ґрунтів, окультурені сірі лісові і дерново-підзолисті ґрунти та ін.) механічний обробіток ґрунту зберігає в основному фітосанітарну роль, в першу чергу по подоланню засміченості посівів, і функції, пов'язані з регулюванням живлення і загортанням добрив. Якщо ці функції виконуються добривами, пестицидами або іншими засобами, то система обробітку, очевидно, може бути зведена до періодичної (один раз за ротацію сівозміни) оранки із закладенням органічних фосфорно-калієвих добрив і посіву з передпосівною обробкою або навіть без неї під відповідні культури.

Така загальна теорія, що допускає землеробство без обробітку ґрунту. Вона була підтверджена на практиці.

У виробничих масштабах вибір оптимальної системи обробітку ґрунту лежить в широкому діапазоні всіляких рішень від традиційної системи оранки до нульового обробітку через безліч варіантів: безвідвальних, мінімальних відвальних обробок і їх комбінацій. Цей вибір, крім екологічної різноманітності умов, великою мірою визначається рівнем інтенсифікації виробництва, зокрема забезпеченістю агрохімічними ресурсами. На ухвалення рішення крім наукових рекомендацій, які далеко не завжди і не скрізь мають вичерпний характер, великий вплив має місцевий досвід, інтуїція, його консерватизм.

Тому адекватна думка про проблему обробітку ґрунту можлива лише при опануванні значного фактичного матеріалу в географічному і історичному аспектах, бо ця проблема невпинно дискутується з III ст. до нової ери до цього часу. Не заглиблюючись в стародавню історію, вважаємо за необхідне простежити за бурхливим процесом розвитку теорії і практики обробітку ґрунту протягом всього XX ст., апогей якого припадає на існуюче покоління, покликане зробити крупні теоретичні узагальнення цієї проблеми, не дивлячись на дискусійність багатьох положень.

Нагадаємо спочатку, що до кінця XIX ст. в Західній Європі сформувалася система оранки, яка отримала широке використання, оскільки вона відповідала природним умовам і вимогам, які склалися на той час. Розповсюдження її в Східній Європі нерідко призводило до негативних результатів, у зв'язку з чим П.А. Костичев, зокрема, звертав увагу на перевагу дрібної оранки перед глибокою в посушливих умовах. На початку XX ст. оранка з обертом пласта залишалася непорушною, хоча посухи в Західній Європі і Росії в 1891, 1901, 1921 рр. підштовхували до пошуку нетрадиційних рішень. Сенсацією стала книга І.Є. Овсінського «Новая система земледелия» в 1899 р., в якій було надано перше обґрунтовування бесплужного обробітку. Обґрунтовуючи свою систему, І.Є. Овсінський виходив з того, що в природному стані ґрунт пронизаний

коренями рослин, ходами дощових черв'яків, внаслідок чого він повітропроникний на значну глибину і має достатню водопроникність. Він стверджував, що звичайна оранка, знищуючи в ґрунті мережу каналів, утворюваних гниючими коренями і ходами дощових черв'яків, перетворює ґрунт на однорідну безструктурну масу, наслідком чого є погіршення водного і повітряного режимів, тоді як рекомендований ним поверхневий обробіток ґрунту на глибину до 5 см знищує бур'яни і створює рихлий поверхневий покривний шар, який добре зберігає вологу в ґрунті. Корені ж культурних рослин, віддаючи перевагу ущільненому ґрунту під цим верхнім покривним шаром, чудово в ньому розвиваються, і рослини дають високі урожаї.

І.Є. Овсінський стверджував, що при такому обробітку ґрунт не тільки добре зберігає вологу, але і збагачується водою завдяки конденсації пари з проникаючого в неї атмосферного повітря. Він виходив з припущення, що в жаркий період температура нижчележачих шарів ґрунту буде дещо менше ніж верхніх, тому і повинна відбуватися конденсація пари з ґрунтового повітря. Маючи під собою дуже серйозну основу, це міркування до теперішнього часу так і не було піддано експериментальній перевірці.

І.Є. Овсінський особливо підкреслював, що при поверхневій обробці створюються виключно сприятливі умови для розвитку бур'янів. При спізненні з основним обробітком ґрунту однією поверхневою обробкою їх знищити важко. Виходячи з цього положення, він наполягав, щоб першу обробку починали негайно вслід за прибиранням хлібів, не чекаючи вивозу урожаю з поля, і продовжували в осінній час, а на чистому пару і у весняно-літній період – до самого посіву у міру появи бур'янів. Багато теоретичних положень, виказаних І.Є. Овсінським, не застаріли до нині і отримали подальший розвиток.

В 1910 р. незалежно від І.Є. Овсінського фермер Жан на півдні Франції застосував замість оранки обробку ґрунту пружинним культиватором з послідовним поглибленням до 20 - 22 см.

В 1921 р. Ф. Ахенбах видав книгу, в якій виказав ті ж міркування про недоцільність обертання орного шару.

Ці нові підходи залишалися епізодами, розбиваючись об вікові традиції. Грім пролунав в 30-і роки на Великих рівнинах Америки, де суцільна оранка степів плугами призвела до утворення запорошених котлів і дала привід для міркувань про «захід цивілізації». Дефляція ґрунтів в США розглядалася як загроза нації, а боротьба з нею стала політикою уряду. З великою напругою була створена плоскорізна система обробітку ґрунту із збереженням пожнивних залишків, які оберігають від ерозії. Вона була дуже схожою з системою І.Є. Овсінського, так само як принципи конструювання ґрунтообробних знарядь.

Цей урок, проте, не був достойно сприйнятий на інших континентах. В Європі продовжували удосконалювати оранку. В Росії В.Р. Вільямс ввів культурну оранку плугом з передплужниками, обґрунтувавши її необхідністю структурування скиненого на дно борозни верхнього шару ґрунту.

Після критики травопільної системи землеробства В.Р. Вільямса з'явилися інші концепції, які обґрунтовували систему культурної оранки. В 50-ті роки на основі аналізу даних диференціації орного шару за родючістю, у тому числі власних досліджень, Л.Н. Барсуков сформулював положення про розвиток дернового ґрунтоутворюючого процесу під впливом покриву як багаторічних, так і однорічних культур. Причину зниження родючості нижньої частини орного шару, що відбувається в культурному ґрунті за 2 - 3 роки під суцільним рослинним покривом за відсутності відвальної оранки, цей автор пов'язував з накопиченням токсичних метаболітів мікроорганізмів, які переміщуються зверху. Звідси слідував висновок про необхідність поліпшення несприятливих властивостей нижньої частини орного шару шляхом переміщення її на поверхню за допомогою відвального плуга. Таким чином, усунення диференціації орного шару по родючості послужило новим обґрунтуванням культурної оранки. В розвиток цієї концепції з'явилося безліч інших робіт. Замість гіпотези про накопичення метаболітів в нижній частині орного шару були названі інші причини диференціації: підвищення рухливості фосфору в приповерхновому шарі в результаті чергування процесів зволоження і висушування, дія сонячної радіації, притискання кореневої системи рослин до верхнього шару та ін. Висновки про необхідність перемішування ґрунту в межах орного шару залишалися колишніми. Деякі дослідники пропонували це робити з великою ретельністю за допомогою фрезерних робочих органів для максимального підвищення біологічної активності ґрунту.

Одночасно з основним напрямом теорії обробітку ґрунту в світі продовжував розвиватися напрям безплужного обробітку ґрунту. В 40-і роки увагу світової агрономічної спільноти привернула видана в США книга Е.Х. Фолкнера, в якій пропагувався безплужний обробіток ґрунту. Перекладена на багато мов світу, ця книга істотно поколивала традиційні уявлення про обробіток ґрунту, хоча яких-небудь теоретичних міркувань із цього приводу вона не містила.

Перша теоретична платформа мінімізації обробітку ґрунту була створена Т.С. Мальцевим [61] в 40-50-і роки. Віддаючи дань відомій концепції В.Р. Вільямса, він висунув положення про можливість синтезу гумусу і відповідно формування водоміцної структури на основі анаеробного розкладання коренів однорічних культур. Для створення умов, при яких би розвивалися анаеробні процеси, він запропонував систему, яка передбачала поверхневий обробіток ґрунту лушпильником з

періодичним глибоким безвідвальним спушенням. Теоретичні уявлення про механізм гумусоутворення з тих пір істотно змінилися, але положення про те, що однорічні культурні рослини вносять певний внесок у формування гумусового фонду ґрунтів і мінімізація обробітку ґрунту сприяє цьому процесу, потрібно розглядати як конкретний внесок Т.С. Мальцева в розвиток теоретичних основ землеробства. Велика заслуга Т.С. Мальцева полягає в тому, що ним знайдено системне рішення мінімізації обробітку ґрунту стосовно конкретних умов, супроводжуване певною часткою чистого пару, термінами посіву зернових культур, заходами щодо боротьби з бур'янами і т.д. Таким чином, почавши з компромісу з ідеологією В.Р. Вільямса, Т.С. Мальцев прийшов до протилежних позицій.

Не дивлячись на розвиток нових уявлень про систему обробітку ґрунту, аж до 60-х років теоретики землеробства і практики в переважній більшості повсюдно дотримувалися класичних позицій оранки. Універсальність цих уявлень зруйнувалася незабаром після масового відкриття цілинних земель в Казахстані і Сибіру. В результаті широкого розвитку дефляції, виникла необхідність заміни традиційного обробітку ґрунту такою системою, при якій забезпечувалося б збереження на поверхні ґрунту пожнивних залишків для захисту його від руйнуючої дії вітру. Вельми своєчасно був використаний досвід Канади по використанню плоскорізних знарядь. В найкоротший строк був створений комплекс машин для плоскорізного обробітку ґрунту і посіву по стерньових фонах.

Впровадження нових прийомів було пов'язано з ломкою традиційних уявлень про обробіток ґрунту, хоча до цього часу вже був досвід використання безвідвального обробітку ґрунту за методом Т.С. Мальцева, що зіграв певну роль в подоланні консерватизму землеробів.

Вирішуючи проблему захисту ґрунтів від дефляції, плоскорізна система обробітку ґрунту до певної міри сприяє подоланню посухи, завдяки накопиченню зимових опадів за рахунок збереження стерні.

Поєднання плоскорізної системи обробітку ґрунту з оптимальними термінами і способами посіву, нормами висіву, смуговим розміщенням чистого пару і сільськогосподарських культур, використанням добрив, гербіцидів снігозатриманням і іншими прийомами в зернопарових і зернопаропросапаних сівозмінах з короткою ротацією склало ґрунтозахисну систему землеробства, яка була розроблена колективом вчених відомого Наукового центру в селищі Шортанди в Казахстані під керівництвом академіка А.І. Бараєва [74]. Ця система, схожа з Канадською, але зовсім не повторюючи її, практично врятувала орні землі Сибіру і Казахстану від руйнування. Отримавши широке розповсюдження в степовій зоні, плоскорізна система обробітку ґрунту значною мірою просунулася в південний лісостеп і навіть в райони північного лісостепу

Сибіру і Зауралля, де вочевидь виявилася її роль в запобіганні водної ерозії ґрунту, особливо при залишенні на поверхні всієї нетоварної частини урожаю. В північному лісостепу ця система помітно трансформувалася: замість плоскорізів-глибокорозпушників стали застосовувати розпушно-підрізаючі стійки СибІМЕ, більш придатні для роботи в ерозійних ландшафтах, а замість стерньових сівалок СЗС-2,1 з розширеними міжряддями - сівалки СЗП-3,6 із звичайними міжряддями, щоб уникнути загущення посівів в рядках і стримати розвиток бур'янів в міжряддях. Значення плоскорізних і безвідвальних обробок ґрунту в накопиченні вологи і запобіганні ерозійних процесів посилюється завдяки скороченню втрат гумусу за рахунок зниження темпів його мінералізації, що було показано дослідженнями В.І. Кірюшина і І.Н. Лебедевої [45] на дослідному стаціонарі ВНДІЗХ (Шортанди). Як видно з табл. 3.2, різниця у вмісті гумусу в орному шарі між варіантами плоскорізного обробітку і відвальної оранки через 11 років виявилася дуже істотною, а ще через 6 років вона зросла ще більше на користь плоскорізного обробітку (табл. 3.3).

Таблиця 3.2 - Вміст гумусу (%) в південному карбонатному чорноземі залежно від системи обробітку ґрунту в зернопаровій сівозміні ВНДІЗХ, 1959 – 1970 рр.

Система обробітку ґрунту	Шар, см			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Відвальна	4,61	4,58	4,18	3,43
Плоскорізна	4,90	4,76	4,05	3,44
Різниця у вмісті гумусу	0,29	0,18	0,13	0,01
НСР _{0,95}	0,21	0,23	0,23	0,17
Точність дослід, %	1,40	1,50	1,90	1,70

Подібних даних останніми роками з'явилося досить багато для різних районів Росії, а також для Канади, США та інших країн.

Зниження темпів мінералізації органічної речовини при безвідвальній і мінімальній обробках скорочує накопичення мінерального азоту. В результаті зменшуються втрати нітратів за рахунок низхідної міграції [46].

В умовах інтенсивного споживання азоту, особливо в агроценозах північного лісостепу і підтайги, плоскорізний і безвідвальний обробіток створюють дефіцит мінерального азоту, внаслідок чого знижується урожайність зернових по непарових попередниках. Тут мінімізація обробітку ґрунту вимагає використання азотних добрив, тобто вона є надбанням інтенсивного землеробства на відміну від екстенсивного, при якому єдиним джерелом азоту служить органічна речовина ґрунту, а найбільш ефективним засобом його вивільнення - відвальна оранка. Не випадкова традиційна турбота теоретиків землеробства про підвищення

біологічної активності ґрунту, усуненні диференціації орного шару, яке відбувається в результаті «притиснення» мікрофлори до поверхневих шарів ґрунту. Перемішування ґрунту сприяє інфікуванню всього орного шару і відповідно посиленню процесів мінералізації органічної речовини у всьому об'ємі ґрунту на фоні підвищеної аерації.

Таблиця 3.3 - Вміст гумусу (%) в південному карбонатному чорноземі залежно від системи обробітку ґрунту в зернопаровій сівозміні ВНІІЗХ, 1959-1976 рр.

Система обробітку ґрунту	Шар, см			
	0-5	5-10	10-15	15-20
Відвальна	4,43	4,54	4,44	4,42
Плоскорізна	4,91	4,83	4,71	4,52
Різниця у вмісті гумусу	0,48	0,29	0,27	0,10
НСР _{0,95}	0,32	0,23	0,23	0,32

Подальше посилення мінімізації обробітку ґрунту (скорочення його глибини і частоти) ще більш ослабляє процеси мінералізації органічної речовини і відповідно азоту, підвищує протиерозійну стійкість ґрунту, сприяє кращому накопиченню вологи. Наприклад, за даними дослідів [44], в посушливі роки мінімальна (дрібна плоскорізна) і нульова обробка ґрунту мали перевагу в запасах продуктивної вологи перед глибокими безвідвальними обробками на звичайних чорноземах в 1,2 - 1,5 рази, а на лучних – в 1,1 - 1,3 рази.

При всіх достоїнствах безвідвальних і плоскорізних систем обробітку ґрунту їм властиві певні недоліки, головний з яких – наростання засміченості посівів, особливо при підвищеному зволоженні. В степових районах Уралу і Сибіру подолання засміченості посівів в зернопарових сівозмінах значною мірою досягається за рахунок більш пізніх термінів посіву пшениці, які дозволяють знищити бур'яни передпосівними обробками, а також за рахунок підвищення в сівозміні частки зернофуражних культур, які висіваються ще в більш пізні терміни при досить високій частці пару, який є найактивнішим засобом вирішення цієї задачі. В південному лісостепу істотно посилюється роль гербіцидів, не говорячи вже про північні райони лісостепу, де без них, як і без азотних добрив українською вирощування зернових в 4- або 5- зернопарових сівозмінах при безвідвальній обробці. При нестачі гербіцидів і азотних добрив застосовують комбіновані системи, які поєднують різноглибинну плоскорізну обробку з відвальною оранкою. В складних ерозійних ландшафтах для того, щоб відмовитися від оранки і перейти на безвідвальну обробку без використання гербіцидів і добрив необхідно чергувати вирощування зернових з посівами однорічних і багаторічних

трав. В цілому ж розширення об'ємів використання безвідвального обробітку ґрунту і його мінімізації в північному лісостепу і підтайговій зоні східних районів залежить від забезпеченості добривами і гербіцидами.

Просування плоскорізного обробітку і різних його комбінацій в лісостепові і навіть степові райони Європейської частини Росії довгий час стримувалося внаслідок консервативних причин – горезвісного психологічного бар'єру. Його усуненню великою мірою сприяв великомасштабний полтавський експеримент, що проводився протягом 10 років під керівництвом Ф.Т. Моргуна і Н.К. Шікули [64].

Мінімізація обробітку ґрунту отримала розвиток і в Західній Європі - епіцентрі класичної оранки. Досить численними експериментами Г. Канта [37, 38] та інших дослідників була доведена можливість мінімізації обробітку навіть дерново-підзолистих ґрунтів. Для проведення посіву на необроблених полях Г. Кант [37] рекомендує головним чином три агрегати: тридискову сівалку (дисковий ніж і дводисковий сошник); смугову фрезу (посів в борозенки, що фрезеруються, ширина фрезерного ножа 2-20 см) і звичайні дискові сошники при посіві; фрезу-сівалку (з трьома різними способами загортання насіння). Залежно від типу ґрунту попередника, засміченості, вологості, крутизни схилу і потужності трактора застосовується той або інший агрегат.

Ефективність мінімізації обробітку залежить від властивостей ґрунтів і умов зволоження. У ряді країн (Великобританія, Чехія, Болгарія) було проведено обстеження ґрунтів з метою визначення можливості скорочення механічного обробітку. Встановлено, що воно можливе на дренованих ґрунтах легкого і середнього гранулометричного складу із сприятливими для рослин фізичними властивостями, щодо стійких до ущільнення і з достатньо високою родючістю.

Найбільше розповсюдження ґрунтозахисна обробка отримала в США, де вона практикується на третині посівної площі, і в Канаді, у ряді провінцій якої вона переважає.

Діюча в США класифікація включає такі системи ґрунтозахисної обробки: мульчуюча (mulch-till), смугова (strip-till), нульова (no-till), гребнева (ridge-till) і скорочена (reduced-till).

Мульчуюча обробка здійснюється чизелями, польовими культиваторами, плоскорізами, дисковими та іншими знаряддями залежно від культури, властивостей ґрунту, погодних умов. Боротьбу з бур'янами ведуть механічними і хімічними засобами.

Смугова обробка проводиться фрезами, чизелями, культиваторами і іншими знаряддями смугами, що займають приблизно третину поверхні поля.

При прямому посіві (нульова обробка) ґрунт залишається без механічного обробітку. Посів проводять спеціальними сівалками, для боротьби з бур'янами використовують гербіциди.

При гребневій обробці створюють гребені заввишки 10-15см, по яких проводять посів звичайними сівалками. При цьому обробляється біля третини поверхні поля.

До скороченої обробки відносять інші системи обробітку ґрунту і посіву, які забезпечують збереження необхідного мінімуму рослинних залишків на поверхні ґрунту. Схожу класифікацію застосовують і в Канаді.

З ґрунтозахисних систем обробітку основна частка припадає на мульчуючу, прямий посів в США практикується лише на 5 % посівної площі, в основному при вирощуванні кукурудзи. Примітно, що згідно прогнозу Міністерства сільського господарства США до 1995 р. очікувалося використання ґрунтозахисної обробки на 83 % посівної площі, у тому числі нульової - на 46%, чого, проте, не відбулося. Основні причини такої невідповідності урядові і наукові організації бачать в тому, що у виробничих умовах ґрунтозахисна обробка нерідко не забезпечує ріст урожайності і рентабельності, а весь комплекс агротехніки повинен дотримуватися більш строго. Крім засміченості посівів, що посилюється, розвитку деяких хвороб, підвищеного дефіциту мінерального азоту, диференціації орного шару за вмістом рухомих фосфатів при мінімальних обробках виникають труднощі, пов'язані з несприятливим впливом надмірної кількості залишків, які залишилися після збирання. Перш за все вони є істотною механічною перешкодою для якісного закладення насіння і отримання дружних сходів, що супроводжується ослабленням кущіння, високим відсотком загибелі озимих культур зимою і ранньою весною. Крім того, в процесі розкладання залишків, які залишилися після збирання, утворюється цілий ряд сполук - етилен, аміак, органічні кислоти, феноли, альдегіди, амінокислоти і ін. Багато з них, у тому числі оцтова, коричнева кислоти і феноли, особливо в кислотній формі, токсичні не тільки для рослин, але і для багатьох корисних мікроорганізмів, у тому числі зв'язаних з мобілізацією живильних речовин ґрунту і залишків, які залишилися після збирання. За наявності великої кількості залишків, які залишилися після збирання, необхідні ґрунтообробляючі знаряддя з великим кліренсом, а також спеціальні і пристосовані сівалки.

У зв'язку з мульчуючим ефектом рослинних залишків відмінності в температурі поверхневого шару ґрунту при мінімальній обробці і відвальній оранці можуть досягати 3 – 5 °С і більше. Це відіграє позитивну роль в умовах жаркого і сухого клімату і небажано в умовах відносно холодного і короткого вегетаційного періоду у зв'язку із затримкою появи сходів і дозрівання посівів.

З урахуванням перерахованих особливостей в різних країнах залежно від набору культур в сівозміні і ґрунтово-кліматичних умов застосовують різні комбіновані системи обробітку ґрунту, які поєднують відвальну оранку (перш за все під просапні культури з одночасним внесенням органічних, фосфорних і калієвих добрив з запасом на декілька

років) з безвідвальними способами обробітку - глибокою і дрібною культивуацією, чизелюванням, дискуванням аж до прямого посіву під непросапні культури. Якщо не використовують органічних добрив, сидерації, то замість відвальної оранки застосовують глибоке спущення. В цілому ж виходять з необхідності всесторонньої оцінки позитивних і негативних наслідків повної або часткової відмови від оранки, щоб не допустити недобору урожаю.

Можливості скорочення обробітку ґрунту обмежуються несприятливими водно-фізичними властивостями, наявністю ущільнених горизонтів, проте потенціал їх може бути розширений за рахунок хімічних, агротехнічних і комбінованих меліорацій. Наприклад, після однократної меліоративної оранки остаточно-солонцюватих чорноземів з ущільненими перехідними горизонтами стає можливим систематичне використання мілкого плоскорізного обробітку.

Мінімізація обробітку ґрунту разом із скороченням глибини і частоти основного обробітку розвивається також в плані поєднання в одному робочому процесі передпосівних обробок, внесення добрив посіву за допомогою комбінованих і посівних агрегатів, які обробляють ґрунт.

Таким чином, вибір оптимальних варіантів системи обробітку ґрунту, який визначається декількома групами природних і виробничих чинників, вельми широкий. Проте на ґрунтах, схильних дефляції і водній ерозії він лімітується необхідністю збереження на поверхні ґрунту пожнивних залишків. При цьому в посушливих умовах степової зони ґрунтозахисна обробка має добре виражену спрямованість у бік мінімізації аж до нульової, а в складних ерозійних ландшафтах лісостепової зони протиерозійна обробка повинна включати глибоке спущення, щільювання та інші способи, які забезпечують акумуляцію вологи і скорочення стоку.

В інших агроландшафтах з помірним проявом ерозії або дефляції при побудові систем обробітку ґрунту можливі самі різні комбінації її прийомів. На практиці важливо враховувати не тільки середньобагаторічні кліматичні умови і інші усереднені чинники, на які звичайно були розраховані рекомендації наукових центрів, але і конкретну обстановку: ущільнення ґрунту, засміченість полів, погоду і т.д. Для цього повинні використовуватися набори технологій обробітку, машин, знарядь, робочих органів. Зокрема, диференціювання безвідвального обробітку ґрунту було пов'язано із застосуванням сімейства спущуючих робочих органів: плоскорізів, стійок СибІМЕ, чизелів, параплау, щільювачів в залежності від ґрунтових умов. Використання параплау, особливо ефективно на щільних, пересохлих ґрунтах, чизелів - на чистих від бур'янів, стійок СибІМЕ - на вологих. Ці робочі органи можна використовувати як змінні на універсальній рамі.

В світовій практиці більша увага надається чизелюванню. Його розглядають як ефективний прийом усунення ущільнених шарів ґрунту, які

утворюються при обробці дисковими плоскорізними знаряддями, і руйнування плугової підшви. Високі ґрунтозахисні показники при чизелюванні забезпечуються в результаті збереження на поверхні основної маси залишків, які залишилися після збирання і різкого ослаблення поверхневого стоку. Чизелювання ефективно і як прийом вологонакопичення, особливо при вологій осені. Після чизельного обробітку з осені не відбувається суцільного замерзання ґрунту, що забезпечує сприятливі умови для вбирання талих вод і зменшення їхнього стоку, особливо якщо він проводиться в можливо більш пізні підзимові терміни. Все більше розповсюдження одержує поєднання в одному агрегаті чизельних робочих органів, які оброблюють ґрунт на глибину до 30 см, з дисковими. Дисково-чизельні агрегати, що випускаються фірмами «Віл-Річ», «Джон Дір» та ін., обладнанні також пристосуваннями для внесення мінеральних добрив. Для осіннього обробітку ґрунту після прибирання високостеблових культур фірмою «Ліллі-стон» був запропонований роторно-чизельний агрегат. Агрегати із шредерними і чизельними робочими органами забезпечують рівномірний розподіл по полю рослинних залишків і якісний обробіток ґрунту.

Розглядаючи глобальну спрямованість розвитку систем обробітку ґрунту у бік мінімізації і поглибленої диференціації як об'єктивний вираз екологізації землеробства, неважко бачити суперечності між передумовами біологізації землеробства з одного боку, і вимушеним у багатьох випадках використанням пестицидів - з іншого. Насправді, при мульчуючій безплужній обробці, створюються умови для активного розвитку зоофауни, особливо дощових черв'яків, які не тільки «обробляють» орний шар, покращуючи його структуру, але і забезпечують проникність ґрунтового профілю за рахунок численних ходів, що досягають глибини 1м [38]. Проте використання безплужного обробітку нерідко було обмежено підвищенням розвитком засміченості і хвороб, доводиться використовувати гербіциди і фунгіциди, які негативно впливають на зоофауну. При найближчому розгляді цієї суперечливої ситуації вона зовсім не представляється безвихідною і не тільки в плані віддалених перспектив (створення стійких до хвороб сортів, розвиток біологічних методів боротьби з бур'янами, шкідниками і хворобами, створення малотоксичних гербіцидів нового покоління з вузьковибірковою дією і т.д.) але і з позицій нереалізованих можливостей сучасної агротехніки. Задача подолання засміченості значною мірою може бути вирішена за рахунок створення сприятливих умов для проростання насіння бур'янів в ранньовесняний і осінній періоди і подальшого знищення їх механічними способами, особливо в районах з достатньо тривалим вегетаційним періодом. В поєднанні з раціональним чергуванням культур в сівозміні, оптимальною часткою чистого або зайнятого пару, використанням проміжних культур, своєчасністю виконання польових робіт, що виключає, зокрема,

обсіменіння смітної рослинності в осінній період, дана задача в більшості випадків може бути вирішена без використання гербіцидів. Достатньо професійний землероб, що досягнув алгебру сучасного обробітку ґрунту, здатний при необхідності застосувати без екологічного збитку і пестициди, широкий асортимент яких дозволяє зробити достатньо безпечний вибір і застосувати потім безпечну технологію їх внесення. Орач же, що досягнув лише арифметичні початки землеробства, не повинен і подумувати про пестициди. До його свідомості повинна бути доведена реальність економічного краху при підміні поганої агротехніки хімічними засобами.

3.5 Екологічні аспекти використання добрив

Найважливіша задача агрохімії – регулювання біологічного кругообігу речовин в агроценозах – відвічна, починаючи з робіт Д.М. Прянішнікова, орієнтована на екологічні підходи до використання добрив. На відміну від природних біогеоценозів з відносно замкнутим циклом біогенних елементів, в агроценозах відбувається розрив цього циклу через відчуження живильних речовин з урожаєм, втрат в результаті стоку, ерозії, денітрифікації, інфільтрації.

Порушення балансу живильних речовин в землеробстві веде не тільки до зменшення виробництва продукції і погіршення її якості, але і до зниження стійкості агроландшафтів. В зв'язку з цим компенсація дефіциту біогенних елементів з використанням органічних і мінеральних добрив повинна розглядатися як екологічно зумовлена задача, а об'єктом регулювання біологічного кругообігу стає вже не окремий агроценоз, а агроландшафт в цілому з урахуванням вертикальних і горизонтальних геохімічних потоків. В плані наукового забезпечення цієї задачі необхідний перехід від «точкових» досліджень до динамічних спостережень в геохімічно зв'язаних елементах агроландшафтів і суміжних з ними природних ландшафтах.

Є дуже істотні відмінності в режимі біогенних елементів і ефективності добрив на різних елементах рельєфу, особливо на схилах різної форми, крутизни, довжини, експозиції. Ґрунти на схилах південних експозицій в порівнянні з північними характеризуються, як правило, більшою еродованістю, меншою потужністю гумусового горизонту, більш інтенсивними процесами мінералізації органічної речовини і азоту. На холодних схилах північних експозицій спостерігається зниження рН і підвищення гідролітичної кислотності в порівнянні з південними. Наприклад, в орному шарі типового чорнозему були відзначені такі значення рН: на вододільному плато 5,7; на схилі північної експозиції 5,5; на схилі південної експозиції 6,2; гідролітична кислотність ґрунту на схилах південної і північної експозицій склала відповідно 3,20; 3,60

мг·екв/100 г [97]. Чутливість рослин на добрива, як правило вища на північних схилах у зв'язку з більш високою їх вологозабезпеченістю.

На схилах однакової експозиції ґрунти різного ступеня еродованості найчастіше істотно розрізняються по забезпеченості мінеральним азотом, відповідно зростає необхідність використання підвищених доз азотних добрив на середне- і сильно еродованих ґрунтах. Ця потреба входить в суперечність з посиленням втрат азоту добрив в результаті змиву. Тому технології обробітку сільськогосподарських культур на еродованих ґрунтах повинні передбачати ретельне закладення добрив, екологічне обґрунтовування їх доз і скорочення стоку. Збільшення урожайності рослин на цих ґрунтах сприяє підвищенню їх стійкості до ерозії в результаті кращого розвитку рослин, їх корневих систем і більшої кількості рослинних залишків.

В цілому в складних ерозійних ландшафтах потрібна вельми гнучка система внесення добрив, яка враховує різноманітність елементів рельєфу і їхніх морфологічних характеристик, ступінь змиву ґрунту, стік, літологічні умови, з тим щоб не допустити змиву живильних речовин, понад екологічно допустимі норми.

Разом з ландшафтним підходом до розподілу і використання добрив необхідно враховувати системний ефект їх взаємодії з елементами і ланками землеробства - обробітком ґрунту, сівозміною, термінами посіву, нормами висіву насіння і т.д. Азотне добриво виступає значною мірою як дозвільна умова мінімізації обробітку ґрунту, використання соломи як мульчі, скорочення частки чистого пару в сівозмінах, поглиблення їх спеціалізації. Без використання фосфорних добрив різко знижується ефективність чистого пару, збільшуються втрати мінерального азоту з ґрунту внаслідок неповного його використання рослинами при дефіциті фосфору. Використанням добрив можна регулювати ріст і розвиток рослин на різних етапах органогенезу, прискорювати або уповільнювати дозрівання, погоджуючи при цьому терміни посіву і формуванням площі живлення рослин різними способами посіву і нормами висіву насіння.

Стартове рядкове добриво прискорює ріст вторинної кореневої системи зернових злаків, що нерідко має вирішальне значення у формуванні урожаю.

Використання добрив дозволяє запобігти або пом'якшити дію різних стресів, підвищуючи пристосованість рослин до несприятливих умов, їх посухостійкість, морозостійкість і т.д.

Добрива впливають на стійкість рослин до хвороб. Зокрема, фосфорне добриво, сприяючи посиленому розвитку кореневої системи, підвищує опірність рослин до упродовження і розвитку патогенів. Калійні добрива сприяючи потовщенню клітинних стінок, підвищенню міцності механічних тканин, істотно стримують розвиток грибних хвороб.

Протилежну роль в цьому відношенні відіграє надмірне азотне живлення рослин, стимулюючи виникнення хвороб. Збалансоване добриво в інтенсивних технологіях вирощування зернових культур послабляє патологічний процес але нерідко доводиться вдаватися до фунгіцидних обробок, особливо у разі низької стійкості сорту до хвороб при високому рівні азотного живлення. Голодування рослин при нестачі того або іншого живильного елемента часто супроводжується розвитком хвороб. Пізнання такого роду взаємозв'язків в результаті досліджень, виконаних на межі землеробства і суміжних наук протягом останніх десятиріч, залишило позаду утилітарне уявлення про мінеральні добрива, як про «порошок родючості», хоча на практиці спрощене уявлення про використання добрив за принципом «чим більше, тим краще» далеко не викоренене.

Стратегія формування систем удобрення культур в сівозміні змінюється залежно від рівня забезпеченості агрохімічними ресурсами. Суть її полягає в тому, що на першому етапі хімізації розв'язується задача регулювання живлення рослин в компенсуючому режимі в ланках, де воно якнайменше збалансовано але: оптимізація фосфорного живлення зернових, які розміщені на пару, азотного - на фонах безвідвального і мінімального обробітку, особливо при залишенні соломи; весняні підживлення культур і багаторічних трав, стартове рядкове добриво і т.п. Після досягнення рівня забезпеченості ріллі мінеральними добривами необхідного для освоєння протиерозійних заходів, сівозмін з певним співвідношенням культур, чистого та зайнятого пару, тобто оптимізації систем землеробства, подальше збільшення їх застосування повинне здійснюватися в інтенсивних технологіях вирощування сільськогосподарських культур з розрахунку на плановану урожайність. При визначенні максимальної дози добрив, якщо в ній виникає необхідність слід орієнтуватися на максимальний прибуток з урахуванням екологічних обмежень, а не на максимальну надбавку урожаю. Вибираючи оптимальні рішення залежно від ґрунтово-кліматичних умов і забезпеченості ресурсами, важливо мати на увазі, що надмірна концентрація добрив на окремих полях так само нераціональна, як і розпиленість їх по полях, не забезпечених захисними заходами і високою культурою землеробства в цілому.

Порушення цих принципів в період компанії по освоєнню інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, їх відірваність від зональних систем землеробства і недостатня комплексність виконання призводять не тільки до зниження віддачі від вкладених ресурсів, але і до забруднення навколишнього середовища пестицидами.

Необхідно поглиблювати дослідження по обґрунтуванню оптимальних рівнів використання добрив і розрахунку доз з урахуванням економічних і екологічних чинників. Особливе значення має встановлення

рівнів допустимого навантаження добрив на агроценози в різних агроландшафтах.

Екологічні ексцеси особливо наочно виявляються у сфері вирощування овочевих культур, які відрізняються найбільшою здатністю накопичувати нітрати та інші залишкові хімічні сполучення. Темпи хімізації овочівництва в багатьох районах далеко випередили рівень кваліфікації і технологічної дисципліни виробників і вийшли за рамки доцільності. Ця галузь потребує першочергової біологізації, підвищення частки перегною в системі добрив, багаторічних трав в сівозмінах, застосуванні біологічних препаратів для захисту рослин.

Велику небезпеку для навколишнього середовища представляє надмірна концентрація відходів тваринництва, не забезпечена утилізацією рослинами на прилеглих до ферм площах сільськогосподарських угідь. Тому задача оптимізації розміщення ферм, пов'язаного з розміщенням кормових угідь, стала однією з найактуальніших. Найбільш гостра в екологічному відношенні проблема утилізації стоків крупних тваринницьких комплексів. Основний шлях їх використання - удобрення багаторічних трав. При обмеженості полів утилізації і перевантаженні трав'яних агроценозів азотом головний спосіб отримання чистої продукції - промислова технологія витягання білка із зеленої маси багаторічних трав.

Вихід із суперечностей, пов'язаних з використанням гною, є однією з найактуальніших задач. Проблему повної й ефективної його утилізації не вдалося розв'язати адміністративними засобами. Для її вирішення потрібно створення економічного механізму інтеграції галузей тваринництва і землеробства, організація відповідної інфраструктури тваринництва, раціональних систем видалення гною, приготування і внесення органічних добрив.

Серйозною економічною і екологічною проблемою залишається нерівномірність внесення органічних і мінеральних добрив. При цьому розвивається строкатість посівів зернових, нерівномірність дозрівання, знижується якість продукції, посилюється вимивання живильних речовин. Втрати за рахунок інфільтрації зростають з підвищенням доз добрив. За даними Т.Н. Кулаковської [56], в Білорусі в роки з надмірним зволоженням вимивання азоту на легких ґрунтах досягає 60 кг/га, на супіщаних – 20-25 кг/га, на суглинних - 10 кг/га. В роки з нормальним зволоженням ці показники знижуються приблизно удвічі. Тривало зберігається уявлення про незначні розміри втрат азоту в ґрунтах лісостепової і степової зон, хоча низхідна міграція його в чорноземах і темно-каштанових ґрунтах під зернопаровими сівозмінами дуже висока. Цей процес посилюється при використуванні азотних добрив. По кількості нітратного азоту за межами шару розповсюдження коріння можна судити про адекватність доз азотних добрив, які застосовуються. Оцінки втрат азоту в результаті

випаровування газоподібних його сполучень знаходяться в межах 10-30 % від внесеного [63].

Для запобігання втрат азоту в навколишнє середовище, слід оптимізувати дози азотних добрив під кожен культуру сівозміни, вносити їх в правильні терміни, рівномірно розподіляти і закладати в ґрунт, правильно вибирати форми удобрення.

Визначаючи перспективи екологізації систем удобрення польових культур, слід, очевидно, виходити з наближення їх до механізму мінерального живлення рослин в природних екосистемах, де воно здійснюється в рамках біологічного кругообігу за принципом безвідходних технологій. Агросистеми, які одержують постійну «дотацію» елементів мінерального живлення у формі мінеральних добрив, значну частину дефіцитної мінеральної їжі витрачають непродуктивно в результаті загального росту масштабів винесення речовин, фіксації в ґрунті і т.д. Таким чином, традиційна агроекосистема не тільки непродуктивно витрачає мінеральну їжу, але і активно забруднює сполучені природні системи - води поверхневого і ґрунтового стоків, сусідні ландшафти, повітря і т.д. з усіма витікаючими звідси наслідками.

Підвищене використання елементів живлення з органічних залишків було пов'язано з тим, що в зонах, де розташовані рослинні залишки або органічні добрива, спостерігається у декілька разів більш висока локалізація активних коренів рослин. Причина високої локалізації пов'язана з тим, що в зонах з органічними залишками рослина знаходить повне мінеральне живлення, збалансоване по макро- і мікроелементам. В цих зонах немає «обпікаючих» концентрацій розчинних солей або баластних речовин (наприклад, хлоридів), як навкруги від гранул мінеральних добрив. Нарешті в зонах з органічними залишками виявляються більш сприятливі для кореневої системи фізичні властивості, а також більш висока мікробіологічна активність.

В природних умовах практично у всіх ґрунтах кореневе живлення локалізовано по залишках корневих систем або на контакті лісової підстилки з мінеральною частиною ґрунту, тобто зона кореневого живлення просторово гетерогенна за всіх умов і параметрів. В традиційних системах землеробства принципово інша ситуація, оскільки технологічні прийоми обробок були направлені на гомогенізацію шару розповсюдження коріння.

Кореневе живлення в умовах «гетерогенного ґрунту» має і інші переваги окрім високих коефіцієнтів використання елементів мінерального живлення з органічних залишків.

В умовах локалізації корневих систем значно знижується надходження в рослини токсикантів із забруднених ґрунтів за рахунок значного зменшення «активного об'єму», займаного корневими системами. Досліди показали, що шляхом створення локальних зон із

сприятливими властивостями і умовами живлення на основі композицій, що містять рослинні залишки або органічні добрива, вдається в 4-5 разів і більш понизити надходження важких металів в рослини.

Дослідження ролі органічних залишків в мінеральному живленні рослин дає підставу для перегляду традиційних систем добрив. Наприклад, в умовах дерново-підзолистих ґрунтів в сівозміні з багаторічними травами при дефіциті добрив їх вносять переважно під просапні і зернові культури. Тим часом досвід свідчить про те, що навіть невелике переміщення добрив під багаторічні трави може дати високий ефект. Трави можуть сильно реагувати на мінеральні добрива, при цьому збільшується не тільки урожай сіна, але і надходження в ґрунт поживно-коренових залишків. В результаті культура, що йде по посиленому пласту багаторічних трав (звичайно озима пшениця), як і наступна культура (часто картопля), дають більш високий урожай в порівнянні з традиційною системою. Крім того, внесення частини добрив під багаторічні трави знижує їх нераціональні втрати, оскільки мінімальне винесення живильних речовин, як з поверхневим, так і з внутрішньогрунтовим стоком спостерігається саме з полів, зайнятих багаторічними травами. Більш значне надходження в ґрунт залишків багаторічних трав підвищує біологічну активність ґрунту, його санітарно-захисні функції, збільшує масштаби біогеохімічного кругообігу, сприятливо впливає на гумусовий режим ґрунтів. Даний підхід має особливо важливе значення на ґрунтах легкого гранулометричного складу. Крім багаторічних трав роль такого носія живильних речовин можуть виконувати проміжні культури [61].

Істотний недолік багатьох мінеральних, особливо азотних добрив, - їх фізіологічна кислотність, а також наявність залишкової кислоти внаслідок недосконалості технологій виробництва. Інтенсивне використання таких добрив призводить до того, що підкислює ґрунти і відповідно погіршує їх властивості. При цьому підвищується рухливість радіонуклідів і важких металів.

Якість багатьох мінеральних добрив знижується внаслідок вмісту в них супутніх баластних елементів, у тому числі токсичних важких металів. Питання про те, в якому ступені небезпечно забруднення ґрунтів важкими металами в результаті використання мінеральних добрив, має різні тлумачення. Об'єктивну відповідь на нього можна дістати при проведенні відповідних балансових досліджень. Покажемо це на прикладі суперфосфату [64]. З промислових мінеральних добрив суперфосфат відрізняється найвищим вмістом важких металів, зокрема найтоксичнішого кадмію. В табл. 3.4 наведені дані про надходження кадмію в ґрунт при систематичному вживанні фосфорних добрив, отримані А. Клоком в Німеччині, а в табл. 3.5 - дані того ж автора по винесенню кадмію з ґрунту з урожаєм різних культур.

Таблиця 3.4 - Оцінка надходження кадмію в ґрунти при щорічному внесенні фосфорних добрив

Походження фосфатної сировини	Вміст Cd в сировині мг/кг	Вміст Cd в одержуваних фосфорних добривах (18% P ₂ O ₅), мг/кг	Надходження Cd в ґрунт при дозі P ₂ O ₅ 70 кг/га		Кількість років, через які вміст Cd в ґрунті досягне 1 мг/кг
			г/га	мг/кг	
Кольський півострів	0,1	0,05	0,02	0,000006	166667
Флорида	10	5,0	2	0,0006	1667
	15	7,5	3	0,001	1000
Західна Африка	75	37,5	15	0,005	200

Примітка. Вміст P₂O₅ у всіх видах сировини 36 %.

На підставі цих досліджень А. Клок показав, що при винесенні кадмію з урожаєм рослин (0,4 - 3,0 г/га) і вимиванні його з ґрунту (1 г/га за рік) спостерігається рівновага між надходженням кадмію в ґрунт (2 - 3 г/га за рік) і винесенням його з ґрунту (14 - 4,0 г/га за рік). Автор робить висновок: якщо ґрунти не забруднюються емісіями або відходами міст, то накопичення кадмію в ґрунті при регулярному застосуванні промислових фосфорних добрив не може викликати турботи.

Надходження кадмію і інших важких металів збільшується при використуванні фосфоритного борошна, як фосфорні добрива

Помітним джерелом надходження кадмію і інших важких металів в ґрунт є органічні добрива. В стійловому гної міститься в середньому 0,4 мг кадмію і 6,6 мг свинцю на 1 кг сухої речовини. При нормі внесення до 5 т сухої речовини на 1 га, з гноєм щорічно вноситься 1-4 г кадмію на 1 га, тобто така ж кількість, як і при внесенні суперфосфату.

Таблиця 3.5 - Щорічне винесення кадмію з ґрунту з урожаєм

Культура	Середня урожайність, кг/га	Вміст Cd, мг/кг	Вміст Cd в урожаї, г/га	Винесення Cd з основною і побічною продукцією, г/га
Зернові	4490	0,035	0,157	0,4
Картопля	29570	0,050	1,479	3,0
Капуста	15430	0,044	0,679	1,2
Морква	30460	0,023	0,701	1,4

У зв'язку з пропагандою органічного землеробства все частіше ставиться питання про широке використування сапропелю як

органічного добрива. З ним можливо більш високе надходження в ґрунт важких металів і токсичних сполук. Наприклад, вміст кадмію в сапропелі з різних районів Німеччини складає: з Мюнхена 90 - 180 мг, з Некара – 50 - 100 мг на 1 кг сухої маси. При внесенні сапропелю в ґрунт вміст кадмію в рослинній масі підвищувався на 0,02 - 11 мг на 1 кг сухої маси, а в ґрунті - на 6 - 73 мг/кг [64].

Реальну загрозу забруднення ґрунтів і рослин представляє використання як добрива осаду стічних вод крупних промислових міст. При їх використанні в еквівалентних по фосфору дозах, надходження кадмію в ґрунт в десятки і сотні раз вище ніж при вживанні фосфорних добрив.

Як небезпечні джерела забруднення ґрунтів нерідко виступають різні відходи промисловості, що використовуються як хімічні меліоранти. Відходи, що часто використовуються для вапнування ґрунтів, мають в своєму складі потенційно небезпечні елементи, які в кислих умовах можуть переходити в активну форму. Необхідно проводити достатньо тривалі дослідження, щоб встановити можливі наслідки використання цих відходів.

Останніми роками для меліорації солонцевих ґрунтів активно застосовують фосфогіпс - відходи виробництва суперфосфату, який містить разом з високоефективною меліоративною речовиною - гіпсом - і залишками фосфорної кислоти підвищені кількості фтору (близько 15 %) і стронцію (1,8 - 2,0 %). З урахуванням можливої у ряді випадків небезпеки забруднення ґрунтів і рослин цими елементами повинні корегуватися дози фосфогіпсу, який доцільно використовувати в першу чергу для вибіркової меліорації солонцевих плям.

Не втратила актуальності проблема забруднення середовища в результаті втрат добрив при їх виробництві, транспортуванні, зберіганні, навантажувально-розвантажувальних роботах, підготовці до внесення.

3.6 Регулювання режиму органічної речовини ґрунтів

В процесі інтенсифікації землеробства посилюються екологічні аспекти в оцінці ролі органічної речовини ґрунтів, їх гумусового стану. На відміну від екстенсивного етапу, коли органічна речовина ґрунтів служила основним джерелом живлення рослин, в сучасному землеробстві воно визначає екологічні межі інтенсифікації, зокрема виступає як дозволяючий чинник хімізації з погляду забезпечення буферності ґрунтів і поглинальної здатності по відношенню до добрив, подолання навантаження пестицидами і іншими хімічними речовинами. Забезпеченість ґрунтів

органічною речовиною визначає можливості мінімізації обробітку ґрунту і відповідно скорочення енергетичних витрат, сприяє підвищенню стійкості землеробства за несприятливих погодних умов.

У міру інтенсифікації землеробства, особливо використання мінеральних добрив, втрачається прямий зв'язок вмісту гумусу з урожайністю, вона опосередковується через перераховані складні взаємодії. Розуміння цих взаємодій абсолютно необхідне при вирішенні задач регулювання режиму органічної речовини ґрунтів. Будуть потрібні значні зусилля для наукового обґрунтування даної проблеми і раніше всього переосмислення укорінених за останні два десятиріччя спрощених уявлень із цього приводу, що з'явилися слідством кампанії по створенню бездефіцитного балансу гумусу на полях країни. Кампанія традиційно означає спрощення або перекручення якої-небудь дуже важливої задачі і зведення її до шаблону. В даному випадку суть проблеми зводилася до розрахунку балансу гумусу по вельми неадекватних методиках і компенсації встановлених таким чином втрат органічної речовини внесенням органічних добрив, а при їх недоліку розширенням площ під багаторічними травами і будь-якими іншими засобами. Така установка, вироблена на початку кампанії, діє, до цього дня. Здавалося б, нічого поганого в ній немає, привернуто увагу громадськості до проблеми підвищення родючості полів і уряду до економічного сприяння в її рішенні. Але жодна кампанія з її універсальними установками в масштабах величезної і різноманітної за природних умов країни не проходить без збитку для народного господарства. В даному випадку прямого економічного і екологічного збитку завдано залученням торфу для регулювання гумусового балансу чорноземів в Сибіру, що супроводжувалося виробленням мілкоперелогових торф'яників, тобто знищенням торф'яно-болотних ґрунтів. Розширення посівів багаторічних трав відповідно до універсальних рекомендацій для цієї ж мети знижувало продуктивність ріллі в степовій зоні. На щастя, більшість агрономів, знайомих з травопільною кампанією 30-40-х років не допускали її рецидивів.

Справа, проте, не в цих епізодах. Набагато неприємніші наслідки, пов'язані із спотворенням суті самої проблеми, не вірним теоретичним тлумаченням її: це тенденції абсолютизації ролі гумусу коли до регулювання гумусового стану ґрунтів зводиться мало не вся проблема підвищення ґрунтової родючості; застаріле уявлення про прямий зв'язок вмісту гумусу з урожайністю культур, а звідси пояснення їх низької урожайності малим вмістом гумусу, недооцінка ролі лабільних органічних речовин ґрунту; пояснення низької ефективності мінеральних добрив недоліком гумусу в ґрунті; шаблонне уявлення про повсюдне зниження вмісту гумусу в ґрунтах; надуманість методу розрахунку гумусового балансу оскільки сучасний стан органо-балансових досліджень дозволяє

оцінювати розміри окремих складових балансу гумусу лише на рівні грубого наближення. Не можна перетворювати відтворення гумусу в самоціль безвідносно до продуктивності культур і економіки виробництва. В даному випадку, перш за все потрібно з'ясувати особливості зміни вмісту гумусу в ґрунтах різних зон і ландшафтів при залученні їх в активний сільськогосподарський оборот і причини цих змін. Вони були пов'язані з характером надходження в ґрунт рослинних залишків, їхнім якісним складом і умовами перетворення.

В північно-тайговій зоні річна продукція природних фітоценозів складає близько 4 т/га сухої маси, а зернових агроценозів - близько 7 т/га. З урахуванням відчуження приблизно половина первинної продукції агроценозів з урожаєм надходження рослинної маси в ґрунт в тому і другому фітоценозах близько і складає близько 4 т/га. Враховуючи набагато більш високу зольність трав'янистої рослинності в порівнянні з деревною і відповідно більш сприятливі умови утворення гумусу, вміст гумусу в підзолистих і глеєпідзолистих ґрунтах збільшується навіть без використання органічних добрив. Проте, не дивлячись на позитивний баланс, потрібне значне підвищення рівня гумусу у цих ґрунтах. Близька картина спостерігається і на ґрунтах середньо-тайгової зони при більш високому рівні надходження в ґрунт рослинних залишків в обох фітоценозах. В дерново-підзолистих ґрунтах південно-тайгової зони річна продукція лісових фітоценозів і зернових агроценозів знаходиться на близькому рівні (9 – 10 т/га), а надходження в ґрунт рослинних залишків складає відповідно 9 і 6 т/га. Не дивлячись на таку істотну різницю, запаси гумусу в освоєних ґрунтах залишаються близькими або дещо знижуються, але не набагато. Зменшення надходження в ґрунт органічної речовини в освоєних ґрунтах компенсується більш сприятливими умовами утворення гумусу завдяки більш високому вмісту кальцію і магнію в поживних залишках, що сприяє підвищенню коефіцієнта їх гуміфікації і закріпленню гумусу, що утворюється. Важливе, значення має також надходження рослинної речовини безпосередньо в ґрунт, а не на поверхню, як в лісі і посилення контрастності режиму вологості.

Підвищення рівня гумусу дерново-підзолистих ґрунтів до стану окультурених потребує цілого комплексу заходів із застосуванням достатньо високих доз органічних добрив, вапнування і т.д. Для підтримки досягнутого рівня гумусового стану ґрунтів потрібні постійні зусилля. В міру забезпеченості ресурсами, ця задача повинна бути вирішена в першу чергу для обробітку найвимогливіших культур на кращих землях. В гірших умовах можна розмішувати більш стійкі до несприятливих умов культури, що раціонально і з погляду продуктивності агроценозів і регулювання режиму органічної речовини. Абсолютно очевидно, що зрівняльна орієнтація на загальне облагороджування полів неспроможна ні в економічному, ні в екологічному відношенні.

Абсолютно інша динаміка органічної речовини складається при освоєнні і використанні чорноземів. Річна продукція посушливих і лугових степів коливається на рівні відповідно 15 і 20 т сухої маси з 1 га в зернових агроценозах – відповідно на рівні 10 і 12 т. З урожаєм зерна і соломи відчужується приблизно половина сухої маси. Отже, надходження рослинних залишків в ґрунт в агроценозах скорочується в 3 рази, зрозуміло з великими коливаннями. Природно, це не може не приводити до втрат гумусу, які за численними даними складають для орного шару 20-30 %.

Вміст гумусу найбільш інтенсивно знижується в перші 10-15 років після оранки через швидке розкладання лабільних форм органічної речовини, надалі цей процес сповільнюється внаслідок наближення до нового рівня стабілізації відповідно новим умовам. Наприклад, середньорічні втрати гумусу в орному шарі південного чорнозему при використанні в зернопарових сівозмінах без використання добрив в перше десятиріччя склали близько 1 т/га, в друге - 0,5, в третє - 0,4 т/га. В подальші 30 років встановилися приблизно однакові втрати гумусу - 0,3 т/га за рік [47].

Зрозуміло, що добитися бездефіцитного балансу гумусу на рівні його запасів в цілинних чорноземах неможливо, бо для цього довелося б вносити щорічно більше 10 т сухої речовини на 1 га.

Залежно від використання ґрунтів втрати гумусу зростають в такому порядку: багаторічні трави - зернові - просапні - пара. В парових полях вони досягають 1,5-2 т/га в рік і нерідко супроводжуються накопиченням нітратів в ґрунтах до глибини 2-5 м і ґрунтових водах, що ускладнює екологічну обстановку.

Максимальні втрати гумусу спостерігаються в солонцевих ґрунтах, залучених в активний сільськогосподарський оборот без меліорації в ході масових кампаній по освоєнню нових земель. Щорічно оброблювані вони дають низькі урожаї при надмірній мінералізації гумусу.

Розглянуті зміни гумусу орних ґрунтів характеризують його біологічні втрати в результаті посилення мінералізації і скорочення надходження в ґрунт рослинних залишків. Більш значні в порівнянні з біологічними втрати гумусу в умовах прояву водної і вітрової ерозій. Навіть в помірно ерозійних ландшафтах при ухилах 2-3° втрати гумусу в орному шарі лучних чорноземів від водної ерозії склали 18-41 % за 50-130 років [47], що в 3-6 разів більше ніж на рівнинах. Південні і звичайні чорноземи Казахстану за 15 років після підйому цілини до освоєння ґрунтозахисної системи землеробства втратили залежно від гранулометричного складу 11-36 % гумусу в орному шарі, що значно більше біологічних втрат. Освоєння ґрунтозахисних систем землеробства в степових районах, в останні 30 років, сприяло скороченню втрат гумусу,

внаслідок дефляції ґрунтів. Мало змінилися щорічні втрати гумусу від водної ерозії.

Скорочення запасів гумусу в ґрунтах визначає як один з найважливіших принципів, вимогу максимального повернення в них рослинних залишків, гною та інших відходів. Спалювання їх, у тому числі конверсія в біогаз, повинно бути гранично обмежено. Цей принцип відноситься і до торфу.

Вирішуючи задачі оптимізації гумусового стану ґрунтів і режимів органічної речовини, слід виходити з положення про те, що регулювання їх здійснюється всіма засобами систем землеробства (оптимізація співвідношення угідь, структури оранки, сівозмін, частки чистого пару, багаторічних трав, системи обробітку ґрунту, протиерозійна організація території, використання органічних і мінеральних добрив).

Першочергова задача оптимізації режиму органічної речовини ґрунтів - регулювання кількості і якості лабільної органічної речовини на нормативній основі.

Системи землеробства повинні бути побудовані так, щоб відтворення гумусу в ґрунтах не вимагало спеціальних затрат, а було слідством заходів направлених на підвищення продуктивності агроценозів і захист ґрунтів від різних видів деградації. Зокрема, нарощування запасів органічної речовини в ґрунтах за допомогою органічних добрив доцільно в тій мірі в якій воно зумовлює можливості підвищення урожайності з урахуванням окупності затрат.

Залучення торфу у складі органічних добрив доцільно лише в об'ємах, необхідних для утилізації нетехнологічних відходів тваринництва з мінімальними екологічними витратами, пов'язаними з його відчуженням.

Системний підхід до управління родючістю ґрунтів, здійснюваний у вигляді послідовного економічно обґрунтованого поліпшення властивостей ґрунтів, лімітуючих продуктивність агроценозів, не виключає створення городніх ґрунтів для овочівництва і вирощування картоплі. Використання меліоративних доз органічних добрив для поліпшення фізичних властивостей ґрунтів розширить можливість і підвищить якість механізованого збирання картоплі і овочів, сприятиме скороченню використання мінеральних добрив. Співвіднесений з оцінкою народногосподарського ефекту, цей підхід не має нічого спільного з екстремальною ідеєю створення багато гумусових «агроземів».

Кількісна оцінка впливу конкретних агроприйомів на режим органічної речовини ґрунтів повинна знайти вираження у вигляді нормативів, які розробляються на основі даних багаторічних польових експериментів. Їх не слід підміняти гіпотетичними балансовими розрахунками.

3.7 Оптимізація захисту рослин

До недавнього часу стратегія боротьби з шкідливими організмами була орієнтована на знищення небажаних популяцій, причому центр тяжкості в цій боротьбі змістився на використання хімічних засобів, кратність застосування і норми внесення яких неухильно зростали, а стійкість шкідливих видів до пестицидів підвищувалася.

Стало очевидним, що використання пестицидів викликає непередбачені зміни екосистем через біоценотичні зв'язки і виходить за межі агроценозів. Навіть якщо б існували пестициди з ідеальною вибіркою дією, то і вони викликали б побічний ефект через ці зв'язки. Наприклад, руйнування гербіцидами рослини-господаря виключає з екосистеми тих комах і інших безхребетних, для яких ця рослина служила притулком. Якщо комаху або тварину нечутлива до даного пестициду, чисельність її популяції, проте, може зменшитися внаслідок знищення тих рослин або тварин, які служать їй поживою. Це може мати як позитивні, так і негативні наслідки для практики.

Руйнування зооценозів хижаків і паразитів пестицидами може викликати швидкий розвиток популяцій шкідливих комах, що підлягають знищенню. Найпростіша причина цього явища полягає в тому, що чисельність комах-паразитів зменшується і, таким чином, шкідники, що харчуються рослинною їжею, у яких в нормальних умовах рівень смертності досить високий, розмножуються безперешкодно.

За інших обставин використання пестицидів може призвести до появи нових видів шкідників, які раніше не зустрічалися на даній рослині. Це відбувається у зв'язку з тим, що вторинний шкідник менш чутливий до пестициду, ніж основний. У такому разі інсектицид вирішує питання міжвидової їх конкуренції на користь вторинного шкідника, який починає швидко розмножуватися [80].

Рослини і ґрунтові організми здатні в різному ступені концентрувати пестициди, присутні в ґрунті, що надалі позначається на харчових ланцюгах. Осмислення такого роду біоценотичних зв'язків в агросистемах призвело до необхідності переоцінки методології захисту рослин. Принципово новою теоретичною базою її стає уявлення про польові рослинні угруповання і, зокрема про взаємостосунки між культурою і шкідливими організмами в агроландшафтах. З цих позицій слід формувати систему інтегрованого захисту рослин, як складову частину адаптивно-ландшафтних систем землеробства. Такий захист повинен ґрунтуватися на принципі регулювання чисельності шкідливих організмів, тобто підтримка їх популяцій на такому рівні, при якому вони не завдають економічного збитку. Коли шкідливий організм відрізняється дуже високим потенціалом

розмноження або відноситься до карантинних або потенційно небезпечних видів, поступають з урахуванням порогу шкідливості. В ландшафтних системах землеробства конкретно величини порогів шкідливості повинні визначатися (коректуватися) для кожного агроландшафту на основі даних про втрати урожаю, чисельність шкідливих організмів і чинники, що впливають на їх динаміку.

В системі захисту рослин визначальна роль належить агротехнічним методам (вибір стійких сортів, оптимізація сівозмін, обробітку ґрунту, регулювання термінів посіву, густини стеблостою, своєчасне збирання і т.д.) які повинні доповнюватися в першу чергу біологічними методами регулювання чисельності шкідливих організмів на рівні порогу шкідливості (підтримка щільності природних ентомофагів, інтродукція паразитів або хижаків, штучне нарощування чисельності ентомофагів, використання ентомопатогенів), методами інтерференції (використовування феромонів, гормонів комах, репелентів або аттрактантів, випуск стерильних комах і ін.).

Значення хімічного методу посилюється при виникненні небезпеки значних втрат урожаю, коли він стає єдиним способом швидкого придушення популяції шкідливого організму. При цьому важливо поєднання застосування пестицидів з іншими захисними заходами в технологічному комплексі. Інтегрований захист рослин повинен будуватися на основі моделей регулювання чисельності шкідливих організмів в агроландшафтах.

Роль пестицидів зростає з посиленням спеціалізації виробництва і підвищенням рівня інтенсифікації. Відмова від їх використання або різке обмеження в сучасному землеробстві призвели б до істотного зменшення віддачі від добрив, меліоративних та інших заходів, зробили б неможливим використання сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Навіть в помірно інтенсивному землеробстві відмова від використання деяких хімічних препаратів, наприклад протравлення насіння і матеріалу для висадки, призвів би до великих втрат урожайності і зниження якості продукції від розвитку багатьох небезпечних хвороб рослин. Без пестицидів неможливо позбутися масового розповсюдження карантинних шкідників.

Беручи до уваги суперечливе відношення до хімічного захисту рослин, слід критично відноситися до виступів, що спотворюють оцінку тих або інших аспектів використання пестицидів, приписуючи їм наслідки: неминуче посилення ерозії ґрунтів, зниження кількості гумусу в ґрунті і т.п. Від ілюзій безпестицидного землеробства на найближчу перспективу слід відмовитися, направивши зусилля на розвиток служби захисту рослин і підвищення кваліфікації фахівців. Там же де професійний рівень

хімічного захисту рослин зі всіма необхідними регламентами не забезпечується, використання пестицидів неприпустимо.

3.8 Меліорація агроландшафтів в системі адаптивного землеробства

Меліорація як складова частина ландшафтного землеробства є найбільш інтенсивним засобом збільшення природно-ресурсного потенціалу і підвищення стійкості агроландшафтів.

Метод здійснення меліорації підрозділяють на: гідротехнічні, агротехнічні, лісотехнічні. Об'єкти меліорації – болотних і заболочених, пустельних і напівпустельних ландшафтів, яристо-балочних систем, обвальних схилів і др. Меліорації по зміні функціональних властивостей ландшафтів: водні, хімічні, біологічні, кліматичні, рекультиваційні.

Меліоративну систему можна визначити як систему, що управляє режимом функціонування сучасного ландшафту, перетвореного меліоративними засобами для виконання соціальних функцій, оптимальних по еколого-економічних критеріях [98].

Загальні принципи проектування меліоративних систем:

комплексність – проектований регіон розглядається як єдине ціле, проектні рішення приймаються, виходячи з соціальних і еколого-економічних критеріїв, що вимагає їх оптимальності і узгодженості; всі види проектування відображають майбутні взаємостосунки підсистем природокористування в єдиній регіональній системі природокористування;

ієрархічність – проектування здійснюється по стадіях, які включають: а) генеральну схему на рівні ландшафтних структур високих рангів з виділенням ландшафтно-меліоративних зон; б) регіональні (басейнові) схеми, що обґрунтовують вибір об'єктів з урахуванням прогнозу зміни ландшафтів під впливом крупних гідротехнічних споруд і меліорації в межах природних провінцій, областей; в) техніко-економічне обґрунтовування, куди входить вибір варіанту проектного рішення з урахуванням ландшафтної структури території на рівні області, яка виділяється по поєднанню територіально і функціонально зв'язаних видів ландшафтів, різних по інтенсивності розчленування поверхні, величинах місцевого стоку, режиму ґрунтових вод;

безперервність - проектування меліоративних систем є необхідною ланкою в ланцюзі планування - дослідження - робоче проектування - освоєння регіону - будівництво і експлуатація меліоративних об'єктів - управління - моніторинг.

При проектуванні меліоративних систем облік територіальної диференційованості реалізується шляхом багатоступінчастого аналізу їх просторової структури. Для виділення і типології природних комплексів в

межах меліоративної системи і сполученості території рекомендується складання ландшафтної карти, масштаб і ранг одиниць якої визначається стадією проектування. Вона служить основою складання ряду інших карт, необхідних для геоecологічного обґрунтування проєктів (сучасних фізико-географічних процесів, динамічних зв'язків між геосистемами, стійкості, ландшафтно-меліоративної, прогновної, природоохоронної).

При складанні ландшафтної карти для стадії техніко-економічного обґрунтування проєкту за початкову ознаку угруповання геосистем рекомендується приймати тип їх геохімічного режиму (елювіальний, транселювіальний, елювіально-гідроморфний, гідроморфний), який визначає найважливіші для меліорації структурні і динамічні особливості геосистем.

Такі загальні принципи ландшафтного підходу до меліорації земель. Необхідно переосмислити існуючу практику меліорації з позиції задоволення агроecологічних вимог рослин як системоутворювального початку (що значною мірою зникало з поля зору меліораторів) і з погляду оптимізації навколишнього середовища людини. Тільки при такому підході можна виправити численні перекоси в меліорації земель і прийти до комплексних рішень.

3.8.1 Гідротехнічні меліорації

В цій області склалася суперечлива обстановка, яка є наслідком нестримного відомчого монополізму. Авантюрна іригаційна політика аж до замахів на перекидання на південь частини стоку північних і сибірських річок послужила головною причиною негативних економічних і ecологічних наслідків господарювання в цій сфері при солідних капітальних вкладеннях.

Як конкретні причини низької ефективності капітальних вкладень в меліорацію земель (в 2,5 рази нижче нормативної) в першу чергу слід зазначити край обмежене проведення робіт по підвищенню родючості осушуваних і зрошуваних земель, велика частина яких вимагає вапнування, гіпсування, культуро-технічних, протиерозійних і інших заходів; незадовільний стан значної частини меліоративних систем і невеликі об'єми їх реконструкції в погоні за будівництвом нових об'єктів; низька якість проектування і будівництва меліоративних об'єктів; розпиленість капітальних вкладень по численних будівництвах; відсутність служби експлуатації зрошуваних і осушуваних земель.

Неправильна інвестиційна політика призвела до різких перекосів в структурі меліоративної фонду. Зі всього об'єму вкладень на поліпшення земель більше 90 % використовувалися на гідротехнічні меліорації, а з невеликої частки коштів, передбачених на всі інші прийоми поліпшення

земель, значна частина була використана на будівельні роботи в радгоспах і водогосподарських організаціях.

Сумнівні екологічні наслідки гідробудівельної експансії. Нераціональне розміщення гідровузлів на річках, необґрунтоване завищення енергетичними відомствами відміток дамб і об'ємів водосховищ призвело до явно зайвого відчуження земель (як правило, найбільш родючих), величезних площ мілководь. В мілководих сховищах різко погіршуються санітарні та іригаційні якості води. Нижче дамб відбулося висихання і засолення заплав, погіршився стан нерестовищ риби, гніздування птахів. Технократний підхід у водогосподарському і меліоративному будівництві призвів до того, що екологічні проблеми трактували як чисто місцеві. Звідси поява больових точок, таких як Аральське море, Прикаспій. Найгостріші еколого-геохімічні проблеми зрошування були пов'язані з посиленням сольового дренажного стоку, росту мінералізації річкових вод, накопиченням в них біоцидів.

Це не означає, що ситуація однаково важка по всій країні. Є безліч господарств, де іригація здійснюється з високим ефектом. Спираючись на уроки минулого, масштабне рішення проблеми слід шукати в перебудові виробничих відносин затвердженні принципів системного підходу у використанні природних і виробничих ресурсів. З урахуванням специфіки створення, експлуатації і реконструкції меліоративних систем важливе значення, як і в більшості розвинених країн матиме державна форма організації і фінансування меліоративних робіт в сукупності з вкладеннями замовників.

Необхідний новий економічний механізм, який разом з ефективним науковим забезпеченням дозволить створити передумови для розвитку меліорації в системі природокористування як одного із засобів формування екологічно збалансованих агроландшафтів, які забезпечують стійкість агропромислового виробництва.

При цьому оптимальне рішення повинно ухвалюватися після розгляду всіх можливих альтернатив. По відношенню до іригації першою альтернативою є більш повне використання потенціалу незрошуваного землеробства. Чим повніше буде досягнуто використання природних опадів за рахунок вдосконалення агротехніки, тим менше доведеться перекачувати води для зрошування.

Проте, це положення не слід абсолютизувати, беручи до уваги інші чинники народногосподарської ефективності зрошування, особливо рівень інтенсифікації виробництва. Наприклад, в США де є значні можливості нарощування продукції рослинництва без зрошування, площа зрошуваних земель вже перевищила 24 млн. га. Причому основний їхній приріст за останні 10-15 років відбувався за рахунок центральних і східних штатів, де випадає більше 700 мм опадів в рік. Це означає, що при високому науково-технічному рівні організації зрошуваного землеробства, воно може

змагатися з незрошуваним навіть в умовах відносно високої забезпеченості опадами. З іншого боку при низькій культурі землеробства гідротехнічних меліорації просто не повинно бути. Не випадково стародавні осередки зрошування склалися там, де воно, як мистецтво, розвивалося століттями і стало частиною культури народів.

Оскільки гідротехнічні меліорації мають найбільший вплив на екологічну обстановку і він в тій чи іншій мірі розповсюджується на весь річковий або навіть морський басейн, то розміщення і проектування меліоративних об'єктів повинно здійснюватися з урахуванням всіх природних і інших зв'язків на основі довгострокових великомасштабних програм. В даному відношенні найскладнішим є геохімічний аспект проблеми і перш за все скорочення надходження солей в ландшафти з глибоких горизонтів географічної оболонки, де міститься основна їх маса. Це повинне досягатися агротехнічними і інженерно-технічними заходами по регулюванню водно-сольового режиму, включаючи протифільтраційний захист каналів, зниження потужності ґрунтової товщі, оптимізацію використання підземних вод, значна частина яких виливається марно. Вимагає глибокого опрацювання проблема зменшення дренажного стоку шляхом оптимізації зрошувальних норм. Норми, що практикуються, були розроблені на основі водно-балансових підходів, які із всіх властивостей ґрунтів враховують в кращому разі водно-фізичні. При такому підході не має значення, що поливають – чорнозем або пісок. Масові переполиви призводять до безлічі проблем, включаючи надмірне вилугування ґрунтів, розвиток процесів опідзолювання і осолодіння. Таким чином, поливні норми потрібно розробляти з урахуванням всього комплексу властивостей ґрунтів, особливо фізико-хімічних і біологічних, а також кліматичних, геоморфологічних, гідрогеологічних умов. Біологічний і ґрунтовий підхід до вибору зрошувальних норм, мабуть, примусить знизити їх принаймні на 20-25 %.

Проблема оптимізації меліоративних систем має цілком певну зональну специфіку. При визначенні черговості здійснення заходів щодо перевлаштування меліоративних систем в аридній зоні необхідно виходити з таких вимог.

Поліпшення еколого-меліоративного стану зрошуваних земель, засолення яких на 70-80 % площ перевищує допустимі межі. Воно може бути досягнуто за рахунок зменшення втрат води в системах і поліпшення якості поливної води. Першочерговими є заходи щодо збільшення ККД системи каналів, вдосконалення техніки поливу, посилення (при необхідності) дренажу, припинення скидання дренажних вод в річки і використання їх для поливу. Збільшення ККД систем до 0,85-0,90 (ККД техніки поливу до 0,90-0,95) на фоні вертикального або горизонтального дренажу, дозволяє створити напівгідроморфний або автоморфний режими

(глибина залягання ґрунтових вод більше 5 м) на зрошуваних землях і зменшити площі засолених земель до 10-20 %. Підвищення ККД і вдосконалення техніки поливу різко (в 2-3 рази) зменшить об'єм дренажного стоку і спростить його відведення і утилізації [51].

Зниження зрошувальних норм, вивільнення водних ресурсів для поліпшення екологічного стану річок і Аральського моря, може бути досягнуто за рахунок створення напівгідроморфного і автоморфного режимів на зрошуваних землях, виключення причин засолювання ґрунтів і регулювання гідротермічного режиму в межах 0,9-1,0. В цьому випадку зрошувальні норми можуть бути понижені до 7-9 тис. м³/га. Зменшення водозабору на зрошування і скидання дренажних вод дає можливість поліпшити якість річкових вод, понизити їх мінералізацію з 1,5-2,0 до 0,6-1,0 г/дм³.

Щоб уникнути міждержавних конфліктів в цій області необхідно визначити черговість, масштаби і темпи перевлаштування меліоративних систем з урахуванням впливу вищерозташованих територій на еколого-меліоративний стан земель і якість водних ресурсів нижчерозташованих територій.

В сухо-степовій і степовій зонах перевлаштування меліоративних систем і подальший розвиток зрошування включає наступні задачі:

- 1) підвищення технологічного рівня систем, зниження зрошувальних норм і впорядкування водокористування;
- 2) створення автоморфного режиму, що забезпечується зменшенням живлення ґрунтових вод і скороченням розмірів зрошуваних ділянок, при необхідності посиленням дренажу;
- 3) виключення використання для поливу вод підвищеної мінералізації (більше 0,6 г/л), у тому числі і колекторно-дренажних;
- 4) гіпсування зрошуваних ґрунтів для заповнення дефіциту іонів кальцію і попередження осолонцювання і злитизації;
- 5) використання раціональної системи землеробства і лісових полезахисних насаджень.

Здійснення перерахованих меліоративних заходів дає можливість понизити зрошувальні норми на 40-50 % і довести їх до 2,3-3,0 тис. м³/га (замість 3-6 тис. м³/га) в сухостеповій зоні і до 1-3 тис. м³/га (замість 2-5 тис. м³/га) в степовій зоні, зменшити інтенсивність промивного режиму, а отже, усунути причини погіршення еколого-меліоративного стану ґрунтів (вимивання гумусу, засолення, осолонцювання перезволоження);

6) збільшення урожайності сільськогосподарських культур, що істотно підвищить окупність мінеральних добрив, рівень використання яких повинен зрости до 300-400 кг/га;

7) економія водних ресурсів за рахунок використання комплексу меліоративних заходів, що дозволить збільшити площі зрошування на 20-30 % в Європейській частині країни і на 50 % - в районах Східного Сибіру;

8) використання прогресивної дощувальної техніки, заснованої на блоково-модульних принципах компонування, особливо в тих районах, де відстань між лісовими поєзакисними смугами менше розмірів існуючої широкозахватної дощувальної техніки.

Значну перспективу в цій зоні представляє розвиток лиманового зрошування для більш повного і ефективного використання місцевого стоку, регулювання якого водосховищами в сухо-степовій зоні економічно недоцільно через значні коливання по роках. В цих умовах потрібні об'єми водосховищ у декілька разів перевищують норму стоку, різко збільшуються втрати на випаровування і знижується корисна віддача до 0,5-0,1. Лиманове зрошування забезпечує поліпшення гідротермічного режиму і збільшення продуктивності лугів, пасовищ і сінокосів.

В екологічному аспекті за всіх умов осушення конкретного масиву слід враховувати можливий після осушення водний режим прилеглих земель. Більш гнучкого підходу вимагає використання комплексних ґрунтів. Прагнення до вирівнювання їх родючості не завжди виправдано. Наприклад, меліорація комплексів дерново-підзолистих і напівгідроморфних ґрунтів (слабоглеюватих, gleюватих, глейових) часто супроводжується побічними явищами: виникненням техногенних мозаїк в результаті планувань, переосушенням неоглеєнних компонентів, проявом різних післямеліоративних неоднорідностей. Орієнтація на радикальне перетворення ґрунтового покриву оправдана не раніше, чим будуть розглянуті адаптивні варіанти підбору культур і агротехніки.

Як і раніше актуальна задача оптимізації використання осушених торф'яно-болотних ґрунтів. Надмірна інтенсифікація їх використання, особливо під просапними культурами веде до швидкої "розробки" торфу і нерідко непродуктивній витраті органічної речовини. Наприклад, за даними одного з дослідів, проведених в Білорусі щорічний спад органічної речовини в осушеному торф'яному ґрунті в середньому за 25 років склав: при беззмінній культурі багаторічних трав - 3,2 т/га, при беззмінній культурі просапних - 8,8 т/га. В першому випадку щорічний спад азоту склав 96 кг/га в другому - понад 260 кг/га. При цьому на формування урожаю в першому випадку був використаний майже весь мінералізований азот, а в другому - менше половини. Відповідно в першому випадку непродуктивної втрати азоту майже не було, а в другому він перевищив 100 кг/га. Не використаний рослинами азот втрачався в цих умовах головним чином через денітрифікацію і частково надходив в ґрунтові води.

3.8.2 Протиерозійні меліорації

На фоні організаційно-господарських заходів (протиерозійна організація території, раціональне розміщення угідь, культур, сівозмін) ту або іншу роль грають протиерозійні меліоративні заходи, які діляться на агромеліоративні або агротехнічні меліорації, гідротехнічні і лісомеліоративні.

Агромеліоративні протиерозійні заходи щодо принципу дії розділяють на водозатримуючі, водовбирні, водозбірні, які підвищують протиерозійну стійкість ґрунтів, захищаючи ґрунти від безпосередньої дії дощів і стоку. До їх числа відносяться контурний обробіток ґрунту (по горизонталях рельєфу), глибоке спущування, щільювання, підгортання і гребениста оранка, мульчування ґрунту використання штучних структуроутворювачів, регулювання сніготанення, залуження водопідводних улоговин і промоїн.

Якщо для запобігання ерозії ґрунтів недостатньо організаційно-господарських і агротехнічних заходів, застосовують гідротехнічні. Протиерозійні гідротехнічні споруди влаштовують перед вершинами, на вершинах ярів, по їхньому дну, по берегах річок, а також безпосередньо на водозбірній площі. Споруди, які влаштовують на вершинах ярів, були призначені для затримання їх росту: це швидкотоки, перепади, консольні скиди. Закріплення дна ярів здійснюється за допомогою будівництва різних гребель. На водозабірній площі і перед вершинами ярів для затримання або безпечного скидання поверхневого стоку влаштовують вали-тераси з широкою основою, водоутримуючі вали (нагірні канави). Протиерозійні гідротехнічні споруди роблять із землі, хворосту, дерева, каменя і бетону. Всі ці заходи, так само як і інші заходи по захисту ґрунтів від ерозії достатньо повно і різносторонньо висловлені в навчальному посібнику М.І. Лопирева і Е.І. Рябова [59].

3.8.3 Агролісомеліорація

Лісові насадження, сприяючи поліпшенню мікроклімату, снігорозподілу, подоланню ерозії, дефляції, поліпшенню водного режиму агроландшафтів, є невід'ємною частиною землеробства. Захисні лісові насадження залежно від їх призначення і розміщення на території господарств поділяють на: полезахисні, водорегулюючі, насадження по днищах і укосах ярів і балок, по берегах річок, ставків і водоймищ на зрошуваних землях, пісках. Технології їх створення добре відомі [60].

Досвід полезахисного лісорозведення і об'єми виконаних в країні робіт дуже великий, як ніде в світі. Проте кампанійщина, з якою проводилися ці роботи, починаючи з відомим Планом перетворення природи (1948 р.) зробила їх результати вельми неоднозначними, значно знизивши економічний і екологічний ефект. Ця робота і подальше її продовження вимагають переосмислення з позицій конструювання агроландшафтів. Протягом багатьох років лісомеліоративні організації ігнорували цей підхід, насаджуючи в буквальному і переносному значенні полезахисні лісові смуги, як прямокутне обрамлення невідповідних полів. Доведена до абсурду ідея перетворення клімату за допомогою державних лісосмуг абстрагувалася і від рослини, і від тварини, і від самої людини. Люди залишилися незахищеними від вітрів і сніжних занесень в безлічі селищ, польових станів на догоду державним планам полезахисного лісорозведення. Ефективність полезахисних смуг часто була невисокою у зв'язку з поганим доглядом, і зараз на значній території недоглянуті зарослі лісосмуги «оббирають» поля, накопичуючи замети снігу, сприяючи розповсюдженню бур'янів. Частина їх, насаджена уздовж схилів, сприяє розвитку водної ерозії. Переоцінювалися можливості подолання з їх допомогою дефляції і посухи в степовій зоні, особливо в сухому степу, на що звертав увагу А.И. Бараєв [74].

Для боротьби з водною ерозією лісосмуги стали застосовувати порівняно недавно, але надій на цей прийом покладається багато. Протиерозійна дія звичайно пояснюється більш високою водопроникністю ґрунтів під лісом, ніж в полі. Тим часом як свідчать дослідження Г.А. Ларіонова [57] і узагальнені ним дані інших авторів, інтенсивність вбирання води в ґрунт під лісовими смугами рідко досягає величин, характерних для лісу. Висока водопроникність ґрунтів в лісових смугах спостерігається, якщо в них створюються лісові умови – багатоярусна деревна рослинність і шар опадів на ґрунті, розвивається відповідна педофауна. Такі умови складаються в лісовій смузі, якщо вона створена за деревно-чагарниковим типом і має достатню ширину. Очевидно, вимоги, які ставлять до лісових смуг з протиерозійною, противодефляційною і полезахисною (в традиційному розумінні) точок зору, різні.

З позицій оптимізації агроландшафтів задачі лісорозведення представляються досить багатоплановими. Це відновлення лісів в ерозійних ландшафтах і водозахисних зонах, лісовідновлення по старих руслах річок, створення оазисного землеробства, гнучке використання лісосмуг різного призначення і конструкцій в контурно-меліоративних системах землеробства в поєднанні з іншими меліоративними і агротехнічними заходами.

3.8.4 Вапнування кислих ґрунтів

Родючість значної частини ґрунтів тайгової і підтайгової зон лімітується підвищеною кислотністю. Штучний зсув сільськогосподарського виробництва в степову зону стримував розвиток Нечорноземної зони. Очікуване збільшення інвестицій в північному напрямі потребує нарощування об'ємів вапнування. Важливо, щоб вапнування ґрунтів велось випереджаючими темпами по відношенню до використання добрив. В протилежному випадку різко знижується ефективність добрив.

В умовах інтенсивного землеробства при високому навантаженні оранки особливо азотними добривами, значно підкисляючими ґрунт, і при збільшеному винесенні кальцію вапнуванню підлягають не тільки дерново-підзолисті і сірі лісові ґрунти, але і опідзолені, а також лучні чорноземи, тобто ареал вапнування розширюється за рахунок районів північного лісостепу.

На частині кислих ґрунтів з низькою забезпеченістю фосфором доцільно використання фосфоритного борошна. Для забезпечення програм вапнування і фосфоритування ґрунтів слід мобілізувати, в першу чергу, місцеві ресурси у тому числі численні родовища фосфоритів, а також відходи промисловості і теплових електростанцій.

3.8.5 Меліоративна обробка ґрунтів з ущільненими перехідними горизонтами

Частка таких ґрунтів досить велика, вони є практично у всіх ґрунтових зонах. Крім ілювіальних, солонцевих, дерново-підзолистих і інших ґрунтів, до них відносяться також ґрунти, розвинені на двочленних ґрунтоутворювальних породах. Значна їх частина потребує перебудови ґрунтового профілю за допомогою меліоративної обробки. Чим сильніше диференціація ґрунтового профілю на елювіальні і ілювіальні горизонти і чим гірше властивість останнього, тим важливіше роль меліоративної обробки в поліпшенні водно-фізичних параметрів і водного режиму ґрунтів.

Численні випробування варіантів плантажної і трьох'ярусної оранки показали різні результати залежно від меліоративного стану ґрунту і технології обробки. У принципі найбільш бажано створення однорідного орного шару шляхом перемішування елювіального і ілювіального горизонтів, завдяки чому складаються сприятливі умови для агрегації ґрунту у зв'язку з оптимізацією співвідношення мулистих і пилюватих частинок. Переміщення частини верхнього, найбільш активного в біологічному відношенні, шару ґрунту вниз сприяє кращому використанню

його родючості завдяки кращій забезпеченості вологою нижньої частини орного шару, що особливо важливо в посушливих умовах. Проте вимоги однорідності орного шару не завжди здійснимі, особливо, якщо до верхньої його частини залучаються глинисті горизонти з дуже низьким вмістом гумусу, з підвищеним вмістом солей або обмінного натрію і ін. Звідси витікає необхідність використання різних варіантів меліоративної обробки і відповідних машин.

В 70-і роки була проведена значна робота із створення нових меліоративних машин з активними і комбінованими робочими органами. Випробування, проте, показали, що підвищення ступеня перемішування ґрунту в порівнянні з тим що досягається плантажними плугами або триярусними типу ПТН-40, хоча і сприяє деякому посиленню меліоративного процесу, але не виправдовує енергетичні та інші витрати. Більш того зайва розпиленість ґрунту фрезами призводить до погіршення їх водно-фізичних властивостей. Зрозуміло, це не виключає пошуку нових рішень із застосуванням активних робочих органів, оскільки з ними були пов'язані перспективи більш повного використання потужності енергонасичених тракторів, але на даному етапі ще не вичерпані технічні рішення на основі плугових робочих органів у вигляді модифікованих плантажних, триярусних і нових меліоративних машин до енергонасичених тракторів. Для цього були створені необхідні науково-технічні передумови.

На жаль, інтерес до цієї роботи останніми роками сильно знизився навіть відносно меліорації солонців, не говорячи вже про дерново-підзолисті ґрунти. Тим часом одноразове використання тих або інших технологій і технічних засобів меліорації сприяло б не тільки підвищенню родючості певних категорій ґрунтів, але істотно розширило б надалі можливості мінімізації системи їх основної обробки і забезпечило б відповідне скорочення енергетичних витрат.

3.9 Агроекологічні вимоги до технічних засобів

В розвитку адаптивних технологій вирощування сільськогосподарських культур визначальна роль належить технічним засобам, які повинні забезпечувати точне виконання технологічних операцій відповідно до екологічних умов з урахуванням енергоресурсозберігання, а також вимог багатуукладності господарювання. При цьому екологічні витрати використання тракторів і сільськогосподарських машин не повинні виходити за межі нормативів.

Першочерговою задачею в даному зв'язку є оптимізація структури і використання машинно-тракторного парку відносно впливу на ґрунт

ходових систем. Гостра актуальність цієї проблеми була зумовлена загрозливими розмірами деградації ґрунтів в результаті ущільнення під впливом посилення техногенного навантаження.

В даний час, з розрахунку на один гектар оранки в середньому по країні проводиться 13 еталонних гектарів механізованих робіт. Цей показник росте у міру інтенсифікації землеробства. Збільшується потужність і відповідно маса тракторів. За останні 30 років маса тракторів з розрахунку на одиницю площі ріллі зросла в 3 рази. При цьому в структурі тракторного парку до 70 % збільшилася частка колісних тракторів, а в їх числі зросла частка важких машин типу К-700, у яких питомий тиск на ґрунт удвічі вище в порівнянні з переважаючим раніше трактором ДТ-54.

Переущільнюють ґрунт важкі комбайни, транспортно-технологічні засоби і інші машини. В збиральний період транспортно-технологічна техніка розвиває в 1,5-2 рази більший тиск на ґрунт, ніж трактори. За даними багаторічних досліджень Північно-Кавказького філіалу ВНДІ механізації сільського господарства, на чорноземах питомий опір обробітку ґрунту на глибину 20-22 см по слідах гусеничних і легких колісних тракторів був вище на 12-15 %, ніж зовні слідів, по слідах тракторів Т-150К і К-701 – на 44 %, автомобілів і комбайнів – на 60-64 %, транспортних тракторних агрегатів з причепами - на 70-90 %. При цьому знижується якість кришення пласта ґрунту. Ущільнюючі деформації ґрунту під впливом цих тракторів розповсюджуються на глибину 40-60 см, а іноді до 1 м. В районах з підвищеним зволоженням, наприклад в тайгово-лісовій зоні, де ці трактори останнім часом отримали необґрунтовано широке розповсюдження, ущільнюючий вплив їх на ґрунт виявляється ще сильніше.

Для вирішення цієї досить складної проблеми останніми роками були створені певні науково-організаційні передумови. Зокрема, на основі узагальнення численних наукових досліджень вітчизняних і зарубіжних рекомендацій був розроблений ДОСТ 26955-86, регламентуючий норми дії рушіїв на ґрунт. Основою цього стандарту є базова таблиця величин допустимих норм дії рушіїв на ґрунт і розрахункових нормативних напружень під їх впливом на глибині 0,5 м (табл. 3.6). Ці дані були представлені для весняного і літньо-осіннього періодів у зв'язку з різними умовами зволоження ґрунтів. Стандарт використовується безпосередньо в сільськогосподарському виробництві при плануванні і виконанні польових робіт і при розробці початкових вимог на відповідні види мобільної техніки. Розробник таких вимог повинен визначати в них умови використання машин по періодах і календарних термінах, а також найвірогідніші значення вологості ґрунту в указані терміни за багаторічними даними. Наприклад, в період збирання зернових колосових культур вологість ґрунту в Краснодарському краї коливається близько 0,5

НВ, тоді як в районах Північного Заходу європейської частини Росії вона знаходиться в цей період на рівні 0,7-0,9 НВ. Відповідно допустимий максимальний тиск на ґрунт рушіїв збиральної та іншої техніки для даних умов розрізняється удвічі.

В плані ландшафтної адаптації рушіїв та ґрунтообробних машин є ряд нових технічних рішень, які можуть реалізуватися в конкретних конструкціях. До них відносяться нові типи гусеничних рушіїв, еластичних (наднизького тиску) шин коліс тракторів, комбайнів, транспортних засобів.

Разом з вдосконаленням машинно-тракторного парку серйозну перспективу в зниженні техногенного навантаження на ґрунт представляє використання комбінованих агрегатів, які суміщають різні операції по основному, передпосівному обробітку ґрунту, внесенню добрив, посіву. Безліч варіантів комбінованих агрегатів створюють раціоналізатори в господарствах, підтверджуючи необхідність розвитку цього напрямку в широких масштабах.

Таблиця 3.6 - Норми дії техніки на суглинковий і глинистий ґрунт

Вологість ґрунту в шарі 0-30 см, НВ	Максимальний тиск колісного і гусеничного рушіїв, кПа, не більше		Нормальна напруга в ґрунті на глибині 0,5 м, кПа, не більше	
	весняний період	літньо-осінній період	весняний період	літньо-осінній період
0,9	80	100	25	30
0,7-0,9	100	120	25	30
0,6-0,7	120	140	30	35
0,5-0,6	150	180	35	45
<0,5	180	210	35	50

Примітка. Для супіщаних ґрунтів норми максимального тиску на ґрунт збільшують на 20 %.

Екологізація ґрунтообробки зв'язана із застосуванням широкого спектру технічних засобів, пристосованих до різноманітних природних і господарських умов.

Було створено безліч різноманітних робочих органів машин, які обробляють ґрунт, у тому числі для основного обробітку ґрунту (чизелі, розпушувачі, щілювачі, розпушо-підрізаючі робочі органи, параплау і ін.), для поверхневого обробітку (робочі органи пасивного, активного типів, прорізні, голчаті диски і ін.). На черзі розробка четвертого покоління ґрунтозахисного комплексу машин з урахуванням новітніх вимог адаптивного землеробства.

Для оптимізації посівів сільськогосподарських культур і внесення добрив потрібні істотні технічні корективи в конструкціях робочих органів сіялок для точного розміщення насіння, добрив і пестицидів у

відповідних шарах ґрунту, створення пристосувань для локального внесення добрив і точного їх дозування.

Використання пестицидів в агроландшафтах пов'язано з точним внесенням препаратів, локалізацією, істотним зниженням доз, спрямованістю процесу і посиленням його стабільності, точністю змішування і т.д. Для цієї мети повинні бути створені вітчизняні зразки машин.

Стосовно різних господарських устроїв виділяються три блоки техніки: для колективних, сімейних форм праці і для роботи на підвір'ї (в садах і городах). Перші два блоки вимагають використання високопродуктивних машин і агрегатів з максимальним поєднанням операцій. Цим вимогам відповідають технічні засоби з блоково-модульним базисом побудови. Наукові основи такої техніки були розроблені [55].

Схема блокового комплексу дозволяє скласти агрегат, здатний за один прохід виконувати технологічні операції по спусненню ґрунту, знищенню бур'янів, вирівнюванню поверхні ґрунту, посіву, внесенню мінеральних добрив (у тому числі частина з насінням, частина локально), післяпосівному наоченню, внесенню пестицидів. Причому ці операції можуть виконуватися змінними блоками в різному поєднанні і послідовності. Всього шляхом трансформації машин можна формувати більше 60 варіантів технологій посівного комплексу, обробітку парових полів.

Очевидно, проблема технологічного і технічного забезпечення агропромислового виробництва повинна стати складовою частиною аграрної реформи. Суспільство в інтересах розвитку сільського господарства повинне регулювати і стимулювати підвищення технологічного і технічного рівня виробництва сільськогосподарської продукції. Нормативним державним документом при цьому повинна служити система технологій і машин для сільськогосподарського виробництва, як сукупність технологій і технічних засобів, включених в державні реєстри. Вона має важливе значення як рекомендаційна основа для технічного оснащення виробництва, пріоритетної інформації при оцінці ситуації на ринку матеріально-технічних ресурсів і послуг, орієнтиру для конструкторських організацій, підстави для визначення заходів диференційованої підтримки сільських і промислових товаровиробників, найважливішого важеля екологізації агропромислового виробництва.

3.10 Принципи агроекологічного моніторингу земель

Під *моніторингом земель* розуміється система довгострокових спостережень, оцінки і прогнозу стану земельного фонду, його змін з

метою раціонального використання і охорони. Прийнято ділити моніторинг на глобальний, регіональний і локальний.

Глобальний моніторинг – це система спостережень за загальнопланетарними змінами біосфери. Його проводять відповідно до міжнародної геосферно-біосферної програми «Глобальні зміни».

Регіональний моніторинг земель здійснюється на рівні крупних природно-економічних районів.

Локальний моніторинг передбачає стеження за процесами, які мають місцевий характер.

Залежно від характеру змін стану земель розрізняють фоновий і імпактний моніторинг. Перший припускає спостереження за станом земель, які не мають безпосереднього антропогенного навантаження, і проводиться в біосферних заповідниках, другий передбачає спостереження за станом земель при безпосередній дії антропогенних чинників.

Відповідно до концепції державного моніторингу земель проводять спостереження за зміною:

- основних параметрів агроландшафтів і сполучених з ними природних ландшафтів, зокрема форм рельєфу, спричинених рухомими пісками, зсувами, яроутворенням, русловими та іншими процесами;
- водного балансу територій, режиму підземних вод і їхнього складу, берегових ліній озер, водосховищ і др.;
- процесів опустелювання, перезволоження, затоплення, заболочування, засолення, заростання, загущення ріллі, осушення земель;
- стану земель, викликаного промисловими відвалами, кар'єрами, виробітком торф'яників, осідання під впливом водовідборів і т.п.;
- стану ґрунтового покриву і ґрунтів з основними параметрами (вміст і запаси гумусу, еродованість, переущільнення, кислотність, вміст макро- і мікроелементів);
- стану рослинності (посівів, сінокосів, пасовищ, лісів, багаторічних насаджень та ін.);
- забруднення ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод, повітряного басейну;
- стауи земель, схильних негативній дії виробничих об'єктів (очисних споруд, гноєсховищ, складів ГСМ, добрив, скотомогильників і т.п.).

Особливу увагу в програмі екологічного моніторингу надається забруднювачам, різноманітність яких була представлена чотирма групами речовин: газоподібні речовини і аерозолі, важкі метали, радіоактивні елементи, органічні речовини.

З радіоактивних елементів (синоніми - радіонукліди, радіоактивні речовини), які є джерелами іонізуючих випромінювань, найбільш небезпечні гамма-випромінювачі. Гамма-промені мають виключно високу проникаючу здатність (в повітрі до 100 м). Найбільшу небезпеку

представляють стронцій-90, цезій-134 і цезій-137 (аналоги кальцію і калію), які мігрують по харчових ланцюгах. Їхній період напіврозпаду становить близько 30 років. В процесі ядерних випробувань в атмосфері до 1963 р. найбільші випадання радіонуклідів були віднесені за рахунок H^3 , Sr^{89} , Ru^{106} , Cl^{144} , Fe^{55} , Cs^{137} . В Чорнобилі вивільнилось близько 50 млн. Ку радіонуклідів, з них більшість короткоживучих, по 2,5 % Cs^{137} і 0,8 % Sr^{90} .

В числі органічних забруднювальних речовин, які повинні піддаватися моніторингу, виділяються нафтові вуглеводні, поверхнево активні речовини, пестициди і їхні метаболіти, поліхлоровані біфеніли, бензапірен, нітрозосполучення, бактерійні токсини, мікотоксини, хлоровані діоксини.

Основна увага громадськості концентрується звичайно на вживанні пестицидів. У світовому масштабі їм, як забруднювачам, відводиться 8-9-е місце. Це, звичайно, умовно, оскільки, наприклад, в Японії і Італії вноситься в середньому 16-18 кг д.р. пестицидів, а в США і колишньому СРСР - близько 2-2,5 кг/га. Головна небезпека пестицидів полягає в можливості накопичення їх при перенесенні по трофічних ланцюгах. Дані моніторингу пестицидів свідчать про ландшафтно-регіональний і регіонально-басейновий негативний прояв їх післядії. Задача полягає в тому, щоб не допустити глобальної післядії [89]. Для цього робляться значні зусилля, на міжнародному рівні. Асоціацією виробників пестицидів спільно з іншими організаціями був прийнятий «Міжнародний кодекс по розповсюдженню і використуванню пестицидів», який передбачає комплекс заходів щодо оптимізації виробництва і безпечному вживання пестицидів. При цьому разом з вдосконаленням препаратів і технологій особливе значення має забезпечення відповідного професійного рівня фахівців, які мають справу з пестицидами, оскільки витрати їх використання були пов'язані в першу чергу з порушенням існуючих регламентів використання.

Роль моніторингу, пов'язаного з державною системою активного реагування, повинна негайно виявлятися у випадках, коли забруднення є наслідком грубих порушень технологій обробітку культур, утилізації відходів тваринництва неправильного зберігання гною і пестицидів і в цілому безгосподарності. Переважно ці причини породили проблему забруднення продукції і навколишнього середовища нітратами при відносно невисокому рівні використання азотних добрив.

Достатньо складною задачею агроекологічного моніторингу є, зокрема, організація спостережень і контролю за мікотоксинами. Відомо більше 240 видів різних цвілевих грибів, які продукують близько 100 токсичних сполук. Найчастіші випадки забруднення сільськогосподарської продукції були пов'язані з діяльністю грибів виду *Aspergillus*, які продукують афлатоксини, роду *Penicillium*, виробляючих патулін. Гриби

роду *Fusarium* продукують три-хотеценові мікотоксини. Ерготоксини містяться в ріжках гриба споринї.

Необхідний профілактичний захід, що запобігає мікотоксикозам, - аналіз зерна, кормів і іншої сільськогосподарської продукції на забруднення мікотоксинами.

Питання про сукупність показників зміни стану земель, зокрема зміни властивостей ґрунтів, їх забруднення, є найскладнішим в створенні системи моніторингу. Ефективність його може бути забезпечена лише при злагодженому виборі відносно невеликої кількості показників, самих інформативних і чутливих до зміни екологічної обстановки, добре відтворних. Контроль за цими показниками повинен бути під силу масовим лабораторіям, а вимірювання – прості і надійні.

В цьому напрямі ведеться активна робота одночасно з вдосконаленням державної системи моніторингу. На різних рівнях моніторингу розв'язуються різні задачі. При локальному і регіональному моніторингах визначають: джерела забруднення; рівні контрольованих показників стану ґрунтів, вод, рослин на території, яку оточує джерело забруднення; зони розповсюдження ґрунтів з погіршенням контрольованих властивостей; характер дії забруднюючих речовин на ґрунт, зони міграції, акумуляції і напрями їх трансформації. Оцінюють опірність ґрунтів забрудненню і можливості їх самоочищення, а також ефективність заходів щодо зниження або ліквідації наслідків забруднення. Зважують економічний збиток, завданий природі і сільському господарству забрудненням.

При глобальному моніторингу повинне проводитися: визначення потоку забруднювачів; зон міграції, акумуляції, напрями трансформації контрольованих хімічних елементів; швидкості їх накопичення в ґрунтах фонових територій [68].

3.11 Математичне моделювання систем землеробства

Становлення адаптивно-ландшафтного землеробства зв'язано з розвитком математичного моделювання, створенням інформаційно-порадних систем, широким використанням комп'ютерної техніки. Розробка моделей землеробства на всіх рівнях сприятиме вибору оптимального рішення товаровиробниками і формуванню обґрунтованої інвестиційної політики.

Математичні моделі в першу чергу повинні будуватися на основі вивчення взаємодії природних умов і різних чинників інтенсифікації виробництва в системах тривалих багатofакторних дослідів .

Як приклад такого підходу можна навести деякі результати моделювання систем землеробства залежно від ресурсного потенціалу

господарства, виконаного в системі лінійного програмування за результатами багатофакторних експериментів [49] в північному лісостепу Новосибірського Приоб'я. Показано, зокрема, що при обмеженості агрохімічних ресурсів найбільший вихід продукції досягається, коли їх використовують під кормові культури. Підвищення урожайності кормових рослин дозволяє скоротити площу оранки під ними і витрати на перевезення продукції. Одночасно зростає виробництво зерна в результаті розширення зернопарового клину, дещо збільшується частка пару. При подальшому підвищенні рівня забезпеченості оранки агрохімічними ресурсами частка чистого пару зменшується аж до повного виключення під ярі культури. У міру збільшення забезпеченості добривами і гербіцидами на лучному середньосуглинковому чорноземі стає можливою заміна відвальної оранки безвідвальним обробітком, а потім дрібною плоскорізкою; норми висіву насіння зернових культур знижуються, терміни посіву зсовуються на більш ранні.

На цьому прикладі можна представити розміри упущеної вигоди внаслідок неадекватності систем землеробства рівням забезпеченості агрохімічними ресурсами через незнання або недооцінку різноманітних системних зв'язків, які дозволяє виявити моделювання.

Моделі землеробства повинні доповнюватись оцінками стійкості продуктивності, а також елементами прогнозування агрокліматичних ресурсів у вигляді трендів параметрів погоди, що додаються до фактичних показників багаторічних рядів [100].

Перспектива розвитку моделювання адаптивно-ландшафтних систем землеробства великою мірою була пов'язана з розробкою динамічних моделей управління продукційним процесом в агроценозах і регулювання родючості ґрунтів, оскільки для оптимального росту і розвитку рослин необхідно певне поєднання не тільки властивостей ґрунтів, але і конкретних режимів (вологи, елементів живлення та ін.) і процесів, що розвиваються в часі і співпадаючих з потребою рослин в тих або інших чинниках життя в різні фази розвитку. Найважливіша умова регулювання такої складної системи, як рослина-ґрунт-атмосфера в режимі енергозбереження і збереження екологічної рівноваги - це неухильне дотримання принципу лімітуючого чинника.

3.12 Оцінка ефективності систем землеробства

Традиційно ефективність систем землеробства оцінювали на основі економічних показників шляхом зіставлення витрат з кількістю виробленої продукції. При всій значущості таких критеріїв оцінки діяльності сільськогосподарських підприємств або окремих агроприйомів, як собівартість, прибуток, рентабельність і ін., вони часто були обмежені

часовими і просторовими рамками, оскільки враховують лише ефект поточного року (в кращому разі нетривала післядія), не ув'язані з довготривалими наслідками і не відображають впливу тих або інших заходів на соціальну і екологічну сфери. Нерідко дохід від використання тих або інших засобів інтенсифікації супроводжується несприятливими екологічними наслідками (засолення, окислення, заболочування ґрунтів, забруднення продукції і навколишнього середовища і т.д.), усунення або попередження яких потребує значних затрат.

Затрати на охорону природи, як правило, безпосередньо не пов'язані з виробництвом продукції. Тим часом вони повинні бути «прив'язані» до вартості і собівартості конкретних видів продукції, що примусить товаровиробників розглядати процес виробництва і екологію як єдине ціле. З розвитком ринкових відносин все більший обсяг природоохоронних робіт повинні будуть виконувати виробники сільськогосподарської продукції на своїх землях. Розвиток економічних відносин стимулюватиме прагнення до зниження собівартості продукції, у тому числі за рахунок використання більш економічних способів збереження навколишнього середовища. Щоб уникнути економії на заходах, необхідних для попередження екологічних ексцесів, потрібен строгий державний контроль за природокористуванням разом з ефективним економічним механізмом і, перш за все, комплексна система оцінки ефективності виробничої діяльності як в економічному, так і в соціальному і екологічному аспектах.

Методи такої потрібної оцінки ефективності інтенсифікації землеробства [22] дозволяють різносторонньо осмислити її результати з урахуванням інтересів суспільства і товаровиробників. При цьому соціальна ефективність визначається рівнем народного добробуту і характеризується величиною національного доходу (виробленого продукту), який припадає на душу населення, з урахуванням зміни екологічних параметрів, що дуже важливо для соціально-економічного розвитку суспільства, регіону, господарства.

Оцінка екологічної ефективності виконується з урахуванням максимально допустимих рівнів вмісту в сільськогосподарських продуктах шкідливих речовин, ПДК токсикантів, еродованості ґрунтів і т.д. Ця оцінка служить бар'єром, який не допускає порушень екологічних норм і правил, та виключає ухвалення екологічно невірних рішень.

Оцінка економічної ефективності показує, наскільки рентабельно даний захід і як його проведення відобразиться на фінансовій стороні різних рівнів господарювання.

Даний підхід дозволяє порівнювати потреби суспільства в сільськогосподарській продукції з можливим її виробництвом в різних системах землеробства і технологіях при різних ступенях екологічного і соціально-економічного ризику. На основі такого аналізу суспільство, його групи, товаровиробники і споживачі можуть вибирати ті або інші способи

виробництва і продукцію з різним ступенем ризику у відношенні, наприклад, вмісту залишкової кількості пестицидів при інтенсивних технологіях або природних токсинів у разі альтернативних технологій і т.д.

Разом з поширеними критеріями ефективності землеробства все більшого значення набуває енергетичний аналіз агроєкосистем, який дозволяє оцінити значення різних чинників інтенсифікації і намітити шляхи підвищення ефективності використання сонячної енергії і скорочення питомих витрат енергії неоправаних джерел.

Кожна додаткова надбавка урожайності супроводжується, як відомо, зростаючими витратами невідновлюваної енергії. Відповідно землеробство стає все більш енергоємною галуззю.

Таблиця 3.7 - Витрати енергії при обробітку кукурудзи в США [73]

Стаття витрат	Кількість на 1 га	Енергія, ккал/га
Ручна праця	12 ч	7000
Сільськогосподарська техніка	55 кг	990000
Бензин	16 л	264000
Дизельне паливо	77л	881000
Зріджений нафтовий газ	80 л	616400
Електрика	33 кВт	95500
Азотні добрива	151 кг	2220000
Фосфорні добрива	72 кг	216000
Калійні добрива	84 кг	134000
Вапно	426 кг	134400
Насіння	18 кг	445500
Інсектициди	1,4 кг	119950
Гербіциди	7 кг	777500
Сушка	7000 кг	1347800
Транспортування	200 кг	51200
Разом		8390750
Загальний урожай	7000 кг	24500000

Примітка. Співвідношення енергії, отриманої з урожаєм і затраченої, – 2,9. Затрати на виробництво техніки умовно беруть з розрахунку на одиницю маси машин.

Центральною ланкою аналізу потоків енергії є кількісне порівняння альтернативних операцій вирощування культур для вибору тієї з них, яка забезпечує якнайменшу енергоємність. Найбільші енергетичні затрати при вирощуванні інтенсивних культур припадають на азотні добрива, паливо і сільськогосподарську техніку. Відповідно на перший план в боротьбі за ресурсозбереження виходить оптимізація машинно-тракторного парку використання комбінованих агрегатів, блоково-модульна побудова машин, мінімізація обробітку ґрунту, пряма сівба. Можливості останніх двох

заходів значною мірою визначаються співвідношенням цін на пальне і гербіциди.

Особливу роль в енергозатратності технологій такого роду відіграють азотні добрива. На виробництво 1 кг азотних добрив витрачається 19100 ккал, що у декілька разів більше енергетичних еквівалентів фосфорних і калійних добрив (3300 і 2100 за 1 кг). Звідси актуальність пошуку можливих альтернатив (органічні добрива, бобові трави з високою азотфіксуючою здатністю і ін.) і способів підвищення ефективності азотних добрив.

Відомі достатньо прості методи енергетичної оцінки виробничих систем [9, 10]. При всій привабливості приведення до загального знаменника всіх витрат на створення урожаю енергетичний аналіз не замінює, а доповнює екологічну і економічну оцінки. Не слід перебільшувати його універсальність вже тому, що калорійність продукції не замінює її різноманітності.

РОЗДІЛ 2

1. ДІЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ РОСЛИНИ

1.1 Загальні закономірності

Первинні реакції в складному рослинному організмі починаються з дії радіації на біологічно активні молекули, які входять до складу практично всіх компонентів живої клітини. Ранні радіобіологічні процеси обумовлюються в основному двома видами дії випромінювань: прямим і непрямим. Біофізичний аналіз елементарних радіобіологічних процесів базується на експериментальних даних по залежності ефекту від фізичних характеристик випромінювання (дози, потужності дози, лінійних втрат енергії, фракціонування опромінення) і модифікованих факторів (температури, концентрації кисню та ін.), дозволив уже до середини 30-х років сформулювати основні принципи влучення, мішені й підсилювача [91].

Відповідно до принципів влучення і мішені основу біологічних реакцій при опроміненні становлять мікролокальні події, які впливають на структуру ДНК і РНК, тоді як принцип підсилювача полягає в тому, що зміни в структурі ДНК і РНК спричиняють зміни обміну речовин в опромінених клітинах. Принципи влучення, мішені й підсилювача мають особливе значення при кількісному аналізі радіобіологічних процесів у

такому багатоклітинному організмі, як рослина. Між моментом впливу випромінювань на багатоклітинний організм і його загибеллю проходить досить великий проміжок часу, який включає латентний період, прояву різних форм променевого ушкодження й лише потім – загибель.

Біологічні процеси, викликані опроміненням рослин, зв'язані з безліччю обмінних реакцій у ділільних і спеціалізованих клітинах. Слідом за прямим радіаційним впливом, який викликає перехід деяких молекул зі стабільного нативного стану в нові стабільні й лабільні стани, починається післядія. При цьому відбувається онтогенетичне посилення в часі спочатку непомітних ушкоджень деяких молекул до яскраво виражених біологічних наслідків на рівні цілого організму.

Відмінна риса вищих рослин у порівнянні, наприклад, із хребетними тваринами полягає в тому, що органогенез у них не обмежується ембріональним періодом, а протікає протягом всього життя. Це можливо завдяки наявності у рослин ембріональних тканин – меристем, що зберігають здатність до клітинного розподілу протягом усього онтогенезу. Для цих тканин характерна дуже висока чутливість до дії факторів, які ушкоджують, включаючи іонізуючі випромінювання. Радіочутливість меристем у десятки й сотні разів більше, ніж у диференційованих і спеціалізованих тканин. Радіаційне пошкодження меристем приводить до ушкодження всієї рослини, а загибель цих тканин – до загибелі всього організму. Саме тому меристеми рослин прийнято називати критичними тканинами. Здатність меристем зберігати постійний клітинний склад і підтримувати нормальні темпи клітинного розподілу визначає реакцію рослини на опромінення.

Радіаційні ефекти на клітинному рівні виявляються у вигляді онтогенетичних ушкоджень, оцінюваних за зниженням мітотичної активності, збільшенню кількості хромосомних аберацій і зміні тривалості мітотичного циклу клітин апікальних меристем. Ушкодження на клітинному рівні меристемних тканин знаходить висвітлення в ефектах на рівні всього організму, пов'язаних з порушенням ростової активності, гальмуванням росту та темпів розвитку, зменшенням виживаності рослин до кінця вегетаційного періоду [5]. Тому за такими ознаками, які виявляються візуально після опромінення, (зміна розмірів рослин і окремих органів, маси речовини, кількості органів) можна судити про дію випромінювання на рослину в цілому. В свою чергу ступінь виявлення кількісних ознак на вплив випромінювань на насіння і рослини адекватно відображає сумарний радіобіологічний ефект, який враховується по загальній продуктивності рослин наприкінці періоду вегетації [2].

У вегетативних рослин встановлена значна варіабельність зміни обмінних процесів, які залежать від дози опромінення і фази розвитку в момент впливу випромінювань. У різних видів і сортів рослин зміни фізіологічних функцій у відповідь на опромінення часто бувають якісно

подібні, хоча й розрізняються кількісно [81]. Реакція рослинних об'єктів на дію γ - і рентгенівського випромінювання проявляється у вигляді активації або уповільнення ростових процесів, що викликає зміни темпів клітинного розподілу. Порушення темпів ростових процесів супроводжується накопиченням сухої речовини, змінами фізико-хімічного стану клітин, тобто порушеннями проникності мембран, в'язкості і рН цитоплазми, дихання, окислювально-відновних процесів, фотосинтезу й обміну нуклеїнових кислот, білків, амінокислот, вуглеводів, регуляторів метаболізму і росту [2]. Реакція рослин на опромінення залежить від таких факторів, як генетичний потенціал сорту та режим впливу випромінювання. Постпроменеве відновлення або, навпроти, посилення пошкодження залежать від умов, у яких перебуває рослина після опромінення.

Візуально виявлений ефект гноблення ростових процесів у рослин проявляється після разового опромінення звичайно в перші 5-7 діб. У злакових культур, які піддавались опроміненню дозами 20-30 Гр, спостерігається гальмування росту головного пагона в висоту внаслідок уповільнення мітотичної активності в меристемах вузлів стебла. Надалі, внаслідок зняття апікального домінування, відбувається активація сплячих центрів і починається ріст бокових пагонів. У злакових культур це виражається в потужному кущінні, у дводольних підсилюється розгалуження.

При опроміненні злакових культур часто спостерігається збільшення вегетативної маси. Так, при сильному опроміненні пшениці у фазу розвитку 2-4 листків дозами 20-30 Гр, загальна кущистість може підвищуватися до 3 разів. Постійне опромінення в деяких випадках сприяє майже 25-кратному збільшенню кущіння, що приводить до збільшення вегетативної маси на момент збирання урожаю майже в 6 разів. Опромінення ярої пшениці в період появи сходів дозою 20 Гр збільшує загальну кущистість в 1,5-2 рази.

Після дії випромінювань ушкоджуючими дозами, у рослин виникають різні морфологічні аномалії. В загальному вигляді ці зміни можуть розглядатися як зовнішні ознаки променевого ушкодження рослин.

У ряді випадків дія більших доз опромінення на рослини підвищує темпи їх розвитку внаслідок активації процесів старіння – рослини швидше зацвітають і дозрівають. Прискорений розвиток опромінених рослин пов'язують із інтенсивним припливом живильних речовин до ушкоджених опроміненням мембранам і накопиченням окремих метаболітів. Зміна органів опромінених рослин може бути наслідком ушкодження чутливої до радіації фітогормональної системи і зниження рівня ауксинів.

Помітні генетичні ушкодження виявляються при опроміненні вегетативних рослин дозами 30-50 Гр. В опромінених злакових і бобових

культур часто проявляються так названі хлорофільні мутації, обумовлені порушенням синтезу хлорофілу в листках, а також зміною в співвідношенні окремих компонентів хлорофілу і навіть повним зникненням пігменту.

Різноманітні й морфологічні типи мутацій. У пшениці, наприклад, зустрічаються високорослі, низькорослі, карликові, напівкарликові форми, а також рослини з гіллястими або з ламкими стеблами, з вегетативними стеблами, які з'являються із наземних вузлів. У деяких мутантів змінені форми й розмір листків і прилистків, з'являється або, навпаки, зникає восковий наліт. Виникають мутантні форми зі зміненою тривалістю вегетаційного періоду.

Поряд з генними мутаціями в опромінених клітинах відбуваються хромосомні й хроматодні мутаційні зміни, властиві нормальній життєдіяльності рослинного організму. Опромінення, однак, збільшує ці порушення. Клітини з абераціями хромосом гинуть, причому кількість цих клітин тісно корелює із кількістю абераційних мітозів. Для бобових і деяких інших сільськогосподарських культур залежність кількості хромосомних аберацій від дози випромінювання носить лінійний характер, що свідчить про безпороговість цієї реакції (рис. 1.1).

При дії на насіння або вегетативні рослини дозами випромінювань у діапазоні 10^4 - 10^5 Гр наступає так звана загибель під променем. Сильне променеве ураження приводить до відмирання рослини через кілька годин після опромінення. Причиною цього явища служать не тільки необоротні цитогенетичні зміни, але й ураження спеціалізованих тканин і клітин, які беруть участь у формуванні багатобічних і багатоступінчастих фізіологічних процесів.

Пострадіаційне відновлення рослин охоплює всі рівні організації рослинного організму – від молекулярного до окремого органу і може здійснюватися шляхом прискореного синтезу нових молекул або відтворення клітин замість уражених і загиблих (рис. 1.2). Важливе значення для відновлення продуктивності культури при опроміненні вегетативних рослин має регенераційне відновлення, при якому за рахунок сплячих тканин і органів розвиваються пагони та формуються нові органи рослин, практично позбавлені ознак променевої поразки. В цьому полягає унікальна здатність рослинного організму досягати часткового або навіть повного відновлення життєдіяльності. При опроміненні молодих рослин ярої пшениці дозою 12 Гр продуктивна кущистість збільшується до 2 разів. Це приводить до того, що в ряді випадків замість зменшення кількості урожаю зерна його стає більше в порівнянні з урожаєм неопромінених рослин.

60

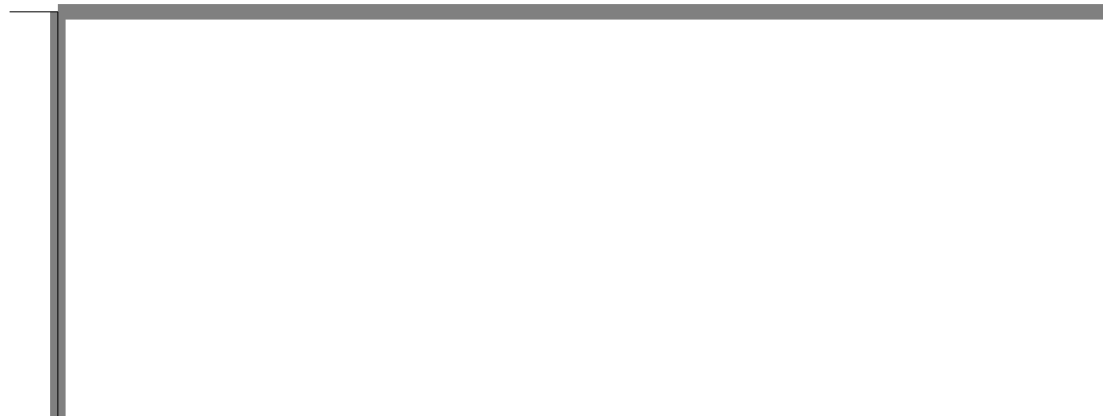


Рис. 1.1 – Вплив гострого гамма-опромінювання на яру пшеницю на V етапі органогенезу на кількість хромосомних аберацій в інтеркалярній меристемі листа через 2 доби після опромінювання: 1- Альбідум; 2 – Саратовська 29

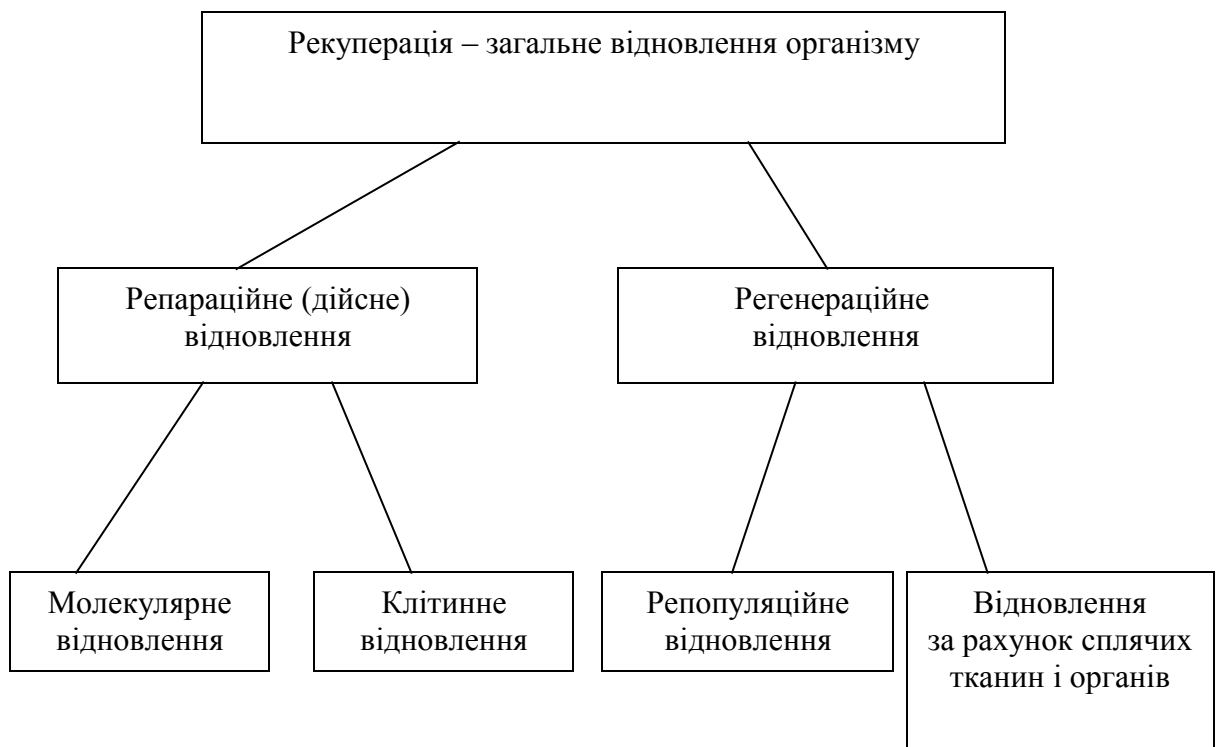


Рис. 1.2 Взаємозв'язок між різними видами пострадіаційного відновлення рослин

Дози опромінення вегетативних рослин, при яких спостерігається ефект зняття апікального домінування, прийнято вважати критичними. Для бобових культур вони дорівнюють приблизно 5 Гр, для зернових злаків ці дози залежать від виду культури і фази розвитку в момент опромінення. Так, для ярої пшениці критичні дози γ - випромінювання перебувають в інтервалі 8-12 Гр, для ячменю не більше 4 Гр, а для вівса – 6-16 Гр.

Таким чином, наслідком вражаючої дії випромінювань, які проявляються у вигляді різноманітних радіаційних ефектів, обумовлені не тільки дозою опромінення, але і в значній мірі пострадіаційним відновленням.

1.2 Радіаційна стимуляція росту та розвитку сільськогосподарських рослин

За умови впливу випромінювань в інтервалі невеликих доз (5-10 Гр для насіння і близько 1-5 Гр для вегетативних рослин) темпи росту й

розвитку рослин прискорюються. Це явище називається радіостимуляцією. Феномен радіаційної стимуляції росту й розвитку рослин добре вивчений на багатьох видах культурних рослин з опроміненням насіння різними дозами γ - або рентгенівського випромінювань. Опромінення насіння гороху, квасолі, сої та інших культур у дозах 0,5-2 Гр позитивно впливає на ріст, розвиток і кінцевий урожай. Невеликі дози γ і β - випромінювань викликають стимулюючий ефект у польових дослідках і напіввиробничих посівах для більш ніж 20 різних видів культурних рослин, включаючи пшеницю, ячмінь, овес, просо, гречку, буряк, льон і турнепс. При впливі α -випромінювань стимуляції не спостерігається; навпроти, у порівняно невеликих дозах α - випромінювання діє на ростові процеси рослин гнітюче. Стимулюючий ефект може виникнути внаслідок того, що утворені продукти радіолізу та пострадіаційного розпаду низькомолекулярних і високомолекулярних з'єднань при малих концентраціях чинять на клітину збудливий вплив у результаті слабкої (стимулюючої) інтоксикації.

При дії стимулюючих доз γ - випромінювання у гороху кількість клітин в одиниці об'єму рослин збільшується. Відзначається прискорення темпу поділу клітин, що призводить до збільшення сухої маси рослин після опромінення. Ефекти радіаційної стимуляції насіння злакових культур також проявляються у вигляді прискорення проростання насіння, посилення росту, більш інтенсивного наростання біомаси коріння і пагонів, прискореного проходження фенофаз і скорочення тривалості вегетаційного періоду, підвищення зернової продуктивності та поліпшення якості урожаю.

При опроміненні насіння підбирання оптимальних доз γ -випромінювання для стимуляції росту й розвитку рослин пов'язане зі значними труднощами, оскільки якість насіння впливає на вибір дози. Ґрунтово-кліматичні умови вирощування рослин і рівень агротехніки модифікують прояв радіостимуляційних ефектів. По величині стимулюючої дози опромінення насіння види культурних рослин розрізняються більш ніж в 20 разів (табл. 1.1). Діапазони стимулюючих доз передпосівного опромінення для насіння у межах виду культур коливаються від 2 до 10-15 разів.

Інтенсивність регенераційних процесів, які істотно визначають характер віддаленої реакції рослини на опромінення, варто враховувати в строки максимальної виразності цих процесів. Загибель рослин потрібно підраховувати тоді, коли вже реалізувалися можливості регенераційного відновлення. Фітоценологічні та радіобіологічні ефекти вимагають багаторічних спостережень, строки яких багато в чому визначаються видовим складом ценозу.

Таблиця 1.1 – Стимуляція дози опромінення насіння деяких видів сільськогосподарських культур

Вид рослини	Стимулююча доза, Гр	Вид рослини	Стимулююча доза, Гр
Горох	3-10	Огірки	3-40
Кукурудза	5-10	Люпин	40-160
Жито	10	Морква	20-40
Пшениця	25	Льон	20
Диня	40	Капуста	2,5-80
Томати	2,5-10	Конюшина	5-40
Бавовник	5-30	Редис	10

Таблиця 1.2 – Оптимальні стимулюючі дози опромінення насіння різних сортів м'якої ярої пшениці при оцінці сили росту

Сорт	Оптимальна доза, Гр	Довжина кільчиків 5-добових паростків, мм	
		Контроль	Опромінення оптимальною дозою
Комсомолка	5	52,3±1,2	57,6±1,7
Янус	20	44,5±1,8	52,0±2,0
Ліра	20	48,4±1,9	53,2±1,1
Московська 35	5	51,0±0,9	58,3±1,0
Новосибірська 67	5	50,7±1,9	56,8±1,3
Саратовська 52	10	38,8±0,9	44,4±1,7
Ленінградка	10	53,6±0,7	56,8±0,6
Свіяга	10	42,7±2,0	49,7±2,0
Саратовська 29	10	48,5±1,2	52,4±0,7

Високу точність підбору оптимальних стимулюючих доз γ -випромінювання для різних сортів м'якої ярої пшениці може забезпечувати аналіз сили росту насіння, який враховує ступінь розвитку паростків і корінців 5-добових паростків (табл. 1.2). Для різних сортів пшениці оптимальні дози передпосівного опромінення розрізняються до 4 разів.

Паростки та вегетативні рослини більш чутливі до дії випромінювань, чим насіння, що обумовлює й набагато менші дози, які стимулюють ріст і розвиток. Стимулюючі дози для молодих рослин у фазі активного метаболізму в 10-15 разів менше, ніж для сплячого насіння. Наприклад, оптимальні стимулюючі дози опромінення для насіння гороху

й кукурудзи становлять відповідно 5 і 10 Гр, а для вегетативних рослин – 0,35 і 0,5 Гр. Значна мінливість оптимальних стимулюючих доз встановлена не тільки для насіння в межах виду культурних рослин, але й для окремих партій насіння у межах сорту, яка пов'язана з індивідуальною радіостійкістю насіння і вегетативних рослин.

1.3 Вплив видових і сортових особливостей сільськогосподарських рослин на дію випромінювань

Дотепер немає єдиної думки щодо того, які показники найбільш точно відображають реакцію насіння і вегетативних рослин на вплив випромінювань. Для визначення цього найбільш широко використовують наступні критерії: енергію проростання й лабораторну схожість, польову схожість, виживаність паростків, втримання росту і розвитку, стерильність рослин, кількість аберацій хромосом у клітинах у першому мітозі, пригнічення мітотичної активності, інтенсивність синтезу ДНК, поява радіоморфозів, виживаність рослин, зниження їхньої маси. Однак не всі з перерахованих показників застосовуються для характеристики реакції рослин на опромінення. Так, лабораторна схожість хоча й зручна і коректна для оцінки реакції насіння на опромінення, все-таки не завжди об'єктивно характеризує радіостійкість культури. Причиною цього може бути те, що лабораторна схожість визначається не тільки кількістю життєздатного насіння і насіння, яке не вийшло зі стану покою, але й іншими властивостями, характерними для кожної конкретної партії насіння у межах виду і навіть сорту. Використання такого показника, як кількість загального хлорофілу в листках опромінених рослин або рослин, вирощуваних з опроміненого насіння, для оцінки радіочутливості не завжди дає стабільні результати.

Таким чином, оцінка радіорезистентності по якому-небудь одному критерію дає уяву лише про реакцію конкретної системи, що може не відповідати рівню загальної радіочутливості організму. Тому тільки аналіз комплексу показників з урахуванням особливостей зміни кожного з них може забезпечити адекватну оцінку радіостійкості.

Найбільш придатним критерієм радіочутливості сільськогосподарських культур прийнято вважати виживаність рослин до кінця вегетаційного періоду [75]. Цей показник відображає високу специфічність реакції популяції на вплив випромінювань як фактора стресу. У цьому випадку враховується здатність тканин до регенерації та репарації радіаційних ушкоджень. Як показник виживаності опромінених рослин або рослин, вирощуваних з опроміненого насіння, використовується летальна доза опромінення, при якій гине 100 % рослин

(ЛД₁₀₀), і ЛД₇₀ (загибель рослин становить 70 %). ЛД₇₀ вважається критичною дозою опромінення насіння і частіше, ніж ЛД₁₀₀ застосовується для характеристики радіостійкості виду.

Використання виживання рослин з опроміненого насіння як тест також має обмеження, оскільки характер відповідної реакції, обумовлений генетичним потенціалом культури, істотно модифікується видом випромінювання, умовами під час його впливу (температура, світло, вологість та ін.) і в процесі вирощування (зміна погодних умов, недолік або надлишок елементів мінерального живлення та ін.). Це затрудняє визначення рівня радіочутливості. Так, виживання рослин не завжди корелює із кількістю хромосомних перебудов у перших мітозах зародкових корінців паростків опроміненого насіння, оскільки критерій виживаності враховує не тільки здатність тканин до репарації, але й вплив модифікації зовнішніх факторів. Про радіостійкість рослин можна судити за ознаками, які характеризують загальну продуктивність рослин. Як критерій радіорезистентності вегетативних рослин можливе використання показників затримки росту, зниження продуктивності й загибелі до кінця вегетації. Труднощі оцінки радіочутливості рослин стримує з'ясування загальних причин, які визначають відмінності в реакції на опромінення різних груп рослинних організмів, а також особливостей, пов'язаних з реалізацією в онтогенезі генотипових і функціональних властивостей цілого організму, тканин та окремих клітин.

До теперішнього часу вивчена радіочутливість насіння великої кількості культурних рослин, які належать до різних сімейств, родів, видів, підвидів і сортів. По ЛД₇₀ і ЛД₁₀₀ у великих таксономічних груп рослин різниця становить 30-кратну величину. По радіочутливості в межах сімейства види можуть розрізнятися до 20 разів, а сорти в межах виду в 2-3 рази [86]. Відповідно до класифікації Д.М. Гродзинського та ін. [94] фактори, які визначають варіювання радіостійкості різних видів рослин, можуть бути розділені на дві групи. До першої групи відносяться такі структурні ознаки, як розмір насіння, анатомічна будова рослин, обсяг клітинних ядер і хромосом, кількість хромосом і плоідність, тобто фактори, які обумовлені філогенезом виду і здебільшого не піддаються модифікації. До другої групи відносяться фактори, які характеризують функціональний стан окремих структур клітин та фізіологічний стан генома: етап онтогенезу, вміст Sn-груп, наявність антиоксидантів і макроергів, здатність до пострадіаційного відновлення.

Концепція залежності радіостійкості рослин від об'єму клітинних ядер в інтерфазі меристематичних клітин є найпоширенішою. На прикладі різних видів рослин відзначається стійкий зв'язок середнього об'єму клітинного ядра з дозою опромінення, необхідної для швидкого уповільнення росту. Рослини, які мають більші розміри хромосом, виявляються більш чутливими до опромінення, чим рослини із дрібними

хромосомами [106]. Радіочутливість рослин корелює з вмістом ДНК розрахованим на одну хромосому. Однак поліплоїдні форми, які відрізняються підвищеним вмістом ДНК у ядрі, в ряді випадків виявляються більше стійкими до дії випромінювання, ніж форми з диплоїдним набором хромосом. Це підтверджується дослідженнями ушкоджень у різноплоїдних форм пшениці, вівса і ячменю. Протиріччя в питанні про роль плоїдності в радіостійкості рослин не визначені дотепер.

Відповідно до багатофакторної гіпотези формування відповідних реакцій на опромінення, радіочутливість рослин визначається рядом властивостей, серед яких інтенсивність метаболізму грає не менш значиму роль, ніж об'єм клітинного ядра, розмір хромосом та інші морфологічні ознаки. Рослини, які мають різний розмір ядра, одночасно характеризуються й іншим рівнем метаболізму, що безсумнівно важливо для розвитку відповідної реакції на опромінення [93].

Знань про причини різної радіорезистентності рослин у представників дрібних таксономічних груп, серед яких найменшою є сорт, дуже мало. Високогетерозисні гібриди кукурудзи мають більше високу стійкість до опромінення, чим гібриди з низьким рівнем гетерозису. Підвищена радіостійкість високогетерозисних гібридів зв'язана зі здатністю клітин до швидкого відновлення хромосомних ушкоджень. Збільшена інтенсивність відновлення радіаційних ушкоджень хромосом у гетерозисних форм є похідною функцією генетично обумовлених метаболічних процесів, що забезпечують загальне підвищення життєздатності рослин.

Результати досліджень 172 сортів м'якої ярої пшениці вказують на різний рівень радіорезистентності насіння, обумовлений їх генотиповою природою. Значний розмах внутрішньовидової радіорезистентності сортів у межах гексаплоїдного виду пшениць вдається виявити шляхом аналізу дозових залежностей довжини кільчиків і корінців 5-добових паростків (рис. 2.3 і 2.4). За критерій оцінки обраний показник радіаційної депресії паростків і корінців при тестовій дозі опромінення насіння 100 Гр, що визначається як зниження показника у варіанті з опроміненням, віднесене до показника в нормі, і виражений у відсотках. Аналіз цього показника вказує на розходження між контрастними по радіостійкості сортами, які досягають 3-10-ти кратних значень.

Генотипні особливості як можливий провідний фактор розходження реакції сортів гексаплоїдної пшениці наочно проявляються при опроміненні вегетативних рослин. Отже, гостре опромінення рослин пшениці 15 сортів однією і тією ж дозою викликає різне зниження їхньої продуктивності аж до її повної втрати. При порівнянні сортів по величині дози опромінення, яка викликає втрату зерна в урожаї на 50 % (UD_{50}), розходження між сортами досягають 3-4-х кратних величин. Таким чином, особливості реакції сортів на випромінювання реалізуються не тільки у

виживаності рослин до кінця вегетації, але й у неоднаковому зниженні урожайності опромінених культур.

1.4 Продуктивність та якість урожаю опромінених рослин

У класичних роботах біологічні ефекти при опроміненні насіння і вегетативних рослин оцінюються звичайно за величинами LD_{50} , LD_{70} або LD_{100} , які розраховують за виживаністю рослин до кінця вегетаційного періоду [75, 86]. У той же час досвід прикладних досліджень показує, що в більшості сільськогосподарських культур дози радіації, які викликають загибель 50-70 % рослин, приводять до повної втрати продуктивності. Тому для характеристики ступеня стійкості рослин до втрати продуктивності при опроміненні найбільше поширення здобуває параметр UD_{50} , що відповідає дозі, яка викликає зниження урожайності на 50 % [101, 106]. Залежно від цілей радіобіологічних досліджень застосовуються також UD_{10} , UD_{30} і UD_{100} . Різниця між LD_{50} і UD_{50} для того самого виду рослин може досягати 10 разів і більше.

Існування міжвидового й внутрішньовидового поліморфізму радіостійкості обумовлює широкий діапазон UD_{50} для сільськогосподарських культур. Найбільша чутливість рослин до опромінення спостерігається в репродуктивний період, особливо у фазі вихід у трубку (табл. 1.3). Для основних зернових злаків – пшениці, ячменю і жита середні UD_{50} для цього етапу розвитку не перевищують 10 Гр із максимумом радіочутливості на початку фази вихід у трубку. Виключення становить овес, у якого в період початку виходу у трубку відзначається досить висока стійкість до γ -опромінення (UD_{50} 16 Гр). Навпроти, до кінця виходу у трубку радіочутливість вівса помітно підвищується і UD_{50} становить уже 10 Гр. Фаза вихід у трубку максимально радіочутлива у пшениці, ячменю та жита і при опроміненні дозою, що знижує урожай на 90 %. У вівса по UD_{90} найбільшою радіочутливістю характеризується фаза викидання волоті.

Опромінення рослин у найбільш радіочутливий період куціння – вихід у трубку приводить до відмирання конуса наростання головного пагона та зняття апікального домінування.

30



Рис. 1.3 – Розподіл сортів пшениці за рівнем радіорезистентності під час оцінки за довжиною головних коренів 5-дібових паростків опромінених семян

30



Рис. 1.4 – Розподіл сортів пшениці за рівнем радіорезистентності під час оцінки за довжиною паростків 5-дібових паростків опромінених семян

В результаті за рахунок посилення продуктивної кущистості відбувається помітна компенсація втрат урожаю зерна. Так гостре γ -опромінення ярої пшениці в період кушіння – вихід у трубку дозами 16-20 Гр збільшує продуктивну кущистість в 1,5-2 рази, залежно від сорту й погодних умов, а у вівса продуктивна кущистість при цьому зростає в 2,6 рази. При постійному опроміненні посівів злакових культур повна втрата урожайності досягається при дозі 4,7 Гр. Менші дози опромінення, навпроти, стимулюють розвиток рослин і підвищують вихід зерна.

Таблиця 1.3 – Середнє UD_{50} для злакових культур при гострому γ -опроміненні вегетативних рослин, Гр

Фаза розвитку на момент випромінювання	Озима пшениця	Яра пшениця	Озиме жито	Яре жито	Ярий і озимий ячмінь	Овес	Рис
Сходи	50	60	35	35	30	45	-
Кушіння	20	35	30	20	20	30	-
Вихід у трубку	8	13	4	4	8	16	75
Колосіння	25	24	20	15	12	10	160
Цвітіння	35	40	35	35	30	35	-

При опроміненні вегетативних рослин найважливіших злакових культур в період їхньої найбільшої чутливості до дії випромінювань у фазу вихід у трубку втрати урожаю зерна перебувають у прямій залежності від радіостійкості культури (табл. 1.4). Найбільш чутливе до γ -випромінювання жито, у якого при дозі 12,5 Гр урожай знижується на 80 %. Для пшениці і ячменю подібне зменшення урожаю характерно при впливі більше високих доз – близько 25 Гр. У більш радіорезистентної культури, вівса, 25 % урожаю зберігається при опроміненні рослин у дозі 50 Гр. До числа високостійких до опромінення культур відноситься просо.

Для бобових культур UD_{50} коливаються в широкому діапазоні і залежно від видової приналежності можуть досягати 160 Гр. Однією з найбільш радіочутливих сільськогосподарських культур є горох: при його опроміненні на стадії цвітіння середнє UD_{50} становить 2,5 Гр. Для кінських бобів, опромінених у фази 2-й листок, 4-й листок, бутонізація і цвітіння, UD_{50} дорівнює відповідно 3, 5, 7 і 13 Гр.

Також значне варіювання UD_{50} для корене- і бульбоплодів і цибулинних культур (картоплі, буряка, редису, часнику, цибулі та ін.). Картопля є досить чутливою до опромінення, особливо в ранні фази розвитку (UD_{50} 16 Гр), на більш пізніх стадіях UD_{50} досягає 93 Гр [101].

У цукрового буряка найбільш радіочутливою є фаза початок товщення підсім'ядольного коліна, тоді як при опроміненні в період від початку утворення коренеплодів до формування половини їхнього остаточного розміру відзначається відносно висока радіорезистентність цієї культури. УД₅₀ для урожаю коренеплодів становить 30 Гр, для вмісту цукру – 17 Гр, а для маси листя – 60 Гр. Найбільш вивченими в радіобіологічному відношенні із олійних культур є озимий і ярий рапс та ріпак олійний, для яких характерна висока радіостійкість (УД₅₀ 120-160 Гр). Для соняшника за даними, отриманим на підставі визначення об'єму інтерфазних хромосом, розрахункові УД₅₀ становлять 40-60 Гр.[106]. Для кормових і пасовищних культур УД₅₀ досягають 200 Гр. Тому що в цьому випадку урожай оцінюється по вегетативній масі рослин, тобто УД₅₀ фактично співпадає з ЛД₅₀.

Таблиця 1.4 – Вплив γ - випромінювання на урожай зерна при опроміненні вегетативних рослин у фазу вихід у трубку, % до контролю

Культура	Доза γ -випромінювання, Гр							
	7,5	12,5	17,5	25	35	50	80	125
Озима і яра пшениця	85	70	50	25	10	0	0	0
Жито	50	20	0	0	0	0	0	0
Озимий і ярий ячмінь	85	70	50	25	10	0	0	0
Овес	100	95	80	60	40	25	0	0
Просо	100	100	100	100	80	60	40	0

Під впливом опромінення зменшується не тільки кількість зерна в урожаї, але помітно змінюється і його якість – звичайне зерно з опромінених рослин виявляється щуплим. Це обумовлено зниженням вмісту основної запасної речовини ендосперму – крохмалю, на частку якого у повноцінного зерна доводиться до 80 % маси зернівки. Зменшення у зернівці кількості вуглеводів збільшує вміст азотоутримуючих речовин, в першу чергу білків. При опроміненні рослин за період вихід у трубку – колосіння вміст білка в зерні м'яких пшениць збільшується на 2-4 %, а в зерні твердих пшениць на 4-10 % [101], однак загальний вихід клейковини і її якість у щуплому зерні звичайно низький, що різко погіршує хлібопекарські якості борошна. За даними γ - опромінення пшениці у фазу цвітіння дозами, що перевищують 10 Гр, знижує якість зерна, яка оцінюється за властивостями клейковини. При опроміненні пшениці у фази вихід у трубку, колосіння і молочна стиглість дозою до 20 Гр хлібопекарські якості зерна залишаються задовільними.

У ячменю опромінення у фазу вихід у трубку дозами до 20 Гр, у фази колосіння і цвітіння дозами до 30 Гр та у фазу молочної стиглості дозами до 70 Гр істотно не змінює якості зерна.

Вплив випромінювань на вегетативні рослини простежується і на посівні якості насіння, яке сформувалося на них, як правило, знижуючи енергію проростання та лабораторну схожість. Максимальне зменшення схожості у ярої пшениці відзначається при опроміненні у фази колосіння і цвітіння. Схожість насіння у першому пострадіаційному поколінні при опроміненні в дозах 25-40 Гр знижується на 13-74 % залежно від сорту та фази розвитку материнських рослин в момент опромінення. Повну втрату посівних якостей насіння у потомстві викликає опромінення ярої пшениці у фази цвітіння і молочна стиглість дозами 50-70 Гр.

Продуктивність опромінених сільськогосподарських культур піддається істотному впливові погодних умов, погіршення яких, як правило, підсилює інгібіторний вплив опромінення на ростові процеси рослин, сповільнює темпи проходження фенофаз, подовжує період вегетації і в такий спосіб негативно позначається на кінцевій продуктивності культури. В дослідях з сильним γ - опроміненням ярої пшениці, погіршення погодних умов підсилює радіаційну депресію урожаю до 4 разів (табл. 1.5).

В цілому зменшенню дії ушкодження від випромінювань, сприяють зниження температури і підвищення відносної вологості повітря в пострадіаційний період. Підвищена вологість стимулює кушіння, що також позитивно впливає на ріст і розвиток опромінених рослин. Підвищення температури й зниження відносної вологості повітря в пострадіаційний період, навпроти, підсилюють негативну дію опромінення, і рослини зменшують зернівку та продуктивність при більш низьких дозах опромінення. Модифікований вплив температури й відносної вологості повітря на процеси в опромінених рослин залежить також від біологічних особливостей культури. Так, пшениця сорту Саратовська 41 при температурі 15 °C і відносній вологості повітря 70 % у фазу вихід у трубку в 5 разів чутливіша до випромінювання за критерієм UD_{50} , ніж пшениця сорту Саратовська 29. При температурі 27 °C і відносній вологості повітря 50 % при опроміненні рослин у цій же фазі розвитку різниця в UD_{50} досягає 3,5 разів. Мінімальні розходження (1,4-1,6 рази) спостерігаються в умовах оптимального розвитку опромінених рослин.

Таким чином можна сказати, що реакція рослин на дію випромінювань, як і на вплив інших факторів навколишнього середовища, складна та різноманітна. Вона містить у собі процеси, що відбуваються на молекулярному й клітинному рівнях, які в цілому подібні у всіх живих організмів. При переході до більш високих рівнів організації починають проявлятися особливості реакції на опромінення, характерні тільки для рослин і залежні від особливостей структури й функцій різних тканин й органів рослинного організму.

Таблиця 1.5 – Вплив погодних факторів на УД₅₀ при сильному γ -опроміненні пшениці

Сорт	Фаза розвитку на момент опромінення	УД ₅₀		
		15 °C/70%	22 °C/60%	27 °C/50%
Саратовська 29	Кущіння	35	30	25
	Вихід у трубку	20	16	14
Саратовська 41	Кущіння	50	45	12
	Вихід у трубку	4	10	4

Примітка. У чисельнику - температура, у знаменнику - відносна вологість повітря.

Наявність у життєвому циклі рослин такої особливої стадії розвитку як насіння, що містить у собі зачатки нового організму й у стані своєрідного анабіозу, обумовлює ще одну особливість реакції рослин на опромінення, тому що насіння в силу анабіотичного стану своїх структур набагато більш радіостійке, чим активно метаболізуючий організм. Оскільки насіння є більше зручним для досліджень об'єктом, чим вегетативні рослини, їхня реакція на дію випромінювань вивчена набагато більш детально, і більшість закономірностей дії випромінювань на рослини на молекулярному й клітинному рівнях отримані на насінні.

Разом з тим вивчення багатьох відповідних реакцій рослин на опромінення можливо в силу метаболічної гетерогенності їхнього організму в процесі онтогенезу тільки на вегетативних рослинах. До них відносяться такі особливості, як різна радіочутливість рослин на різних етапах органогенезу, що є наслідком різноякісності процесів функціонування тканин і органів. У ході онтогенетичного розвитку у рослин виникають численні спеціалізовані тканини й органи, радіаційне пошкодження яких, різне саме по собі, має неоднакове значення для долі рослинного організму в цілому та його господарської продуктивності зокрема.

1.5 Радіобіологія рослин у дослідженнях загальнобіологічних закономірностей

Радіобіологія завжди спиралася на широку сукупність знань, накопичених в області цитології, фізіології, біофізики, біохімії, молекулярної біології й генетики. Разом з тим радіобіологія вносить нові аспекти й розуміння сутності багатьох проблем загальнобіологічного значення. Радіобіологія рослин стикається з рядом явищ, пояснення яких проливає світло не тільки на радіобіологічну сутність відповідних реакцій організму на

опромінення, але й на невивчені ще структурні й функціональні властивості біосистеми. Щодо цього іонізуюче випромінювання виступає як інструмент досліджень живих організмів. Рівні явищ, природа яких розкривається в такому радіобіологічному експериментальному підході, охоплюють біологічно значимі молекули, надмолекулярні асоціації – хроматин, хромосоми, біологічні мембрани, органели клітини, морфогенез клітин і багатоклітинного організму, біоценози і, нарешті, екосистеми.

Фундаментальні відкриття у радіобіології мають загально-біологічне значення з новими напрямками досліджень, які стали повністю самостійними. Так, відкриття радіаційного мутагенезу, що належить російським ученим Філіппову і Надсону, послужило початком розвитку найважливіших розділів сучасної генетики, установлення механізмів утворення мутацій, мінливості та еволюції видів.

Радіобіологічні дослідження природи пострадіаційного відновлення привели до відкриття механізмів репарації ДНК, які мали значні наслідки для формування уявлень про стійкість генетичного коду, значення подвійної спіралі ДНК, функції корекції генетичних структур. Був відкритий новий клас ферментів, які здійснюють репараційний синтез ДНК.

Дослідження поведінки багатоклітинних систем при опроміненні привело до встановлення глибоко змістовних загальнобіологічних законів міжклітинних взаємодій, компетентності клітин в регуляції кінетики клітинних розподілів, позиційної інформації.

Відкриття радіаційного тератогенезу і канцерогенезу послужило джерелом нових поглядів на механізми морфогенезу, процеси регуляції росту тканин й органів у складному організмі.

При вивченні причин порушення процесів старіння опромінених організмів розкрилися нові сторони зв'язків між старінням і молекулярними порушеннями в генетично керуючих структурах клітин.

Багато інших відкриттів радіобіології послужили відправними пунктами розвитку найважливіших напрямків сучасної біології та збагатили новим вмістом знаннями практично всі області цієї науки. Очевидно, у цьому впливові радіобіології на хід пізнання живої природи варто бачити найважливіший підсумок її досліджень.

Радіаційне подолання трансплантаційної несумісності. Під впливом іонізуючої радіації в рослинній клітині змінюється контроль біосинтезу білка. Із цим променевим порушенням найважливішої функції клітинного обміну речовин пов'язують проявлення ряду радіобіологічних реакцій і, зокрема, порушення імунно-біохімічного пізнання. Ефектом порушення біологічного пізнання визначаються такі явища, як міжклітинне пізнання при заплідненні, злитті протопластів, трансплантації. Дійсно, добре відома роль міжклітинного пізнання в заплідненні й трансплантаційному імунітеті [104].

Гетерогенна й гомогенна несумісності контролюються різними або ідентичними генами (алелями). Пригнічення активності цих генів визначає

ступінь біологічного пізнання, від якого залежить сумісність або несумісність клітин, тканин, особин у популяції.

Значення несумісності в еволюції дуже велике: гетерогенна несумісність сприяє еволюції ізольованої популяції виду, гомогенна несумісність, яка проявляється у половому процесі, навпроти, сприяє рекомбінації генів, створюючи передумови для прогресивної еволюції видів. Оскільки зазначені процеси відіграють вирішальну роль в еволюції, вони досить консервативні й дуже мало піддаються змінам під впливом різних факторів. Разом з тим механізми сумісності й несумісності відіграють важливу роль у формуванні стійкості рослин до паразитних грибів і бактеріальних захворювань, оскільки взаємодія рослини-хазяїна, бактерії або гриба починається із міжклітинного пізнання.

Використання радіаційного ослаблення міжклітинного пізнання може стати основою для вирішення ряду практичних завдань: подолання нескрещуваності при віддаленій гібридизації рослин, модифікації стійкості рослин до фітопатогенів, зміни характеру формоутворюючих процесів, обумовлених позиційною інформацією і т.п.

З перерахованих завдань найбільш завершене рішення знайшло подолання тканинної несумісності при трансплантаціях, щепленнях винограду. На даний час надійним способом захисту виноградної рослини від філоксери є щеплення європейських сортів на філоксеростійкі підщепи американського походження. Одержання щеплень не завжди виявляється успішним внаслідок несумісності прищепи і підщепи. Ця несумісність проявляється в низькому виході успішних щеплень, а також в тім, що навіть у випадку первісного зрощення прищеплювальних компонентів через деякий час після посадки черешків відбувається відростання пагонів від підщепи або кореню від прищепи; при цьому виноградний кущ перероджується в дикуна або у філоксеронестійку форму, і його доводиться викорчовувати. Для запобігання регенерації куща від прищепи або підщепи в щепленому виноградарстві прибігають до так названого «осліплення» підщепних черешків (чубуків) – видаленню з них перед щепленням сплячих вічок (бруньок). Опроміненням підщепних черешків γ - випромінюванням при відповідному виборі дози вдається змінювати міжклітинне пізнання у контактних калусних тканинах прищепи і підщепи, завдяки чому зростає ступінь сумісності черешків й одночасно інактивуються сплячі бруньки підщепи, що виключає можливість їхньої наступної проліферації.

В результаті детальних досліджень процесів, які відбуваються при опроміненні прищеплювальних чубуків винограду, була створена нова радіаційно-біологічна технологія, використання якої поліпшує якість вирощування слабосумісних компонентів у щепленому виноградарстві і дозволяє механізувати трудомістку операцію «осліплення» вічок. Ця технологія була розроблена спільними зусиллями радіобіологів, виноградарів і фахівців з радіаційної техніки. Була створена спеціальна γ -установка, яка забезпечує проведення щеплень винограду в прищеплювальних комплексах України і Молдавії [8].

Подолання несумісності при половій гібридизації може виявитися корисним як для самозапильних, так і для перехреснозапильних рослин. Розширення розмаїтості можливих віддалених схрещувань, а також забезпечення одержання інцухтних ліній для облігатних перехресників – дуже важливі для селекції сільськогосподарських рослин.

Ослаблення біологічного пізнавання шляхом інгібування експресії генів несумісності може виявитися корисним для соматичної гібридизації, при якій злиття протопластів різних видів рослин часто супроводжується сегрегацією складного ядра клітини або втратою здатності цієї клітини до розподілу.

У результаті придушення міжклітинного пізнавання може змінюватися химерна структура рослини, що також заслуговує на увагу як явище, що приводить до поліпшення господарсько-цінних властивостей рослини.

Радіостимуляція. Ефект стимуляції росту й розвитку рослин при їхньому опроміненні порівняно невисокими дозами радіації відразу ж звернув на себе увагу, так як має практичне значення. Тому ще на початку століття робили спроби використання опромінення рослин з метою підвищення їхньої урожайності або поліпшення якості продукції рослинництва. При цьому прибігали до таких способів впливу на рослини: 1) опромінення насіння перед посівом; 2) намочування насіння у розчинах радіоактивних речовин; 3) внесення у ґрунт радіоактивних матеріалів.

Природно, в перші роки проведення таких досліджень не можна було досягти досить строгого дозиметричного контролю радіаційних впливів, і тепер важко встановити, які величини доз приводили до спостережуваних стимуляційних ефектів. Тому далеко не завжди можна було відтворити такі досліді з однотипними результатами. Згодом дозиметрична атестація дослідів по радіостимуляції рослин стала більше розробленою й відповідно почастишала відтворюваність стимуляційних ефектів у дослідях із сільськогосподарськими рослинами. Однак ця відтворюваність ефектів все-таки залишалася неповною, в зв'язку з чим відношення до принципової можливості широкого використання у практиці сільського господарства методу радіостимуляції довгий час залишалося суперечливим.

Практично найпростіше опромінювати насіння перед посівом. Тому більша частина досліджень радіостимуляційних ефектів проведена з передпосівним опроміненням насіння, що у даний час цілком прийнятний як технологічно просто досяжний спосіб. При намочуванні насіння у розчинах радіоактивних речовин, а також при внесенні в ґрунт радіоактивних матеріалів неминує підвищується вміст радіоактивних елементів у середовищі, і це явище варто віднести до негативного з погляду радіаційної санітарії. Опромінення вегетативних рослин вимагає створення своєрідних гамма-полів на більших територіях з безліччю джерел, які забезпечують рівномірне дозове поле. Це технічно досяжне рішення вимагає для реалізації дуже багато засобів і, крім того, зв'язане з необхідністю забезпечувати протирадіаційний захист працюючих у полі людей. Інакше кажучи, і цей спосіб навряд чи в даний час може бути використаний. Тому практично

прийнятним для широкого використання методом є передпосівне опромінення насіння або черешків рослин, які вегетативного розмножуються, γ -радіацією.

У великому експериментальному матеріалі, накопиченому в результаті вивчення радіостимуляційних ефектів у рослин, видні переконливі докази наступних положень.

1. Ефекти радіостимуляції безсумнівні, проте їхнє проявлення може мати короткочасний і нестійкий характер, коли із часом опромінені рослини, що спочатку демонстрували явну стимуляцію ростових процесів, знову повертаються до рівня процесів, властивих неопроміненним рослинам. Разом з тим радіостимуляція може бути тривалою, яка завершується підвищенням урожаю вегетативної маси рослин або господарсько-корисної частини урожаю. При цьому часто залишається нез'ясованим, яким чином формуються короткочасні й пролонговані стимуляційні ефекти опромінення. Зрозуміло, у практичних цілях більше цікаві пролонговані стимуляційні ефекти: господарську значимість передпосівного опромінення насіння найбільшою мірою задовольнило б підтримку стимуляції фізіологічних і метаболічних процесів протягом усього онтогенезу.

2. Стимуляційні ефекти характеризуються неповною відтворюваністю. Часто при істотному проявленні короткочасної стимуляції не виражена пролонгована стимуляція росту і на формоутворенні вона не позначається.

3. Ефекти радіостимуляції настають при опроміненні рослин певними для кожного виду дозами. Інтервали стимулюючих доз, безсумнівно, залежать від фізіологічного стану рослин. У ряді випадків відзначалося, що проявлення стимуляційних ефектів у рослин залежить від дози нелінійно. Причому виділяються два інтервали стимулюючих доз. Один з інтервалів лежить в області 10-40 Гр, інший – в області 5-25 Гр. Звичайно для практичних цілей використовують другий інтервал доз.

При аналізі радіостимуляційних ефектів у рослин, звертає увагу системний характер реакції, яка розвивається на опромінення: стимуляція поширюється на багато сторін життєдіяльності організму. Так, підсилюються ростові процеси, з ними зв'язане прискорення клітинних розподілів, розтягання та диференціація клітин, підвищення напруженості біосинтетичних процесів, що в свою чергу, визначає рівень фотосинтезу, транспорт асимілятів, накопичення речовин фітогормональної природи та ряду інших фізіологічних функцій організму. У літературі, присвяченій радіостимуляції, міститься інформація, що підтверджує широкий спектр змін, які спостерігаються в опромінених рослинах. Природно, що не специфічність радіостимуляційних ефектів привела до думки про те, що в основі ефектів лежить реакція рослини на слабе роздратування, викликане радіацією, яке по характеру своєї дії приводить до появи в клітинах токсичних речовин, порушення макромолекул. Радіаційні ушкодження спонукають до посилення відбудовних процесів, і звичайно радіостимуляція відображає гіперфункцію відновлення. Втім, таке пояснення не цілком відображає конкретні

механізми, які породжують розвиток клітинних змін, що приводить до радіостимуляції.

А.М. Кузін висловив припущення, що при малих дозах опромінення в результаті радіаційно-хімічних реакцій виникають окислені ненасичені жирні кислоти й поліфеноли, речовини типу перекисів і хінінів, не наносячи ушкодження геному, здатні діяти на мембрани як неспецифічні ефектори по тригерному механізму, активуючи аденилатциклазу. У підсумку активується експресія великих блоків генів, підсилюється синтез різних форм ДНК і білків, що приводить до проявлення системної реакції радіостимуляції. Щодо цього малі дози іонізуючої радіації в своїй дії подібні з впливом природних гормонів. В процесі першої стадії радіостимуляції виникають нові природні тригер-ефектори, у функціонуванні яких стимуляція «естафетно передається на наступні стадії онтогенезу». Як бачимо, пролонгований радіостимуляційний ефект знаходить пояснення в послідовній активації тригер-ефекторів.

Очевидно, в силу системності реакції радіостимуляції її проявлення повинне тісно залежати від умов вирощування рослин, оскільки розвиток множинних реакцій, більша частина яких регулюється не тільки ендогенними факторами, але й зовнішніми умовами, в остаточному підсумку визначається тим, як потенції рослини задовольняються наявними умовами їхньої реалізації. Може бути, у цьому й складається причина частої не відтворюваності стимуляційних ефектів малих доз передпосівного опромінення насіння сільськогосподарських культур [23]. Наприклад, при висіві насіння у недостатньо вологий ґрунт при короткочасній стимуляції росту кореневої системи рослини можуть виявитися в більше сприятливих умовах внаслідок того, що коріння паростків досягають більше вологих шарів ґрунту, звідки інтенсивно поглинають живильні речовини. В результаті цієї тимчасової переваги умов розвитку у критичний момент життя виникає ефект, який сприймається як пролонгована радіостимуляція. Очевидно, варто звертати увагу не тільки на вибір доз опромінення насіння, але й на умови вирощування рослин, при яких забезпечується формування пролонгованих ефектів опромінення.

Підвищення продуктивності після опромінення насіння іонізуючою радіацією в інтервалі стимуляційних доз спостерігали у багатьох рослин: гороху, озимої і ярої пшениць, цукрового буряка, кукурудзи, вирощуваної на силос і на зерно, соняшника, томатів, моркви, редису, проса, озимого рапсу, багатьох інших рослин. Оскільки відтворюваність стимуляційних ефектів залежить від умов вирощування рослин, особливо сприятливими для одержання стійких ефектів підвищення продуктивності рослин під впливом малих доз іонізуючих випромінювань є умови захищеного ґрунту, де вирощують овочеві культури – цибулю, салат, огірки, томати, хібінську капусту та ін. У захищеному ґрунті відтворюваність стимуляційних ефектів, як правило вище, ніж у польових дослідах. Тому передпосівне опромінення насіння овочевих культур одержало досить широке поширення.

Ефект радіостимуляції застосовують і на рослинах, які розмножуються черешками. Наприклад, істотне підвищення продуктивності чорної смородини і агрусу після опромінення посадкового матеріалу γ -випромінюванням описано в роботі [19].

Крім умов вирощування рослин, на проявлення радіостимуляції впливають потужність дози радіації, строки витримування опроміненого насіння перед посівом, вологість насіння у момент дії радіації, якість насіння – їхня однорідність. Має значення і спосіб вирощування рослин, насіння яких буде використане для опромінення. Всі ці фактори супутні опроміненню відносно їх впливу на радіостимуляційний ефект були тією чи іншою мірою вивчені з використанням різних методичних прийомів. Так, проводилася робота для з'ясування дії часу розриву між опроміненням і висівом насіння по загасанню сигналу ЕПР, індукованого опроміненням. Значення гетерогенності насіння у прояві радіостимуляційного ефекту оцінювали за значеннями дисперсії кількісної міри тієї або іншої ознаки рослини.

Основним завданням у подальших дослідженнях радіостимуляції рослин є встановлення умов, при яких підвищення продуктивності рослин після опромінення насіння досягне повної відтворюваності. Крім того, необхідно розробити тести, придатні для вибору оптимальних стимулюючих доз і способів опромінення.

Перспективи нових радіаційних біотехнологій. Радіостійкість рослин забезпечується специфічними й неспецифічними системами відновлення і захисту відносно ушкодженого фактора. З огляду на неспецифічність радіостійкості, можна припустити, що є зв'язок між виразністю цієї властивості рослини і її здатністю переносити стресові впливи факторів нерадіаційної природи, наприклад посухи. Практичний інтерес представляє з'ясування щільності кореляції ступеня радіостійкості з мірою інших форм фізіологічної стійкості рослин. При наявності досить чіткої кореляції, можна було б на початкових етапах селекційного процесу вести відбір на фізіологічну стійкість за рівнем радіостійкості рослини, які визначати значно простіше, ніж інші форми стійкості.

Променевим впливом, який до деякої міри індукує відновні процеси, можна збільшувати стійкість рослин до підвищеної температури та до посухи. Впливом на кінетику клітин у меристемі досягається підвищення стійкості рослин до дії низьких температур.

Променеве ушкодження рослин, яке супроводжується індукцією захисних систем організму, позначається на синтезі фітоалексинів. Це явище може послужити приводом для досліджень в інтересах розробки способів опромінення рослин, які сприяють підвищенню стійкості до фіто патогенів, які попереджають накопиченням фітоалексинів.

Вибірне інгібування проліферированих центрів. Властивість іонізуючих випромінювань більшою мірою ушкоджувати активно проліферировані меристемні клітини, чим клітини, що перебувають у стані спокою або диференціації, обумовлює гальмування при опроміненні процесів формоутворення й проходження етапів онтогенезу. У ряді випадків

сільськогосподарської практики якість продукту залежить від того, наскільки уповільнений перехід рослини від вегетативної до репродуктивної фази розвитку. Оскільки опроміненням рослини можна уповільнювати настання такого переходу, логічно припустити, що вибором відповідних способів опромінення можна управляти темпами формоутворення, домагаючись господарсько-корисного ефекту.

Розгалуження у рослин можна змінювати, впливаючи на силу апікального домінування, внаслідок того, що під впливом радіації в першу чергу інактивуються клітини активно проліферируючих апікальних меристем, дія радіації підсилює розгалуження рослин. Цей ефект може знайти практичний додаток у тих випадках, коли від розгалуження залежить якість рослинницької продукції.

Показано [3], що зміна апікального домінування у ячменю досягалася не тільки при опроміненні вегетативної рослини, але й при дії γ - радіації на насіння. Отже, практично можна було б змінювати архітектоніку рослин, яка залежить від сили апікального домінування, шляхом опромінення насіння.

Масивне опромінення рослинної маси. При опроміненні рослинної маси в дуже високих дозах γ - радіації або електронів відбуваються радіаційно-хімічні реакції, які можуть поліпшувати технологічну якість рослинної сировини. Зокрема, при обробці грубих кормів радіаційним опроміненням їхня перетравність і живильна цінність зростають. Розриви високополімерних вуглеводів роблять їх більш доступними гідролітичним ферментам шлунку сільськогосподарських тварин, завдяки чому й зростає кормова цінність опромінених матеріалів.

Індукція біогенезу речовин вторинного походження. При досить сильній променевої поразці рослини внаслідок розвитку неспецифічних процесів найчастіше спостерігається збільшення концентрації речовин вторинного походження, зокрема алкалоїдів, глюкозидів, фенольних з'єднань. Цей ефект відноситься до віддалених наслідків опромінення, в зв'язку з чим він виявляється при обробці насіння або органів вегетативного розмноження рослин.

Практичне значення цей ефект здобуває у випадку опромінення лікарських рослин, у яких підвищується вихід лікарських речовин у рослинній масі. Вибір дози визначається тим, щоб променеве ураження рослин істотно не позначалося на утворенні біомаси.

Виявлено [105] збільшення вмісту алкалоїдів у рослинах катарантуса рожевого, вирощеного з опроміненого насіння. З листків і коріння цієї рослини виділяють онкостатичні препарати вінбластин і вінкрисін, вміст яких зростає в опромінених рослин. Опромінення паростків катарантуса дозою 10 Гр приводило до збільшення вмісту алкалоїдів у листках на 9 %. У дослідженнях з дурманом звичайним, насіння якого перед посівом опромінювали γ - радіацією дозами 50 й 100 Гр, різко збільшувався вміст алкалоїдів тропанового ряду.

Багато лікарських рослин при їх вирощуванні з використанням добрив і досконалої агротехніки утворюють хоча й більшу масу, але низької якості.

Не виключено, що методом досить сильного опромінення іонізуючою радіацією можна істотно підвищувати вміст і поліпшувати набір з'єднань, які надають рослинній масі лікарські властивості.

Теорія мішені у вивченні ультраструктур рослинної клітини. Формалізовані положення теорії мішені, доповнені уявленнями про ефективні об'єми уражених мішеней і конкретними знаннями про механізми їхнього ушкодження, з певним успіхом застосовуються для визначення конфігурації активних центрів ферментів, молекулярної маси й розмірів вірусів, розмірів і кількості деяких генів у геномі клітин. Хоча поняття «чутливий об'єм» і відрізняється деякою умовністю, особливо в тому випадку, коли мова йде про складні біологічні системи, все-таки розрахунки значень їхнього об'єму за кривими дозової залежності досить близько відображають реальні об'єми ураженого об'єкта, обумовлені за допомогою незалежного методу. Звичайно, ультраструктурні дослідження з використанням теорії мішені звичайно доповнюють інші методи, дозволяючи створювати більш докладну картину будови надмолекулярних клітинних структур.

Використання теорії мішені при розрахунках ультраструктурних характеристик за дозовими кривими втрати функціональної здатності хлоропластів здійснювати елементарні реакції фотосинтезу дозволяє визначити конфігурацію, розміри й просторове розташування фотосистем I і II у мембранах тилакоїдів. У цій роботі ліофілізовані ізольовані хлоропласти піддавали опроміненню γ -радіацією, нейтронами та α -частками і за дозовими кривими оцінювали значення ОБЕ для інгібування реакцій фотовідновлення феріціаніду, НАДФ і фотосинтетичного фосфорелірування. Порядок отриманих значень узгоджується з деякими моделями організації фотосинтетичних одиниць. У даному дослідженні довелося робити ряд допущень, зокрема про те, що активний центр фотосистем або функціонує, або у випадку поразки при влученні іонізуючої частки повністю губить активність.

Очевидно, використання методології теорії мішені може виявитися небезкорисним для орієнтовної оцінки просторових характеристик поки ще неідентифікованих структур клітини, відповідальних за виконання певних елементарних реакцій клітини. У цьому випадку маються на увазі не тільки гени, які контролюють той або інший процес, але більше складної функціональної одиниці клітини, які іноді називають «молекулярними машинами», включеними в загальну систему молекулярних пристроїв клітин. Прикладом використання такого підходу може служити дослідження «мішеней», які приймають участь у контролі морфогенезу рослини.

Дослідження клітинних циклів. Важливим розділом біології, який одержав стимул розвитку завдяки дослідженням в області радіобіології рослин, є теорія клітинної кінетики в утворюваних тканинах. Регуляція процесів, які відбуваються в клітинній популяції утворюваних тканин, заснована на підтримці гетерогенності клітин у відношенні їх проліферативної здатності, швидкості просування по циклу, часу

перебування в стані, властивому стовбурним клітинам. Ці параметри регулюються позиційною інформацією, установленням визначеного градієнта концентрації фітогормонів. Уперше при дії опромінення на популяції одноклітинних водоростей удалося побачити й описати загальні закономірності поведження багатоклітинних систем. Ці закономірності в наступному були підтверджені в дослідженнях на постійно оновлюваних тканинах, – меристемах вищих рослин і пухлинних тканин. Можна вважати, що сучасна теорія клітинної кінетики виходить із положень, розроблених радіобіологією рослин, які розкрили закономірності поведження меристеми при опроміненні. У цьому виявилася щедрість радіобіології як науки, що збагатила новими знаннями провідний напрямок сучасної цитології. Морфологічний опис клітинних популяцій знайшов свою динамічну сутність. Наповнилися вмістом такі поняття, як асинхронність клітинних розподілів, наявність клітин поза циклом, спочиваючого центра в апексі та ін.

Радіобіологічні дослідження пошкодження клітини у різні фази циклу в певній мірі наблизили біологів до розуміння характеру змін стану хроматину в ході підготовки клітин до мітозу, реплікації ДНК, детермінації, диференціації. Такі фундаментальні поняття сучасної цитології, як, наприклад, «клітини поза циклом», «спочиваючий центр» меристеми та ряд інших, виникли з радіобіологічних досліджень.

Для пояснення способів, за допомогою яких досягається поведження клітинної популяції як єдиної системи, що визначає кінетику розподілу й переходу до диференціації, було сформульоване припущення про міжклітинні взаємодії. Це поняття – міжклітинні взаємодії – займає центральне положення в ряді проблем загальнобіологічного значення.

Багато із напрямків сучасної цитології, одержавши свій початок у радіобіологічних дослідженнях, розвиваються самостійно в рамках своєї науки, здобуваючи з часом направлення, яке уже не пов'язане з вихідною радіобіологічною сутністю первинно побаченої реакції клітини або багатоклітинної системи на дію іонізуючої радіації.

Інтегральні функції рослини. Радіобіологія внесла багато корисного в розуміння процесів становлення інтегральних функцій рослинного організму. Насправді, первинні процеси променевого ушкодження займають молекули й найпростіші надмолекулярні структури клітини, у той час як реєстрована реакція, як правило, відноситься до інтегральних функцій клітин або багатоклітинних систем. При цьому реєстрована реакція проявляється як досить віддалений ефект опромінення організму. Радіобіологія простежує шлях формування такої реакції, у чому власне, і розкривається сутність інтеграції швидких елементарних процесів до рівня складної фізіологічної структури з іншими часовими параметрами. Саме таке підсумовування реакцій, часові характеристики яких обчислюються в малих долях секунди, у повільні процеси, які тривають часом багато років, властиве інтегральним фізіологічним функціям.

Радіобіологічні дослідження привели до чіткої постановки загального завдання біології, вміст якого зводиться до з'ясування шляхів інтеграції

окремих молекулярних і біохімічних реакцій у загальні фізіологічні функції, до вирішення питання про те, як із стохастичних подій формуються строго детерміністські, нестохастичні у своєму проявленні реакції організму, виявлення яких служить здійсненню певної життєвої стратегії виду.

Самозбирання надмолекулярних структур. Досить істотний внесок радіобіології у вивчення самозбирання надмолекулярних структур клітини. Так, із установленням ролі самозбирання хроматину, мембран та інших надмолекулярних структур у молекулярному відборі стало очевидним значення молекулярного дізнавання й відбору в підтримці функціонально повноцінних ультраструктур не тільки при радіаційних навантаженнях або дії інших факторів стресової виразності, але й у нормі, коли в результаті спонтанних перекичувань біосинтезу макромолекул молекулярний відбір дозволяє забезпечувати безперебійну роботу систем клітини. За допомогою іонізуючих випромінювань удалося на прикладі хроматину і біологічних мембран досліджувати кінетичні характеристики, що безперервно проходять процеси самозбирання у клітинах, молекулярного відбору, елімінації ушкоджених ультраструктур.

Радіобіологія рослин і загальна генетика. Радіобіологія відіграє важливу роль у розвитку загальної генетики. І справа тут не тільки в тому, що іонізуюче випромінювання є одним з факторів експериментального мутагенезу, а в розвитку уявлень про механізми утворення мутацій, функціонування систем генетичної корекції, репарації ДНК і помилкової репарації. Радіобіологія зробила й продовжує робити на загальну й молекулярну генетику глибокий вплив, особливо в області з'ясування механізмів генетичної рекомбінації, корекції генетичних керуючих систем клітини й мутагенезу. У зв'язку з цим досить згадати про встановлений Говардом-Фландерсом зв'язок між репарацією й генетичною рекомбінацією, а також величезний матеріал радіобіологічних дослідів, в яких показане значення помилок у функціонуванні систем репарації та реплікації ДНК у становленні мутацій. Особливо часто реалізуються в мутації помилки пострепликативної репарації. У результаті помилкової репарації виникають як генні мутації, так і аберації хромосом. Які із трьох основних молекулярно-генетичних процесів - реплікація, репарація або рекомбінація - ведуть до утворення мутації, залишається ще не цілком з'ясованим. У розробці загальної теорії мутацій радіобіологічний підхід продовжує відігравати провідну роль, в зв'язку з чим важко провести границю між молекулярною радіобіологією і молекулярною генетикою.

Формування мутацій має пряме відношення до еволюції видів, тому що в основі накопичення матеріалу для природного відбору лежить утворення макро- у мікромутацій та їх накопичення і популяції. Закономірності цього процесу, який становить суть мінливості, з'ясовані в експериментах щодо дії радіації на організми, у зв'язку з чим не можна заперечувати істотного значення радіобіології в розвитку теорії еволюції. Власне кажучи, процеси, які в контрастній, майже гротескній, формі проявляються у функціях репараційних систем клітин, відбуваються в нормі як природний процес для

виду, який супроводжується певними темпами утворення мутацій, що відповідають фону «невизначеної мінливості».

В останні роки у зв'язку з переобтяженням навколишнього середовища факторами, дія яких може приводити до підвищення рівня мутагенезу, виникла проблема охорони генофонду планети від надлишкового навантаження генетичних змін. У вирішенні цієї гострої проблеми радіобіологія, безсумнівно, зіграє одну із провідних ролей.

Індуковані мутації в дослідженнях фізіологічних процесів рослини. Широка розмаїтість мутантів, одержаних при радіаційних впливах на рослини, насіння, пилки або органи вегетативного розмноження, представляють можливість знаходити форми рослин, які характеризуються дефектами тих або інших морфологічних, фізіологічних або біохімічних ознак. Оскільки будь-які ознаки рослини генетично детерміновані, використання відповідним чином підібраних мутацій є важливим способом вивчення регуляторних механізмів багатьох фізіологічних функцій.

До 1980 р. було описано близько 31000 мутацій близько 130 видів рослин, серед яких 11000 мутацій виділено у пшениці, 3400 - у рису, 4500 - у ячменю, 3200 - у сої [107]. Серед мутантів культурних рослин виділяються групи мутацій, дефектних в системах, пов'язаних з поглинанням мінеральних речовин та їхнім транспортом. Так, відомі мутації, які втратили здатність відновлювати іони заліза й транспортувати його в клітини, зі зниженою здатністю використовувати амонійну форму азоту, із загальмованим транспортом бора по стеблу рослини, зі зміненою солестійкістю. Виділення мутантів з різними рівнями нітратредуктази контрастними по вмісту білка у вегетативних органах. Великий інтерес представляють мутанти, які накопичують підвищену кількість фосфору при дуже малому вмісті цього елемента у ґрунті, зі зміненою морфологією кореневої системи, стійкістю до алюмінію, надлишку важких металів у живильних середовищах. Вивчення цих мутацій дозволяє виявити можливість одержання «живильних» мутантів сільськогосподарських рослин, які будуть відрізнятися істотними перевагами в порівнянні з розповсюдженими сортами.

Не менш перспективні дослідження мутацій, у яких змінений фотосинтетичний апарат. Хлорофільні мутації виявилися дуже корисними у вивченні функціонування пігментної системи рослин. Виділено ряд мутантів, дефектних по кожному з компонентів електронтранспортного ланцюга фотосистеми I й II хлоропластів, з порушеною ультра тонкою структурою цих органел. Відомі мутації кукурудзи, у яких інтенсивність фотосинтезу на 200 % вище, ніж у вихідної форми. Причини настільки збільшеної фотосинтетичної продуктивності обумовлені особливостями організації макроструктури фотосинтетичного апарата – листової поверхні, зміненим кутом між листовою пластинкою і стеблом, темпами старіння та вмістом хлорофілу у листках. У деяких рослин підвищена фотосинтетична продуктивність обумовлена змінами ультрамікроструктури тилакоїдних мембран.

Цікаві спроби виділити мутанти зі зміненою інтенсивністю фотодихання, зі збільшеною силою «стоку», обумовленою активністю відтоку фотоасимілятів до атрагованих органів. Певні перспективи в з'ясуванні ролі фотодихання в життєдіяльності рослини пов'язують із мутантними формами, у яких порушена «Кранц-анатомія» листка при збереженні C-4 шляхів фотосинтезу. Зокрема, інтерес для практики представляє мутація, у якої по-різному виражається проміжний C-3/C-4 тип фотосинтезу при відсутності «Кранц-синдрому».

Вивчення мутантів виявилось корисним і при розкритті закономірностей якісної і кількісної генетики, зокрема при вивченні механізмів дозування генів.

Іноді в мутаціях упізнаються риси предків даного виду рослини; їхнє вивчення сприяє розвитку таксономічної і еволюційної генетики. Дослідження мутантів рослин зі зміненою стійкістю до фітопатогенів збагачує новими ідеями фітопатологію.

Надійність біологічних систем. Як ми бачили, рослини, тварини, мікроорганізми мають спеціальні системи, які здатні усувати наслідки молекулярних ушкоджень, нанесених поглиненою енергією іонізуючої радіації. При цьому системи відновлення представляють собою досить непрості комплекси ферментів і механізми, які забезпечують упорядковане функціонування цих комплексів. Однак у природі вже дуже давно іонізуючі випромінювання не досягають такої інтенсивності, щоб виявитися провідним фактором негативного впливу на клітини. Як же в ході еволюції могли сформуватися системи захисту від фактора, практично дуже слабо діючого у звичайних умовах перебування рослин? Очевидно системи репарації, які спостерігаються при сильному опроміненні клітин, неспецифічні відносно діючого фактора. Їхнє виникнення обумовлене тією роллю, яку вони виконують у клітинах – корекцією молекулярних ушкоджень, які спонтанно виникають у геномі клітин або індукованих дією звичайних факторів зовнішнього середовища – тепла, деяких хімічних агентів, які можуть досягати стресових напруженостей або концентрацій. Ідея про неспецифічний характер систем пострадіаційного відновлення привела до подань, які склалися в теорію надійності біологічних систем. Під надійністю рослини, як і будь-якої біосистеми, мають на увазі його здатність безвідмовно функціонувати в заданих умовах існування протягом періоду, достатнього для повного завершення життєвого циклу та виконання властивої даному організму репродуктивної функції.

Багато фактів з області радіобіології рослин показують, що ліквідацію відмов систем клітин і тканин, які неминуче виникають в організмі в нормі й більшою мірою при опроміненні, здійснюють особливі системи, які одержали назву систем надійності організму. До систем надійності відносяться ферменти фотореактивації клітин, система темпової репарації ДНК, самозбирання надмолекулярних асоціатів з елімінацією ушкоджених молекул. До цих же систем можна віднести гальмування клітинних поділів,

вихід клітин із циклу, асинхронізацію клітинних поділів, репопуляцію, регенерацію та інші способи відновлення рослини від ушкодження.

Розвиток уявлень про системи надійності рослинної клітини й багатоклітинного організму відрізняється певною евристичністю, оскільки багато механізмів адаптації здійснюються шляхом особистої участі систем надійності. Як приклад можна привести факти, які свідчать про те, що у високогірних рослин адаптація до підвищеної інтенсивності Уф-променів відбувається шляхом посилення активності репараційних систем клітини, що продемонстровано при порівняльному аналізі репараційних систем пилку в рослин високогір'я та низин.

Уявлення про системи надійності та їхньому функціонуванні в ході онтогенезу приводять до збагачення поглядів на природу старіння [18].

Розвиток теорії надійності супроводжується систематизацією знань про природу стійкості організмів до дії різних факторів, про причини варіювання життєздатності залежно від умов життя та періоду онтогенезу.

У багатьох напрямках сучасна радіобіологія торкнулася, на перший погляд далеких від неї, ряду напрямків сучасної біології, збагачуючи її новими поглядами, методичними підходами до рішення завдань загального вмісту. Так, на основі радіобіології виникла теорія надійності біологічних систем, сформувалися уявлення про репарації ДНК та її значення в генетичних процесах. Нові погляди й гіпотези проникли в цитологію, збагативши її ідеями про міжклітинні взаємодії, кінетику клітинних популяцій, позиційної інформації, пояснивши функціональне значення гетерогенності клітинних систем стовбурних тканин. Нові ідеї проникли з радіобіології в геронтологію, мембранологію, імунологію.

Рослина як об'єкт радіобіологічних досліджень зіграла важливу роль у рішенні всіх цих проблем загальної біології.

2. Дія іонізуючих випромінювань на сільськогосподарських тварин

2.1 Радіочутливість сільськогосподарських тварин

Радіочутливість організму тварини – здатність реагувати на вплив випромінювань – визначається генетично та конституційно обумовленими особливостями реактивності тварин. Для оцінки радіочутливості тварин прийнято використовувати $LD_{50/30}$ і $LD_{100/30}$ – дози опромінення, які викликають смерть відповідно 50 й 100 % тварин протягом 30 діб. Половинна $LD_{50/30}$ приводить до смерті тільки 5 %, а подвоєна напівлетальна доза опромінення супроводжується загибеллю 95 % поголів'я. Діапазон $LD_{50/30}$ для різних видів сільськогосподарських тварин порівняно невеликий і становить 1,25-3,9 Гр (табл. 2.1). Співвідношення поглиненої тканинної дози по середній лінії тварини й експозиційної дози, обмірюваної в цій же точці в повітрі, є залежним від розмірів тварини. У продуктивних тварин, які піддавались сильному рентгенівському або γ -опроміненню, цей показник для свиней дорівнює 0,60-0,68, для овець 0,58-0,63 і для великої рогатої худоби і ослів 0,40-0,50.

Таблиця 2.1 – Напівлетальні дози γ - випромінювань для сільськогосподарських тварин

Вид тварини	Потужність	$LD_{50/30}$		Середня тривалість життя, доба
		Доза у повітрі по середній лінії тварини, Р	Тканинна поглинена доза, Гр	
Велика рогата худоба	0,9-6,6	200-543	1,25-1,60	20
Вівці	250-500	276-352	1,47	-
Вівці	0,5-4,4	318-363	1,94	23
	0,033-0,06	495-637	3,0-3,9	20
Кози	1,3-7,5	395-550	2,4-3,5	27
Свині	10-50	313-450	1,4-2,7	35
Осли	0,4-0,8	620-770	2,8-2,9	46
Коні	1,5	400	1,6	-
Птахи дорослі	1,5	1100	-	-

ЛД₅₀ є функцією потужності дози: чим більше потужність дози, тим, як правило, менше ЛД₅₀). Для овець ЛД₅₀ збільшується в 2 рази при продовженні опромінення від декількох хвилин до 96 год. У межах потужностей дози 30-600 Р/год. ЛД₅₀ поступово лінійно зростає приблизно на 17 Р при зменшенні потужності дози на кожні 100 Р/год., а кожні 100 год. збільшення тривалості опромінення напівлетальна доза зростає на 43 %. Для свиней ЛД_{50/30} при γ -опроміненні з потужністю дози 60 Р/год. становить 600 Р, а при збільшенні потужності дози до 500-700 Р/хв – 330 Р.

Радіочутливість залежить від віку сільськогосподарських тварин. Телята радіочутливіші дорослих тварин в 2 рази. ЛД₅₀ для новонароджених ягнят дорівнює 900 Р, тоді як для овець вона становить 330-360 Р. Для 6-24-х місячних ягнят ЛД_{50/60} практично однакова й близька до ЛД_{50/60} у дорослих тварин. Для поросят ЛД_{50/30} становить 375 Р і не відрізняється від ЛД_{50/30} у дорослих свиней. Очевидно, є видові особливості радіочутливості молодняку залежно від строку підсосного періоду, протягом якого міняється загальна резистентність молодого організму.

Радіочутливість самок і самців порівнювали в дослідах із хронічним опроміненням. У кіз при щоденній дозі опромінення 0,015 Гр середня тривалість життя і ЛД₅₀ становлять відповідно 161 добу і 24,15 Гр, а у козлів – 240 діб і 36,0 Гр. При більш високих потужностях доз (0,03 і 0,04 Гр/доба) розходження були виражені слабкіше. Тривалість життя після опромінення і ЛД₅₀ збільшується, якщо виключається дія мікрофлори організму. Наприклад, у звичайних поросят ЛД_{50/30} дорівнює 287 Р, а в гнотобіонтів – 337 Р. Середня тривалість життя у безмікробних поросят при дозах опромінення 300 Р і більше на 7 діб довше, при менших же дозах опромінення розходжень не виявлено.

Результат радіаційного ураження у різних видів сільськогосподарських тварин тісно пов'язаний з характерною для кожного з них інтенсивністю пострадіаційного відновлення. ЛД₅₀ для овець приблизно на 100 Р нижче, ніж для свиней. При протрагуванні опромінення (потужність дози 4Р/ч) ЛД_{50/60} для овець становить 470 Р, а для свиней перевищує 2000 Р; розходження в радіочутливості цих видів тварин у порівнянні з гострим опроміненням досягають для овець 2-кратної величини, тоді як для свиней - 4-кратної. Після гострого опромінення 50 %-не відновлення відзначається у свиней приблизно на 3-й добі, а в овець через 13 діб. В опромінених ослів через 60 діб відбувається відновлення на 48 %, а через 90 діб – на 85 %.

2.2 Молекулярно-клітинні аспекти дії випромінювань на сільськогосподарські тварини

Відповідно до загальбіологічних положень найменшими морфологічними елементами, у яких можуть бути виявлені летальні

ушкодження при опроміненні ссавців, включаючи й сільськогосподарських тварин, є клітинні структури. Виявлені в клітках опроміненого організму біологічні ефекти підрозділяються на дві групи: стохастичні і нестохастичні. Стохастичні реакції спостерігаються в окремих клітинах органів, що опромінюються, або тканинах, і частка цих клітин збільшується в міру зростання дози. Стохастичні ефекти визнаються безпороговими і тому можуть спостерігатися в окремих клітинах тварин після мінімальних доз опромінення. Для нестохастичних реакцій зі збільшенням дози опромінення зростає ступінь прояву дії випромінювань і є гранична доза, нижче якої зміни відсутні. До числа стохастичних ефектів, зокрема, відносять: 1) репродуктивну загибель клітини; 2) виникнення генних мутацій; 3) поява хромосомних аберацій; 4) злоякісну трансформацію клітин.

Прикладами нестохастичних реакцій у клітинах опромінених тварин є: 1) радіаційна затримка й стимуляція розподілу клітин; 2) гноблення синтезу ряду речовин, процесів дихання і окисного фосфорилування; 3) пострадіаційне руйнування ДНК, яке викликає інтерфазну загибель клітин; 4) зміна проникності та інших функцій біологічних мембран; 5) порушення обміну Ca, регуляції метаболічних процесів циклічними нуклеотидами та функціонування ферментативних систем.

Кінцевими радіобіологічними ефектами на клітинному рівні при опроміненні тварин летальними або сублетальними дозами є загибель клітин, виживання клітин при наявності порушення структурно-функціонального стану (сублетальні ушкодження) або виживання клітин без проявів відхилень від фізіологічної норми (приховані або латентні, ушкодження). Радіаційна загибель клітин є стохастичним процесом, і вона в більшості випадків визначає характер біологічних проявів в опромінених тварин.

При опроміненні організму енергія випромінювання поглинається структурними компонентами клітин (макромолекули, H_2O , метаболіти), приводячи до виникнення збуджених та іонізованих станів молекул із тривалістю існування 10^{-16} - 10^{-13} с. Протягом наступної стадії із тривалістю 10^{-13} - 10^{-10} с. відбувається утворення активних форм радикалів та іонів. Завершальною стадією прямої дії випромінювання на біоструктури є взаємодія іонів і радикалів, які утворилися, один з одним і з інтактними молекулами. Ця стадія триває 10^{-6} - 10^{-3} с. та індукує формування різних структурних ушкоджень макромолекул у клітині. Важливу роль у розвитку ушкодження клітинних структур грають радикальні форми H_2O [53].

Стадія непрямої (опосередкованої) дії опромінення може тривати від декількох секунд до декількох тижнів і місяців. Початковим етапом цієї стадії є формування первинних ушкоджень у критичних структурах, або "мішенях" радіаційної ушкодження клітин. Найбільше радіочутливою структурою в клітині вважається ядро, а найменш радіорезистентною макромолекулою – ДНК. Первинною мішенню радіаційної поразки в клітині служить молекула ДНК. Одночасно передбачається, що первинне ушкодження може бути пов'язане із впливом випромінювання на мембранні структури клітини [66]. Важлива роль у розвитку радіаційної поразки клітин

приділяється порушенням процесів окисного фосфорилювання, білкового синтезу, індукції перекісного окислювання ліпідів, утворенню радіотоксинів, зміні функціонування ферментів і систем регуляції клітинного метаболізму (системи цАМФ і цГМФ). Вважається, що порушення ряду біохімічних процесів може підсилювати радіаційне ушкодження критичних структур клітини. Одночасно в опроміненій клітині активуються системи, залучені в процес відновлення ДНК і структури мембран. Запропонована А.М. Кузіним [54] структурно-метаболична теорія розглядає процес радіаційного ураження як інтерференцію безлічі порушень клітинних структур і реакцій обміну, результатами якої є загибель або виживання опроміненої клітини.

В організмі тварин фактично у всіх типах клітин присутні критичні радіочутливі структури, але по стійкості до випромінювань між клітинами різних органів і тканин спостерігаються істотні розходження. Така реакція клітин організму тварин на опромінення була встановлена вже в перших радіобіологічних роботах. Сформульований Бергонье і Трибондо в 1906 р. один з основних радіобіологічних постулатів говорить, що тканина або орган тим більше радіочутливі, чим більше недиференційованими морфологічно й фізіологічно є утворюючі їх клітини, чим активніше вони мітотичні і чим довше залишаються в активній стадії проліферації або клітинного розподілу. Відповідно до цього правила в організмі сільськогосподарських тварин та інших ссавців до числа найбільше радіочутливих відносяться слабодиференційовані клітини кісткового мозку та крипт кишечника, епідермальні клітини, низькодиференційовані клітини слизової шлунка, клітини ростової зони кришталика ока і головного мозку, нейробласти спинного мозку, ембріональні клітини, сперматогонії та ооцити. Групу найбільш стійких до дії випромінювання клітин організму тварин становлять непроліферовані зрілі клітини печінки і м'язів, нейрони головного й спинного мозку, еритроцити. Загибель радіочутливих клітин спостерігається після опромінення тварин у дозах 0,1-4,0 Гр, тоді як летальне ушкодження радіорезистентних клітин відбувається при дозах 10-100 Гр. Виключення із правила Бергонье - Трибондо представляють лімфоцити тимусу (вилочкової залози) і периферичної крові. Помітна загибель лімфоцитів, які відносяться до диференційованих і практично неподільних клітин, відзначається при дозах опромінення більше 0,25 Гр. Характерною рисою реакції лімфоцитів є приблизно однакова радіочутливість при опроміненні *in vivo* та *in vitro*.

Виділяють 3 форми радіаційної загибелі клітин: репродуктивну загибель клітин; інтерфазну загибель високорадіочутливих клітин, наприклад лімфоїдної тканини тварин; інтерфазну загибель радіочутливих клітин при більших дозах опромінення.

Викликані опроміненням двониткові розриви молекули ДНК є одним з найбільш імовірних механізмів репродуктивної загибелі клітин. Для опису експериментальних дозових кривих виживання клітин розроблено ряд математичних моделей, заснованих на принципі попадання в критичні структури - молекули ДНК.

Характерною рисою феномена інтерфазної загибелі опромінених клітин є наростання ушкодження та наявність порога радіочутливості, вище якого розвиток летального ушкодження не залежить від дози. Класичним прикладом інтерфазної загибелі клітин в організмі тварин є швидке зменшення кількості лімфоцитів у периферичній крові після опромінення. Точний механізм інтерфазної загибелі опромінених клітин не встановлений. Існують два принципово різних підходи при розгляді можливих молекулярних механізмів інтерфазної загибелі клітин в опроміненому організмі тварин. Перший виходить із уявлення про вирішальну роль ураження множинних клітинних структур і пов'язаних із цим пригніченням або дезінтеграцією процесів метаболізму, а другий заснований на постулаті первинності структурних ушкоджень ДНК у радіаційних ефектах.

Таблиця 2.2 – Включення ^{45}Ca в різні органи і тканини пацюків, опромінених у дозі 900 Р (вхід ^{45}Ca в тканині неопромінених тварин прийнятий за 100 %)

Строк досліджень, годин	Радіочутливі клітини				Радіорезистентні клітини	
	Тимус	Кістковий мозок	Кишечник	Серце	М'язи	Головний мозок
0,5-1,5	174	180	176	98	118	82
2,5-3,5	190	259	141	109	113	89
24-25	243	430	178	132	133	109
3-и доби	132	416	415	143	140	96

Відповідно до цієї гіпотези при опроміненні тварин більш інтенсивне накопичення Ca^{2+} відзначається в клітинах радіочутливих органів і тканин. За даними С. П. Гроздова [17], у перші 3 доби після опромінення пацюків у дозі 900 Р вміст Са у тимусі і селезінці зростає в 2-6 рази, тоді як у печінці воно фактично не змінюється. Включення ^{45}Ca різко підвищується в тимусі, кістковому мозку, селезінці та кишечнику опромінених пацюків і слабо змінюється у відносно радіорезистентній тканині серця, м'язів і головного мозку (табл. 2.2). При опроміненні овець у дозі 400 Р рівень Са в лімфоцитах периферичної крові підвищується більш ніж в 2 рази в перші 15 діб (табл. 2.3).

У той же час у більш радіорезистентних тромбоцитах після опромінення як овець, так і пацюків відзначається тільки тенденція до підвищення вмісту внутрішньоклітинного Са. У нормі концентрація іонізованого Ca^{2+} , у позаклітинних рідинах тварин становить близько 10^{-3} М, що в 10^3 - 10^4 рази вище, ніж у цитоплазмі клітин. У початковий період опромінення овець спостерігається підвищення концентрації іонізованого Ca^{2+} і швидкості входу ^{45}Ca в еритроцити, тому порушення внутрішньоклітинного Са-балансу, поряд з ушкодженням ДНК може бути

важливою детермінантною загибелі клітин в організмі тварин при гострій променевій патології.

Таблиця 2.3 – Зміна показників Са-обміну в клітинах крові опромінених овець (доза 400 Р) і пацюків (доза 640 Р)

Строк досліджень, доба	Загальний вміст Са			Еритроцити овець	
	Лімфоцити овець, 10^{-15} г/клітина	Тромбоцити овець, мкг/мг·білка	Тромбоцити пацюків мкг/мг·білка	Концентрація Ca^{2+} у цитоплазмі, нмоль/л	Швидкість входу ^{45}Ca в присутності 4мМ Na_3VO_4 , мкмоль/хв/л еритроцитів
До опромінення	53±1,75	2,48±0,30	1,29±0,09	51±5,6	1,23±0,04
0,5				79,3±2,9	0,26±0,01
1	108,8±31,8	-	-	113±13,0	0,37±0,03
3	70,5±6,8	2,70±0,20	-	50,2±1,4	0,36±0,09
5				51,2±1,7	0,31±0,05
7	129,0±12,6	2,43±0,26	1,79±0,11	81,1±5,2	0,53±0,05
10				59,0±4,2	0,19±0,02
15	110,2	3,31±0,17	1,40±0,06		

Молекула ДНК, очевидно, не є єдиною мішенню радіаційної дії на клітини. Іншою найбільш імовірної мішенню в цей час розглядаються мембранні системи клітин. При дії на тварин ушкоджуючих факторів різної природи (віруси, хімічні агенти, випромінювання, токсини) у всіх випадках у клітинах організму, які гинуть, спостерігається однакова картина морфологічних змін, означена як коагулятивний некроз. Як універсальний механізм загибелі летально ушкоджених клітин Дж. Л. Фарбер [103] розглядає порушення проникності мембрани та накопичення Ca^{2+} у клітинах. Передбачається, що надлишок Ca^{2+} може виступати як першопричина клітинної загибелі, тому що незбалансоване надходження Ca^{2+} в ушкоджені клітини викликає розвиток необоротних змін структури білків і ДНК.

В умовах хронічного опромінення тварин у порівнянні з гострим радіаційним впливом більшість ефектів носить менш виражений характер. Однією із причин є більш ефективне функціонування клітинних систем репарації (відновлення ушкоджень) при пролонгованих радіаційних впливах. Однак відповідна реакція тварин і розвиток патологічного стану організму як при хронічному, так і при гострому опроміненні також пов'язані із процесами загибелі клітин і порушеннями їхньої функціональної активності. Тому реакцію клітин можна розглядати як основу радіаційних ефектів на органотканевому та організменому рівнях при опроміненні сільськогосподарських тварин.

2.3 Дія випромінювань на організм тварин

Види радіаційної патології у сільськогосподарських тварин. За клінічним проявленням, характером протікання та результатом захворювання розрізняють гостру та хронічну променевою хворобу. При короткочасному опроміненні в великих дозах розвивається гостра променевою хвороба, наприклад, в результаті загального зовнішнього γ -опромінення. При опроміненні організму невеликими дозами, але такими, які впливають постійно, наприклад, при інкорпоруванні радіонуклідів у досить великих кількостях, може розвиватися хронічна променевою хвороба.

За особливостями періодизації й клінічної окресленості патологічних процесів, що розвиваються в опроміненому організмі, виділяють три основні форми гострої променевої хвороби: церебральну, кишкову та кісткомозкову. При церебральній формі гострої променевої хвороби, коли переважно уражається центральна нервова система, тварина гине в момент опромінення в дозі декількох сотень Грей або через кілька годин після нього майже без прояву яких-небудь ознак хвороби. Кишкова форма гострої променевої хвороби виникає після однократного опромінення в дозах від 10-100 Гр і більше. Висока ураженість кишечника пов'язана зі швидкою зміною клітин кишкового епітелію. Опромінення припиняє мітози в криптах, злущування ж старих клітин триває в колишньому темпі, це приводить до спустошливих руйнувань епітелію, тому що різко порушується рівновага між фізіологічними змінами і регенерацією клітин.

Менші дози опромінення (до 10 Гр) приводять до кісткомозкової форми хвороби, коли в основному уражається кровотворна тканина. У цьому випадку опромінення всього тіла в дозах 0,5-1,0 Гр стає небезпечним, хоча тварини здаються клінічно здоровими.

Ураження тварин при дії α - і β - випромінювань. Зовнішня контактна дія α - і β - випромінювань у сільськогосподарських тварин можлива при влученні радіонуклідів на шкірні покриви тварин. При цьому енергія випромінювань поглинається поверхневими шарами тканин, викликаючи специфічні ураження шкіри та слизових оболонок - так названі променеві опіки. Променеві опіки на відміну від термічних малоболісні або зовсім безболісні, зміни виникають поступово, а процеси відновлення (загоєння) протікають повільно. Променеві опіки розвиваються в першу чергу в місцях ніжних і слабо захищених волоссяним покривом ділянок шкіри (область полових органів, вимені, згинальної поверхні суглобів, міжкопитної щілини та ін.). У патологічному процесі, пов'язаному із променевими опіками, виділяють 4 періоди - первинної реакції, прихованої, гострої запальної реакції та відновлення. По реакції величини ураження розрізняють 4 ступеня: легку (при дозі 5 Гр), середню (5-10 Гр), важку (10-30 Гр) і вкрай важку (близько 30 Гр).

Можливо й сукупне радіаційне ураження тварин, коли, крім загального зовнішнього γ -опромінення, радіонукліди можуть надходити усередину організму з пасовищною травою (внутрішнє опромінення). Променева хвороба, яка при цьому розвивається, може також мати 4 ступеня важкості. Комбіновані радіаційні ураження можуть виникнути при обтяженні гострої променевої хвороби травмами та опіками.

Гостра променева хвороба. У розвитку й протіканні гострої променевої хвороби виділяють 4 періоди: 1) початковий, або період первинних реакцій; 2) латентний, або прихований (період гаданого благополуччя); 3) період виражених клінічних ознак, або період розпалу хвороби; 4) період відновлення з повним або частковим видужуванням. Середній ступінь

Легкий ступінь променевої хвороби звичайно протікає без видимих клінічних симптомів, можливо невелике зменшення концентрації лейкоцитів у крові.

Середній ступінь променевої хвороби характеризується швидко минаючою первинною реакцією. Латентний період триває більше 10 діб. У розпал променевої хвороби на слизових оболонках з'являються крововиливи, спостерігаються короткочасні діареї з невеликою домішкою крові й слизу в калі. Лейкопенія розвивається поступово і буває неглибокою. Можлива загибель до 20 % уражених тварин в основному в результаті ускладнень, найчастіше з боку органів дихання і ШКТ.

При важкому ступені променевої хвороби первинна реакція проявляється через кілька годин після опромінення й триває до 2-3 діб. Уже в першому періоді спостерігаються зміни клітинного складу периферичної крові, відзначається короткочасний лейкоцитоз, після чого відразу ж настає лейкопенія. Триває латентний період 3-10 діб. У цей час тварини виглядають зовні здоровими, однак вони починають втрачати масу, у периферичній крові різко зменшується кількість лейкоцитів, у кістковому мозку виявляється початкова гіпоплазія всіх паростків кровотворення. В період розпалу променевої хвороби, що триває від 2 до 4 тижнів, тварини стають млявими, слабо реагують на зовнішні подразники, відмовляються від корму, худнуть. Температура тіла періодично підвищується, виникає лихоманка ремітованого або постійного типу. Шкіра втрачає еластичність і стає сухою. На слизоватих оболонках з'являються крововиливи. Через набряк носоглотки й гортані, а також виникнення запальних процесів у легеневій тканині утрудняється дихання і з'являється задишка. Відзначається катарально-геморагічне запалення слизуватої оболонки шлунка й кишечника, супроводжуване звичайно поносами, частіше з домішкою крові в калі. Спостерігаються кровотечі з носа і ясен. Послідовність розвитку ознак хвороби може варіювати. Одним з важливих показників променевої хвороби в цей період є ступінь гноблення гемопоезу і зниження кількості лейкоцитів у периферичній крові. У тих випадках, коли тварина не гине в розпал променевої хвороби, починається 4-й період - видужування, яке триває місяцями і навіть роками.

При вкрай важкому ступені захворювання протікає дуже бурхливо, тривалість періодів променевої хвороби сильно скорочена. Хвороба триває 5-12 діб і тварина гине, при цьому спостерігається серцево-судинна недостатність.

Особливості патогенезу гострої променевої хвороби у різних видів сільськогосподарських тварин. Променева хвороба у сільськогосподарських тварин в основному протікає в подібній формі, однак LD_{50} , а також клінічне протікання та середня тривалість життя в різних видів можуть помітно варіювати (див. табл. 2.1).

Велика рогата худоба. При опроміненні в дозі $LD_{50/30}$ і більше протягом першої доби спостерігаються порушення й тремтіння. Характерною ознакою променевого ураження тварин є ознаки молочної лихоманки, травматичного ретикуліну, тимпаніту та ін. В опроміненіх тварин порушується дихання, причому спочатку воно стає частим, поверхневим, з різкими звуками. Нерідко розвивається набряк легенів, гортані та глотки. Втрата маси за 30 діб хвороби у тварин, що вижили, досягає 10 %. Процес видужування звичайно починається через 30-40 діб після опромінення. Найбільш характерними патоморфологічними змінами є геморагічний діатез, пневмонія, атрофія лімфоїдної тканини й кровотворного кісткового мозку, виразки слизуватої оболонки ШКТ.

Коні. Загальний стан коней після опромінення в дозах $LD_{50/30}$ в період первинних реакцій перші 2-3 доби характеризується підвищеною збудливістю, появою судорожних посмикувань голови, хвоста та кінцівок. У період розпаду променевої хвороби з'являються набряки кінцівок, виразки й крововиливи на шкірі та слизуватих оболонках. Дихання утруднене через набряк легенів, можливі симптоми, характерні для енцефаломієліта. Типовими є поразки очей - кон'юнктивіти, кератити, помутніння й виразки роговиці.

Вівці і кози. Характерними ознаками променевої поразки при опроміненні в дозах $LD_{50/30}$ і більше є хворобливість шкіри і випадання вовни (епіляція). Оголені ділянки шкіри гіперемійовані, із крапковими й дифузійними крововиливами. Починаючи з 3-5-ої доби після опромінення з'являється серозний риніт, розладжується функція ШКТ, відзначаються розрідження калу, діарея з домішкою слизу і нерідко крові.

Свині. Після опромінення в дозі $LD_{50/30}$ і більше спостерігається блювота. Скритий період короткий. До 10-ої доби виникають ознаки розпаду хвороби - крововилив на шкірі, кровотеча з носа, кров'янистий кал. Нерідко тварини гинуть з ознаками повного знекровлювання внаслідок кровотеч.

Кури. Ранніми ознаками поразки є тремтіння голови, пригнічення, сонний стан, набряк гребінців і сережок, кал зеленуватих кольорів і розріджений. Загибель тварин починається з 5-7-ої доби після опромінення.

Хронічна променева хвороба. Виділяють 3 ступеня важкості хронічної променевої хвороби: легку, середню і важку.

Легкий ступінь хронічної променевої хвороби характеризується нерізко вираженими функціональними порушеннями органів і систем. Спрямованість цих змін може бути як у бік зниження, так і у бік посилення функцій.

При середньому ступені хронічної променевої хвороби відзначаються ознаки морфологічного ушкодження найбільш радіочутливих тканин – гіпоплазія кісткового мозку з ознаками стійкої помірної лейко- і тромбоцитопенії.

При важкому ступені хронічної променевої хвороби спостерігаються виражена гіпоплазія кісткового мозку, різка лейко- і тромбоцитопенія, анемія, дистрофічні зміни в органах та інфекційні ускладнення.

Хронічна променева хвороба розвивається у великої рогатої худоби після однократного введення ^{131}I у концентрації $(0,9-2) \cdot 10^9$ Бк/кг маси тварини, перорального введення протягом 8 років ^{90}Sr у концентрації $7,4 \cdot 10^6$ Бк/кг маси тварини, при разовому введенні радіоактивних продуктів розпаду 10-ти годинного віку в кількості $(1-2) \cdot 10^{11}$ Бк на одну тварину. Хвороба при цьому характеризується вираженим гіпотиреозом і безперервним падінням молочної продуктивності. Так, у другій лактації молочна продуктивність знижується на 50-70 %, а в третій – в 3-7 разів.

Однією з яскравих ознак хвороби є зміни в кровотворній системі: знижується вміст гемоглобіну і лейкоцитів при збереженні на колишньому рівні кількості тромбоцитів.

У овець хронічна променева хвороба розвивається при однократному введенні з кормом ^{131}I у кількості $7,4 \cdot 10^7 \dots 1,85 \cdot 10^8$ Бк розраховуючи на одну тварину або при надходженні цього радіонукліда протягом 4 років по $(5-8) \cdot 10^6$ Бк/доба. Хронічну променеву хворобу у овець викликає разове введення всередину ^{90}Sr у кількості $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг маси тварини, а також багаторазове вживання його по $1 \cdot 10^8$ Бк/кг маси тварини протягом 3-х місяців або по $7,4 \cdot 10^3$ Бк/кг маси тварини протягом 8 років. Клінічна картина хронічної променевої хвороби у овець і корів аналогічна.

Радіаційна патологія при внутрішньому опроміненні тварин. Характер і ступінь ураження сільськогосподарських тварин від інкорпорованих радіонуклідів залежать від багатьох факторів: фізико-хімічних властивостей радіонуклідів, які визначають їхній метаболізм в організмі тварин; шляхи надходження радіоактивних речовин; кількості радіонуклідів, що надійшли в організм; а також видових та індивідуальних особливостей тварин.

Радіоізотопи I відкладаються переважно у щитовидній залозі: в результаті прямої дії β - і γ випромінювання радіойоду порушується її структура та функції. Цей процес починається з першої доби після надходження радіойоду в організм і швидко розвивається, що приводить орган при високих поглинених дозах до повного руйнування через 5-10 діб. Клінічні ознаки гострої променевої хвороби виникають при введенні в організм тварин ^{131}I у кількостях від $2 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^5$ Бк/кг маси тварини та

більше. Зміни функції щитовидної залози тварин починаються при поглиненій дозі 20-50 Гр, а її руйнування при дозі 70 Гр і більше.

Остеотропні радіонукліди, такі, як ^{90}Sr , накопичуючись у кістковій тканині та тривалий час перебуваючи там, постійно опромінюють кістковий мозок, у зв'язку із чим зміни в кровотворних органах і крові є ведучими в патогенезі хвороби. Важкі ураження у дорослих овець спостерігаються при однократному надходженні ^{90}Sr у кількості $3,7 \cdot 10^7$ Бк/кг маси тварини, а також при надходженні в концентрації $7,4 \cdot 10^7$ Бк/кг маси тварини протягом 30 діб. У свиней гострий перебіг променевої хвороби спостерігається при введенні ^{90}Sr усередину протягом 3 місяців у дозі $1 \cdot 10^8$ Бк/доба, підгостре – при введенні протягом 9-10 місяців $2,3 \cdot 10^7$ Бк/доба. У овець гострий перебіг хвороби викликає однократне надходження ^{137}Cs з кормом у кількості $1,85 \cdot 10^8$ Бк/кг маси тварини. У овець і великої рогатої худоби при вмісті в організмі відповідно $2,5 \cdot 10^{11}$ і $1,85 \cdot 10^{14}$ Бк ^{137}Cs розраховуючи на одна тварину протягом 1 місяця розвиваються видимі ознаки променевого ураження, що нагадують ознаки радіаційного синдрому, який виникає при зовнішньому γ - опроміненні.

Бета-опіки шкіри. Радіоактивне забруднення шкірного покриву може викликати його ураження. Бета-опіки розвиваються раніше і протікають важче в місцях, де шкіра слабо захищена волоссяним покривом.

У розвитку бета-опіків розрізняють чотири періоди: первинної реакції; прихованої реакції; гострої запальної реакції та відновлення. По ступеню поразки розрізняють чотири типи: легку, при дозі до 5 Гр; середню, 5-10 Гр; важку, 10-30 Гр і вкрай важку, більше 30 Гр.

Перший період – первинної реакції – проявляється залежно від дози β - опромінення через кілька годин або доби після впливу й триває 2-3 доби. Найбільше яскраво він виражений у тварин слабо захищених волоссяним покривом, з депігментованою шкірою. Місця поразки гіперемійовані, набряклі, хворобливі та сверблять. Часто тварини ці місця розчісують, кусають зубами.

Другий період – прихований (латентний) – триває залежно від дози опромінення від декількох годин до 2 тижнів. Він характеризується підвищеною пітливістю й сверблячкою уражених ділянок.

Третій період – виражена запальна реакція шкіри. При легкому ступені поразки спостерігаються помірна еритема, а потім незначна епіляція й лущення поверхневих шарів епідерміса. При середньому ступені бета-опіку гостре запалення триває 3-4 тижні; відзначаються сильна хворобливість, гіперемія та набряк ушкодженої шкіри, розвиваються ерозії, підвищується температура тіла.

Важкий ступінь поразки характеризується різко вираженою болючою й запальною реакцією, гіперемією, набряком уражених ділянок шкіри. Іноді утворюються пухирі, подібні за зовнішнім виглядом з пухирями термічних опіків. Швидко з'являються ерозії та виразки. Одночасно розвиваються загальні клінічні зміни: підвищується температура тіла, збільшуються

регіонарні лімфатичні вузли, погіршується або втрачається апетит. У крові виявляють нейтрофільний лейкоцитоз, моноцитоз, еозинофілію, тромбоцитоз, ретикулоцитоз, зростає РОЕ. У сироватці крові зменшується кількість білків, ліпідів і збільшується вміст калію. Часто розвиваються ознаки загальної інтоксикації.

При вкрай важкому ступені бета-опіків всі ознаки гострого запалення й загальної реакції організму виражені найбільше сильно. Інтенсивно протікають глибокі гнійно-некротичні процеси, які ведуть до утворення виразок та є причиною тривалої інтоксикації й септичних станів організму.

Четвертий період – відновлення. При легкому ступені процес закінчується повним видужанням через 1-2 місяці, при середньому - через 3-4 місяці, але в уражених тварин ще тривалий час спостерігаються атрофія шкіри та підвищена болюча реакція. При важких ураженнях виразки гояться повільно, протягом декількох місяців або років за типом трофічних виразок з розростанням рубцевої тканини та розвитком гіперкератозу. Заново утворений епітеліальний покрив часто покривається виразками, з'являються рецидивуючі некрози. Можливі злоякісні переродження тканин.

2.4 Радіаційні ефекти в тканинах і органах тварин

Дія випромінювань на систему крові та кровотворення. Патологія кровотворення і пов'язана з нею депресія всіх клітинних елементів крові характерні для клінічного синдрому гострої променевої хвороби. При цьому гематоморфологічні зміни є однією з найважливіших патогенетичних ланок, у значній мірі це визначальний розвиток захворювання.

Ступінь зміни в кровотворних органах і крові перебуває в прямій залежності від дози опромінення. Малі дози радіації приводять до посилення кісткомозкового кровотворення. При цьому спостерігається підвищення кількості формених елементів крові (еритроцитів, лейкоцитів, тромбоцитів) та кількості гемоглобіну. Пригнічення кісткомозкового кровотворення в сільськогосподарських тварин настає при загальному зовнішньому опроміненні в дозі більше 100 Р. У цьому випадку відбуваються зменшення кількості клітин (лейкоцитів) у периферичній крові та зниження загальної кількості клітин у кісткомозговому пунктаті. У клітинах реєструються лізис, пікноз і гіперсегментоз ядер, вакуолізація ядра й протоплазми, поява гігантських гіперсегментованих гранулоцитів та ін. Змінюються розмір і форма еритроцитів. Ці процеси супроводжуються структурно-метаболічними порушеннями в самих клітинах: пригніченням біоенергетичних реакцій, порушенням іонного балансу, пригніченням синтезу ДНК, РНК і білків, посиленням розпадом нуклеотидів, деградацією ядерного хроматину. Фаза розпаду променевої хвороби характеризується сильною депресією лімфоцитів, помірним зменшенням кількості гранулоцитів, тромбоцитів і малою зміною кількості еритроцитів.

Еритроцити. У периферичній крові у опромінених в летальних дозах сільськогосподарських тварин кількість еритроцитів знижується. У порівнянні зі змінами вмісту інших формених елементів це зменшення є мінімальним. Наприклад, протягом 12 років були вивчені гемограми великої рогатої худоби, опроміненої в дозах 200-400 Р (одну групу опромінювали двічі дозами по 300 Р з інтервалом 8 тижнів між опроміненнями). Опромінення не відбилося на концентрації еритроцитів і гемоглобіну в клітинному об'ємі, а також на інших еритроцитарних показниках.

Лейкоцити. Зміна кількості лейкоцитів у периферичній крові є найпоширенішим показником, який характеризує порушення кровотворної функції організму при гострій променевій хворобі. Концентрація клітин білої крові після опромінення різко знижується, причому характер лейкопенії подібний у всіх видів ссавців. З розвитком лейкопенії істотно змінюється лейкоцитарна формула.

У корів, опромінених дозами від 450 до 700 Р, у першу добу після опромінення кількість лейкоцитів у крові зменшується до 30 % від початкового рівня, а найменша кількість лейкоцитів відзначається між 15 і 25-ою добою. Після максимальної депресії (на 3-ю добу після опромінення) вміст лімфоцитів у крові трохи підвищується і залишається майже постійним

до 25-ої доби. Навпроти, кількість агранулоцитів продовжує знижуватися, і їхній мінімальний рівень спостерігається між 15 і 25-ою добою.

При дії γ - випромінювання в дозах 300- 600 Р лейкопенія у овець до 5-ої доби після опромінення досягає 40-50 % початкової кількості клітин, а на 12-15-ю добу концентрація лейкоцитів не перевищує 20 % початкового значення. Так, при опроміненні дозою 300 Р кількість лейкоцитів зменшується з досягненням мінімуму (3,5-4 тис. клітин/мкл) на 5-15-у добу після опромінення, а при дозі 1000 Р – на 7-20-у добу. У овець, які гинуть, концентрація лейкоцитів становить 15 % початкового рівня.

Здатність до відновлення клітинного складу крові до початкового рівня в різних видів тварин неоднакова. У свиней при опроміненні дозою 270 Р півперіод відновлення лейкоцитів периферичної крові дорівнює 5,5 місяців, а у тварин, яких опромінюють через 4 місяці повторно, цей процес відбувається повільніше. У овець кількість лейкоцитів повертається до початкового рівня на 30-40-у добу при рентгенівському опроміненні дозою 300 Р і на 40-50-у добу – при дозі 1000 Р.

При γ - опроміненні великої рогатої худоби в дозах 200-400 Р і двократному опроміненні дозою 300 Р з інтервалом 8 тижнів гемограми через 5 років після опромінення у дослідних і контрольних тварин не розрізняються. Через 8 тижнів після повторного опромінення кількість тромбоцитів відновлюється дуже швидко, кількість гранулоцитів - помірковано, а рівень агранулоцитів – повільно. Через 1 рік після опромінення концентрація тромбоцитів і гранулоцитів у дослідних і контрольних тварин однакова, а кількість агранулоцитів – в опромінених тварин значно нижче. У термінальний період проявляються помірна гранулоцитопенія, абсолютний і відносний лімфоцитоз та анемія.

При внутрішньому надходженні ^{90}Sr хронічне опромінення корів при потужності дози на кістковий мозок 2,5-10,5 мГр/доба не має впливу на морфологічний склад крові. Надходження ^{90}Sr у кількості $3,7 \cdot 10^5$ Бк/кг маси тварини в день протягом 3-х місяців викликає лейкотромбоцитопенію, еритроцитопенію, гранулоцитоз та аплазію кісткового мозку у свиней. Концентрація тромбоцитів периферичної крові після впливу випромінювання менше піддається змінам, ніж клітинний склад "білої" крові.

Тяжкість і результат променевого ураження часто зв'язують із розвитком тромбоцитопенії, тому що кількість тромбоцитів впливає на виразність геморагічного синдрому гострої променевої хвороби. У великої рогатої худоби тромбоцитопенія відзначається з 7-ої доби після опромінення і протікає зі швидкістю 45 тис. пластинок/мкл·сут⁻¹. Мінімум концентрації тромбоцитів відзначається на 21-у добу після опромінення. У виживших після опромінення тварин і корів, які згодом загинули, швидкість падіння кількості тромбоцитів однакова, однак у тих клітин, які вижили, мінімальна концентрація у крові становить в середньому 4 тис. пластинок/мкл, а в загиблих вона падає до нуля.

У овець, опромінених дозою 300 Р, які вижили після цього, концентрація тромбоцитів залишається без змін, а в інших вона знижується до самої загибелі. Тромбоцитограма в опромінених тварин характеризується в цей час збільшенням кількості старих тромбоцитів, форм роздратування й дегенеративних форм, тобто спостерігається зрушення тромбоцитограми вправо. Вважають, що основну роль у відновленні кісткового мозку після радіаційної поразки мають стовбурні клітини кісткового мозку, які циркулюють в невеликих кількостях у периферичній крові тварин. Перший, короточасний етап відновлення клітин білої крові в опромінених тварин одержав назву абортивного. Він визначається диференціюванням частини збережених неушкодженими клітинок-попередниць. Остаточне відновлення функції органів гемопоетичної системи відбувається в основному за рахунок розподілу збережених стовбурних клітин.

Дія випромінювань на серцево-судинну та нервову системи. При опроміненні у відносно малих дозах (100-200 Р) помітних змін у серцевій діяльності тварин не відзначається, як правило. При більш високих дозах відразу після опромінення відзначається частішання серцебиття, потім на 2-3 добу пульс відносно нормалізується. У розпал хвороби ритм скорочень стає нестійким і знову прискорюється в передтермінальний період, а в термінальний період він сповільнюється.

У овець виявляють гемодинамічні зрушення, які відбуваються в організмі як у процесі опромінення і відразу після впливу, так і у віддалений пострадіаційний період. Через 3 доби після опромінення дозою 300 Р, крім порушення провідності шлуночків, реєструються розширені, трохи розщеплені шлуночкові комплекси в 1-ому і 2-му відведеннях, сегмент S-T нижче ізопотенціальної лінії, відзначаються інверсія та збільшення амплітуди зубця Т. При наступному спостереженні (через 100 діб після опромінення) порушення провідності не відновлюється, і, за даними електрокардіограми, діагностується стійка дифузійна поразка міокарда. Опромінення в дозі 600 Р викликає більше стійкі зміни. В міру згладжування клінічних симптомів променевої хвороби зміни в ЕКГ продовжують наростати і зводяться до зменшення вольтажу шлуночкового комплексу, двофазності зубця Т, зниженню й укороченню сегмента S-T. Зубець Р стає високим і загостреним, що свідчить про зниження функції міокарда. Вплив дози 100 Р викликає порушення скорочувальної здатності міокарда, що супроводжується глибокими дистрофічними або дегенеративними змінами. У тварин після опромінення дозою 330 Р відзначаються лише функціональні відхилення. Зміни, виявлені електрокардіографічно, були підкріплені біохімічними дослідженнями.

При внутрішньому опроміненні відхилення з боку серцево-судинної системи виражені слабо. При разовій дачі з кормом більших кількостей радіонуклідів - (1,1...2,2)-10¹¹Бк суміші продуктів поділу на тварину – через 30-60 діб після впливу на електрокардіограмі відбувається інверсія зубця Т, а через 240-390 діб форма ЕКГ повертається до початкового рівня. При введенні ¹³¹I вівцям (до 925 МБк на тварину) змін ЕКГ не відзначається. При

максимальних кількостях введеного радіонукліда перед загибеллю констатують інверсію зубця Т. Також зміни реєструються на початку розвитку дегенеративних процесів у міокарді.

Клінічні прояви радіаційного ураження нервової системи в діапазоні доз, які викликають кісткомозковий синдром гострої променевої хвороби, найчастіше зустрічаються у коней і ослів. Їхнє поведіння і положення тіла в просторі дуже нагадують такі при коликах. Такий симптом поразки нервової системи може служити ознакою несприятливого прогнозу результату захворювання.

Вплив випромінювань на імунологічну реактивність організму. Під дією випромінювань змінюється весь комплекс захисних механізмів і реакцій організму – резистентність слизових оболонок та інших бар'єрів, клітинні й гуморальні фактори імунітету (клітинні реакції, бактерицидність крові, лімфи й секретів), антителигенез. Малі дози випромінювання підвищують специфічний і неспецифічний клітинний і гуморальний захист організму. У механізмі цього явища, очевидно, має значення розвиток таких процесів, як судинні зміни, активна гіперемія, підвищення швидкості обміну речовин, збільшення кількості неспецифічних бактерицидних речовин, ферментів; прискорення утворення антитіл, стимулювання ретикуло-ендотеліальної системи. При опроміненні в сублетальних і летальних дозах (300 Р і вище) у сільськогосподарських тварин розвиваються глибокі функціональні й морфологічні порушення клітинних структур, змінюється діяльність всіх систем організму. Порушення факторів імунітету відзначається значно раніше прояву клінічних ознак променевої хвороби. З розвитком променевої хвороби імунологічна реактивність організму порушується, що приводить до інтенсивного розмноження і розселення бактерій аутофлори. Визначення кількості кишкових паличок і особливо гемолітичних форм мікробів на поверхні шкіри й слизових оболонок є одним з тестів, що дозволяють установити ступінь порушення імунологічної реактивності організму в ранній термін.

При радіаційних ураженнях змінюється природна стійкість до ендогенних інфекцій. Цей процес пов'язаний з порушенням імунологічної реактивності організму. Після впливу випромінювань підсилюється утворення аутоантитіл. В опроміненому організмі завжди присутні імунологічно активні агенти - змінені продукти метаболізму речовин і клітинного розпаду, що мають антигенні властивості, які, очевидно, і є "ініціаторами" утворення аутоантитіл.

Випромінювання істотно впливає на імуногенез, змінюючи реакцію на введення антигену. При цьому ступінь змін залежить від строку опромінення щодо періодів формування імунітету. Імунізація, проведена за кілька днів до опромінення, впливає на перебіг променевої хвороби. Вакцинація в перші 2-3 доби після опромінення середньолетальними і летальними дозами не підвищує радіорезистентності, тобто чим пізніше після променевого впливу виробляється імунізація, тим вона ефективніше. Вакцинація в гострий період

променевої хвороби значно обтяжує її протікання і збільшує смертність тварин.

Вплив випромінювань на відтворну систему тварин. Результат вагітності залежить від поглиненої дози і періоду вагітності, коли відбувається опромінення. Дія випромінювань у перші дні після запліднення може привести до загибелі бластоцистів не тільки до імплантації, але й на початку її, що може супроводжуватися порушенням розвитку плода в більше пізній термін. LD_{50} для ооцитів свиней дорівнює 500 Р, а для ооцитів корів – 900 Р. При опроміненні в дозах 200-400 Р с потужністю дози 0,7 Р/хв. овогенез в 15-18-місячних телиць не змінюється.

Зародок володіє найбільшою радіочутливістю в період диференціювання органів. Наприклад, у корів, опромінених дозою 400 Р на 27-ій добі тільності, народилися безхвості телята, а в опромінених на 31-32-ій добі – життєздатне потомство, але з різними дефектами костей кінцівок. Саме в зазначені дні розвитку в зародка великої рогатої худоби відбувається розчленовування зачатків кінцівок. Аналогічний ефект спостерігається і в ягнят, матері яких були опромінені тією же дозою на 23-ій і 28-ій добі окітності. Вівці ж, що одержали дозу 550 Р на останніх тижнях окітності, принесли нормальних ягнят.

Питання про механізм дії опромінення батьків на потомство повністю не з'ясоване. Опромінення місячних бичків і кабанів дозою 200 Р не приводить до полові стерильності, але такі тварини продуцують менше сперми (32 й 43 % відповідно). Ураженість сім'яродного епітелію значно менше у бичків і кабанів старше 10 тижнів. У дорослих же бичків після опромінення дозою 400 Р у період перших 6 тижнів у спермі з'являються виродливі сперматозоїди, а потім настає стійка азоспермія, що в 5 % випадках триває до 4,5 місяців. Повне відновлення сперматогенезу спостерігається не раніше ніж через 6 місяців.

Опромінення опоросних свиней дозою 400 Р на різних стадіях вагітності негативно позначається на сперматогенезі потомства. Опромінення на 50-ї та 55-ї добі вагітності викликає стерильність 50 й 70 % каналців насінників відповідно. Повної стерильності нащадків при опроміненні дозою 400 Р не спостерігається. Пік високої радіочутливості половых клітин збігається з початком утворення примітивних насінних каналців.

Спостереження протягом 13 років за коровами показують, що при дозі 200 Р потомство в опромінених тварин, у порівнянні з контролем, становить 99 %, при 300 Р – 95 %, при 400 Р – 101 % і при дозі 300 + 300 Р – 101 %. У корів, яким перорально вводили однократно молоді радіоактивні продукти розподілу в кількостях $(1,22...2,22) \times 10^{11}$ Бк розраховуючи на тварину і які через 7 місяців після цього минулого запліднені, нормальні пологи відбувалися лише в 50 % тварин, причому потомство першого покоління у своєму розвитку не відрізнялося від контрольних телят. Чотири телиці цієї групи у віці 17-18 місяців були запліднені й дали потомство другого влучатого покоління, що також розвивалося нормально. Надходження в

організм тільних корів суміші продуктів розподілу в кількостях $5,55 \cdot 10^{11}$... $1,22 \cdot 10^{12}$ Бк із кормом порушує розвиток і диференціювання органів плода.

При щоденному надходженні $7,4 \cdot 10^6$ Бк ^{90}Sr на 1 кг живої маси (до 10 років) у овець та їхнього потомства не виявляється помітних змін. Життєздатне потомство, отримане від овець, опромінених у сублетальних дозах, за розвитком не відрізняється від контрольних ягнят.

Негативний вплив γ - випромінювання на відтворну функцію сільськогосподарських тварин і якість потомства визначається в основному поразкою ембріона в період диференціювання органів, а також сім'яродного епітелію яєчок та яєчників батьків.

Список посилань

1. Арманд Д.Л. Учение о ландшафте. - М.: Мысль, 1975.
2. Батыгин Н.Ф. Онтогенез высших растений. - М.: Агропромиздат, 1986, - 100с.
3. Беркова К.Ц. Воздействие гамма-радиации на апикальное доминирование и реализацию морфогенетического потенциала у злаковых на примере ячменя: Автореф. Дис... канд. биол. Наук. - Киев, 1987. - 19 с.
4. Биогеохимические основы экологического нормирования. - М.: Наука, 1993.
5. Бреславец Л.П. Растение и лучи Рентгена. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. - 194 с.
6. Богдевич И.М. Агрохимические проблемы и пути повышения плодородия дерново-подзолистых почв Белоруссии: Дис... доктора с.-х. наук.- М., 1992.
7. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности.- Л.: Гидрометеиздат, 1956.
8. Буллах А.А., Гродзинский Д.М., Каушанский Д.А. и др. Радиационно-биологическая технология подготовки подвойной лозы к прививке // Радионуклиды и ионизирующие излучения в исследованиях по виноградарству. - Кишинев, 1983. - С. 91-111.
9. Булаткин Г.А. Энергетическая эффективность применения удобрений в агроценозах / Методические рекомендации.- Пушкино, 1983.
10. Булаткин Г.А., Ларионов В.В. Основы энергетической концепции агротехнической нагрузки.- Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1992.
11. Вальков В.Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений.- М.: Агропромиздат, 1986.
12. Вернадский В.И. Биосфера. - М.: Наука, 1946.
13. Воробьев С.А. Севообороты интенсивного земледелия.- М.: Колос, 1979.
14. Ганжара Н.Ф. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества подзолистых и черноземных почв европейской части СССР.: Дис... доктора с.-х. наук.- М., 1988.
15. Гельберт М.Д. Йодный обмен, щитовидная железа и лактация // Сельское хозяйство за рубежом. Животноводство. -1966. - № 4. - С. 29.
16. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методика исследования природных ландшафтов.- М.: Изд-во МГУ, 1964.
17. Гроздов С.П. Пострадиационные особенности обмена кальция в тканях крыс и их связь с состоянием обмена натрия и фосфора // Радиобиология. - 1974. - Т. 14. - Вып. 3. С.342-347.
18. Гродзинский Д.М., Войтенко В.П., Кутлахмедов Ю.А., Кольтовер В.К. Надежность и старение биологических систем. - Киев: Наук. думка, 1987. - 173 с.

19. Гродзинский Д.М., Зезина Н.В. Мембранные потенциалы активно пролиферирующих и покоящихся клеток корневой меристемы кукурузы // Физиология и биохимия культ. растений. -1979. – 11, № 2. – С. 118-122.
20. Гапонюк Э.И., Малахов С.Г. Комплексная система показателей экологического мониторинга почв//Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах.- Л.: Гидрометеиздат, 1985.
21. Годельмен Я.М. Неоднородность почвенного покрова и использование земель.- М.: Наука, 1981.
22. Голубев А.В. Экономико-экологические основы химизации земледелия : Учебное пособие.- Саратовский СХИ, 1994.
23. Гудков И.Н., Гродзинский Д.М. О возможных причинах неудовлетворительной воспроизводимости стимулирующего действия малых доз при предпосевном гамма-облучении семян сельскохозяйственных культур //Всесоюзн. конф. по действию малых доз ионизирующей радиации. Тезисы докл. – Киев, 1984. – С. 8-9.
24. Докучаев В.В. Русский чернозем.- М.;Л.: ОГИЗ - Сельхозгиз, 1936.
25. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь.- Спб., 1892.
26. Докучаев В.В. К учению о зонах природы.- Спб., 1898.
27. Ефремов Д.Ф., Карпачевский Л.О., Сапожников А.П., Воронин А.Д. О классификации водного режима почв и лесных местообитаний//Почвоведение. 1986. №3.
28. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей//Почвоведение. 1978. №6.
29. Земельные ресурсы СССР. Ч. 1. Природно-сельскохозяйственное районирование территории областей, краев, АССР и республик.- М., 1990.
30. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы).- Кишинев: Штиинца, 1990.
31. Извеков А.С. Научные основы повышения продуктивности предкавказских черноземов//Докл. РАСХН. 1993. № 1.
32. Израэль Ю.А., Петров В.Н., Северов Д.А. Моделирование радиоактивных выпадений в ближней зоне от аварии на Чернобыльской атомной электростанции // Метеорология и гидрология. - 1987. - № 7. - С. 5-12.
33. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений.- Новосибирск: Наука, 1985.
34. Ильина Л.П. Исследование данных о структуре почвенного покрова при районировании Московской области//Структура почвенного покрова и методы ее изучения. М.: Наука, 1973.
35. Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и Физико-географического районирования.- М.: Высшая школа, 1965.
36. Исаченко А.Г. Природное ландшафтоведение.- Л.: Изд-во ЛГУ, 1976.
37. Кант Г. Земледелие без плуга.- М.: Колос, 1980.
38. Кант Г. Биологическое растениеводство: Возможности биологических агросистем.- М.: Агропромиздат, 1988.

39. Карманов И.И. Оценка плодородия почв//Методика комплексной агрономической характеристики почв/Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева.- М., 1985.
40. Кауричев И.С., Романова Г.А., Сорокина Н.П. Структура почвенного покрова и типизация земель.- М.: Изд-во МСХА, 1992.
41. Качков Ю.П. О мезо-, микро- и наноструктуре почвенного покрова контрастных ландшафтов Белорусского Поозерья// Структура почвенного покрова и методы ее изучения.- М.: Наука, 1973.
42. Каштанов А.Н., Щербаков А.П., Швебс И.Г. и др. Концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствование систем земледелия на ландшафтной основе.- Курск, 1992.
43. Кирюшин В.И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия.- Пушкино, 1993.
44. Кирюшин В.И., Власенко А.Н., Иодко Л.Н. Влияние различных способов основной обработки на плодородие выщелочных черноземов Приобья//Почвоведение. 1991. №3.
45. Кирюшин В.И., Лебедева И.Н. Опыт изучения изменения органического вещества в черноземах Северного Казахстана при их сельскохозяйственном использовании//Почвоведение. 1972. №8.
46. Кирюшин В.И., Ткаченко Г.И. О нисходящей миграции нитратов в черноземах Сибири при сельскохозяйственном использовании//Почвоведение. 1986. №2.
47. Кирюшин В.И., Южаков А.И., Романова Н.Л., Власенко А.Н. Моделирование зональных систем земледелия на основе полевых экспериментов//Вестник с.-х. науки. 1990. №8.
48. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – 363с.
49. Козменко А.С. Борьба с эрозией почв на сельскохозяйственных угодьях.- М.: Сельхозгиз, 1963.
50. Концепция мелиорации сельскохозяйственных земель в стране.- М.: МГМИ, 1992.
51. Кочкин М.А. Принципы оценки почвенных видов по генетическим признакам и систематизация их в группы по агропроизводственным свойствам//Вестник с.-х. науки. 1968. №5.
52. Краснощеков Н.В. Концепция комплексной механизации производства//Техника в сельском хозяйстве. 1990. №1.
53. Кудряшов Ю.Б., Беренфельд Б.С. Основы радиационной биофизики. - М.: Изд-во МГУ, 1982. - 302 с.
54. Кузин А.М. Структурно-метаболическая теория в радиобиологии. – М.: Наука, 1986,– 284с.
55. Кузнецова И.В. О некоторых критериях оценки физических свойств почв//Почвоведение. 1979. №3.
56. Кулаковская Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев.- Минск: Ураджай, 1978.

57. Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки.- М.: Изд-во МГУ, 1993.
58. Левин Ф.И. Окультуривание подзолистых почв.- М.: Колос, 1972.
59. Лопырев М.И., Рябов Е.И. Защита земель от эрозии и охрана природы.- М.: Агропромиздат, 1989.
60. Лошаков В.Г. Промежуточные культуры в севооборотах Нечерноземной зоны.- М.: Россельхозиздат, 1980.
61. Мальцев Т.С. Вопросы земледелия.- М.: Сельхозгиз, 1955.
62. Минеев В.Г. Агрохимия и биосфера.- М.: Колос, 1984.
63. Минеев В.Г., Дебрецени Б., Мазур Т. Биологическое земледелие и минеральные удобрения.- М.: Колос, 1993.
64. Моргун Ф.Т., Шикула Н.К., Тарарико А.Г. Почвозащитное земледелие.- Киев: Урожай, 1988.
65. Москалев Ю.И. Минеральный обмен. – М.: Медицина, 1985. – 288 с.
66. Москалев Ю.И., Стрельцова В.Н. Отдаленные последствия радиационного поражения. Неопухолевые формы // Итоги науки и техники. Сер. Радиационная биология. Т. 5. – М.: ВИНТИ, 1987.- 214 с.
67. Мотузова Г.В. Принципы и методы почвенно-химического мониторинга.- М.: Изд-во МГУ, 1988.
68. Неговелов С.Ф., Вальков В.Ф. Оценка механического состава при выборе участка под сады//Садоводство. 1961. №8.
69. О некоторых закономерностях глобальных радиоактивных выпадений из атмосферы в 1967-1969 гг. / С.Г. Малахов, А.Н. Силантьев, В.Н. Чуркин и др. // Труды ИЭМ. - 1972. - Вып. 1 (32) - С. 3-15.
70. Особенности определения коэффициента всасывания радионуклидов в желудочно-кишечном тракте жвачных животных / Н.А. Корнеев, А.Н. Сироткин, И.М. Расин и др. // Докл. ВАСХНИЛ. - 1986. - № 2. - С. 41-42.
71. Питентел Д. Сельскохозяйственные экосистемы.- М.: Агропромиздат, 1987.
72. Поведение радиоактивных изотопов в системе почва – раствор / Н.В. Тимофеев-Ресовский, А.А. Титлянова, Н.А. Тимофеева и др. // Радиоактивность почв и методы ее определения. – М.: Наука, 1966. - С. 46-80.
73. Почвоведение/Под ред. В.А. Ковды и Б.Г. Розанова. Ч. 1. Почва и почвообразование.- М.: Высшая школа, 1988.
74. Почвозащитное земледелие/Под ред. А.И. Бараева.- М.: Колос, 1975.
75. Преображенская Е.И. Радиоустойчивость семян растений. - М.: Атомиздат, 1971.-232 с.
76. Прохоров ВМ. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование / Под ред. Р.М. Алексахина. – М.: Энергоиздат, 1981. – 98 с.

77. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской атомной электростанции /Ю.А. Израэль, В.Н. Петров, С.И. Авдюшин и др. // Метеорология и гидрология. - 1987. - № 2. - С. 5-18.
78. Радиоактивность и пища человека / Под ред. Р.С. Расселла. Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1971. - 375 с.
79. Рамад Ф. Основы прикладной экологии.- Л.: Гидрометеиздат, 1981.
80. Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель.- М.: Сельхозгиз, 1938.
81. Результат исследований и внедрение приема предпосевного гамма-облучения семян сельскохозяйственных культур в СССР и НРБ / Н.М. Березина, И.К. Бобырь, Х.С. Даскалов и др. - М.: Энергоиздат, 1984. - 96 с.
82. Розов Н.Н., Шашко Д.И., Карманов И.И., Носов С.И., Добровольский Г.В. Почвенно-климатические ресурсы СССР, их районирование и сельскохозяйственное использование. Значение почвенных исследований в решении Продовольственной программы.- Тбилиси, 1981.
83. Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Берсенева И.А. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства.- Л.: Гидрометеиздат, 1983.
84. Рубенис Е.Я., Кругере Р.Э., Ивуланс И.А. Системы севооборотов для хозяйств Латвийской ССР//Агрономические основы специализации севооборотов.- М.: Агропромиздат, 1987.
85. Руководство по изучению микроклимата для целей сельскохозяйственного производства.- Л.: Гидрометеиздат, 1979.
86. Савин В.Н. Действие ионизирующего излучения на целостный растительный организм - М.: Энергоиздат, 1981. - 120 с.
87. Синицына Н.Г., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология.- Л.: Гидрометеиздат, 1973
88. Соколов М.С., Монастырский О.А., Пикунова Э.А. Экологизация защиты растений.- Пушкино, 1994.
89. Сочава В.Б. Геопотология как раздел учения о геосистемах. Топологические аспекты учения о геосистемах.- Новосибирск: Наука, 1975.
90. Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней.- Л.: Гидрометеиздат, 1976.
91. Тимофеев-Ресовский Н.В., Савич Н.В., Шальнов М.И. Введение в молекулярную радиобиологию. Физико-химические основы. – М.: Медицина, 1981. – 318 с.
92. Тулайков Н.М. О севообороте зернового хозяйства засушливых районов //Избр. Произведения.- М.: Сельхозиздат, 1963.
93. Турбин Н.В., Володин В.Г., Гордей И.А. Гетерозис и радиоустойчивость. – Минск: Наука и техника, 1977. – 150 с.
94. Формирование радиобиологических реакций растений / Д.М. Гродзинский, К.Д. Коломиец, И.Н. Гудков и др. – Киев: Наукова думка, 1984. – 216 с.
95. Фридлант В.М. Структура почвенного покрова.- М.: Мысль, 1972.

96. Чуян Г.А., Чуян С.И. Трансформация агрохимических показателей почвы под влиянием рельефа, эрозии и удобрений//Агроэкологические принципы земледелия.- М.: Колос, 1993.
97. Шищенко П.Г. Прикладная физическая география.- Киев: Высшая школа, 1988.
98. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование.- Л.: Гидрометеиздат, 1972.
99. Южаков А.И. Агроклиматические ресурсы в моделях зональных систем земледелия. Агроклиматические ресурсы Сибири.- Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1989.
100. Юодис Ю.К. Бонитетная структуру почвенного покрова Литовской ССР//Структура почвенного покрова и методы ее изучения. М., 1973.
101. Bors J., Fendrich I., Niemann E.G. Strahlenbelastung von Nutzpflanzen // Landwirtschaft – Angewandte Wissensch. 1979. – H. 219. – S. 1-158.
102. Chamberlain A.C. Aspects of the deposition of radioactive and other gases and particles // J. Air Pollut. – 1960. –V. 3, N 1-3. – P. 63-68.
103. Farber T.L. The role of calcium in cell death // Life Science. – 1981. –V. 29, N 13. – P. 1289-1295.
104. Larsen K. Cell-cell recognition and compatibility between heterogenic and homogenic incompatibility // Hereditas. – 1986. – 105. – P. 115-133.
105. Sadowska A., Racka M., Tomczak M., Grysiak B. Effect of irradiation of *Catharanthus roseus* upon the yield of its alkaloids // Radiation research: (Proc. 8th Intern. cong. radiat. res. Edinburgh, July 1987). – Edinburgh: Taylor a. Francis, 1987. – P. 5.
106. Sparrow A.H., Schwemmer S.S., Bottino P.J. The effects of external gamma-radiation from radioactive fallout on plants winth special reference to crop production // Radiation Botany. – 1971. – V. 11, N 2. – P. 85-119.
107. Vose P.B. Potential use of induced mutants in crop plant physiology studies // Induced mutationsa tool in plant research: (Proc. Of a symp. Vienna, 9-13 March 1981). – Vienna: IAEA. – 1981. – P. 159-181.

Зміст

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1.....	5
1 Агроєкологічна оцінка земель.....	5
1.1 Агроєкологічна оцінка геоморфологічних і літологічних умов...	5
1.1.1 Абсолютна висота над рівнем моря.....	6
1.1.2 Оцінка розчленованості території.....	7
1.1.3 Класифікація і оцінка схилів.....	10
1.2 Оцінка агрокліматичних умов.....	11
1.2.1 Сонячна радіація, ФАР.....	11
1.2.2 Теплозабезпеченість земель.....	14
1.2.3 Оцінка умов перезимівлі рослин.....	20
1.2.4 Оцінка вологозабезпеченості території.....	22
1.2.5 Оцінка посух.....	25
1.2.6 Вітровий режим.....	28
1.2.7 Мікроклімат горбистого рельєфу.....	30
1.3 Агроєкологічна оцінка структури ґрунтового покриву.....	33
1.3.1 Загальні критерії оцінки структури ґрунтового покриву.....	33
1.3.2 Основні закономірності географії структури ґрунтового покриву (СГП).....	38
1.3.3 Особливості структури ґрунтового покриву лісостепової і степової зон.....	39
1.3.4 Природна і антропогенна еволюція структури ґрунтового покриву.....	41
1.4 Агроєкологічна оцінка ґрунтових умов.....	42
1.4.1 Будова ґрунтового профілю.....	42
1.4.2 Органічна речовина ґрунтів.....	44
1.4.3 Гранулометричний склад ґрунтів.....	48
1.4.4 Склад ґрунту і водопроникність.....	51
1.4.5 Структурний стан ґрунтів.....	54
1.4.6 Типи водного режиму ґрунтів.....	58
1.4.7 Оцінка вологозабезпеченості ґрунтів.....	61
1.4.8 Забезпеченість ґрунтів елементами живлення.....	63
1.4.9 Оцінка біологічної активності ґрунту.....	66
1.4.10 Оцінка біологічної активності ґрунту.....	68
2 Агроєкологічна оцінка сільськогосподарських культур.....	73
2.1 Оцінка сільськогосподарських культур за їхніми біологічними вимогами до умов росту.....	73
2.1.1 Вимоги рослин до теплозабезпеченості і температурного режиму.....	73
2.1.2 Відношення рослин до світла.....	78

2.1.3 Відношення рослин до вологозабезпеченості.....	79
2.1.4 Вимоги рослин до фізичних умов ґрунтів, їхнього складу та структурного стану.....	86
2.1.5 Потреба рослин в елементах живлення і характер їх споживання.....	91
2.1.6 Відношення рослин до реакції ґрунту.....	93
2.1.7 Чутливість сільськогосподарських культур до забруднення ґрунтів важкими металами.....	95
2.1.8 Реакція рослин на забруднення повітря.....	96
2.1.9 Вплив рельєфу і літологічних умов на рослини.....	97
2.2 Оцінка сільськогосподарських культур за впливом на ґрунти і ландшафти у зв'язку з особливостями біології і агротехніки.....	98
2.2.1 Оцінка культур за кількістю рослинних залишків, які надходять в ґрунт, і їх якісним складом.....	98
2.2.2 Вплив культур на склад і структурний стан ґрунтів.....	100
2.2.3 Ґрунтозахисна здатність сільськогосподарських культур.....	101
2.2.4 Оцінка рослин за характером їх впливу на водний режим ґрунтів.....	102
2.2.5 Оцінка фітомеліоративного впливу рослин на ґрунт.....	102
2.2.6 Оцінка впливу культур на фітосанітарний стан ґрунтів.....	103
3 Особливості формування адаптивно-ландшафтних систем землеробства	104
3.1 Оптимізація розміщення сільськогосподарських культур.....	104
3.2 Особливості формування сівозмін.....	106
3.3 Перспектива чистого пару в світлі екологізації землеробства.....	112
3.4 Перспектива екологізації обробітку ґрунту.....	115
3.5 Екологічні аспекти використання добрив.....	126
3.6 Регулювання режиму органічної речовини ґрунтів.....	133
3.7 Оптимізація захисту рослин.....	138
3.8 Меліорація агроландшафтів в системі адаптивного землеробства.....	140
3.8.1 Гідротехнічні меліорації.....	141
3.8.2 Протиерозійні меліорації.....	146
3.8.3 Агролісомеліорація.....	146
3.8.4 Вапнування кислих ґрунтів.....	147
3.8.5 Меліоративна обробка ґрунтів з ущільненими перехідними горизонтами.....	148
3.9 Агроекологічні вимоги до технічних засобів.....	149
3.10 Принципи агроекологічного моніторингу земель.....	152
3.11 Математичне моделювання систем землеробства.....	155
3.12 Оцінка ефективності систем землеробства.....	156

РОЗДІЛ 2	159
1. Дія іонізуючих випромінювань на сільськогосподарські рослини.....	159
1.1 Загальні закономірності.....	159
1.2 Радіаційна стимуляція росту та розвитку сільськогосподарських рослин.....	164
1.3 Вплив видових і сортових особливостей сільськогосподарських рослин на дію випромінювань.....	167
1.4 Продуктивність та якість урожаю опромінених рослин.....	170
1.5 Радіобіологія рослин у дослідженнях загальнобіологічних закономірностей.....	176
2. Дія іонізуючих випромінювань на сільськогосподарських тварин.....	190
2.1 Радіочутливість сільськогосподарських тварин.....	190
2.2 Молекулярно-клітинні аспекти дії випромінювань на сільськогосподарські тварини.....	191
2.3 Дія випромінювань на організм тварин.....	196
2.4 Радіаційні ефекти в тканинах і органах тварин.....	201
Список посилань	208