

**Петренко Л.Р.
Вітвіцький С.В.
Булигін С.Ю.
Богданович Р.П.**

УПРАВЛІННЯ ГРУНТОВИМИ РЕЖИМАМИ
Підручник

Київ 2017

УДК 631.41:631.45/.46
ББК 40.322.4 Я7
В 54

Рецензенти:

ДЕГОДЮК Е.Г. - доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник відділу агрохімії, академік Європейської академії природничих наук (ННЦ «Інститут землеробства НААН України»);

ТАРАРІКО Ю.О. - доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН України, завідувач відділу агроресурсів і використання меліорованих земель («Інститут водних проблем і меліорації НААН України»);

Рекомендовано і затверджено до друку на засіданні Вченої ради Національного університету біоресурсів і природокористування України, протокол №12 від 21 червня 2017 року

Петренко Л.Р., Вітвіцький С.В., Булигін С.Ю., Богданович Р.П.

Управління ґрунтовими режимами - Національний університет біоресурсів і природокористування України, - Київ, Видавництво ; 2017. - 368 с.

ISBN _____

Підручник «Управління ґрунтовими режимами» присвячений формуванню концепції комплексного підходу в управлінні ґрунтовими режимами для максимально раціонального та ефективного використання ґрунтових ресурсів через збереження та підвищення родючості ґрунту шляхом оптимізації всього комплексу ґрунтових режимів при усвідомленні всіх складних взаємозв'язків у системі «ґрунт – рослина – навколишнє середовище». Теоретичний матеріал служить практичною базою для оцінки та прогнозування стану ґрунтового вкриття, раціонального використання ефективної родючості ґрунту, дозволяє зберігати та підвищувати їх родючість.

В роботі детально описані водний, тепловий, повітряний, токсикозний біологічний та поживний режими, їх показники та оцінка, вплив кожного ґрунтового режиму на родючість ґрунтів, ріст, розвиток та врожайність сільськогосподарських культур, розкриті особливості проходження ґрунтових процесів і формування ґрунтових режимів, розроблені шляхи визначення оптимуму властивостей ґрунту та управління ґрунтовими режимами.

У підручнику вперше наведені нові моделі для прогнозування зміни вмісту гумусу, моделі для розрахунку балансу гумусу за різними методиками, формули для розрахунку доз вапна для нейтралізації антропогенної кислотності, показані методи визначення оптимальних значень параметрів властивостей та режимів ґрунту, удосконалені шляхи регулювання основних режимів ґрунту із врахуванням сучасних досліджень вітчизняних та закордонних вчених, що надає йому наукової цінності та новизни.

Для використання у навчальному процесі фахівців спеціальності «Агрономія».

УДК 631.41:631.45/.46
ББК 40.322.4 Я7

ISBN _____

© Петренко Л.Р.,
Вітвіцький С.В.
Булигін С.Ю.
Богданович Р.П., 2017
© НУБіП України, 2017

ЗМІСТ

Передмова	5
1. УПРАВЛІННЯ ВОДНИМ РЕЖИМОМ ҐРУНТУ	9
1.1. Категорії, форми і види води у ґрунті.....	9
1.2. Водно-фізичні властивості ґрунту.....	14
1.3. Джерела води в ґрунті.....	18
1.4. Регулювання водного режиму	31
2. УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РЕЖИМОМ ҐРУНТУ	68
2.1. Повітря у ґрунті.....	68
2.2. Повітряні властивості ґрунтів.....	70
2.3. Регулювання водно-повітряного режиму ґрунту.....	71
3. УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВИМ ТА СВІТЛОВИМ РЕЖИМОМ ҐРУНТУ	81
3.1. Теплові властивості ґрунту	81
3.2. Тепловий режим ґрунту.....	86
3.3. Світловий режим ґрунту.....	89
3.4. Регулювання теплового та світлового режимів ґрунту.....	92
4. УПРАВЛІННЯ ПОЖИВНИМ, ОКИСНО-ВІДНОВНИМ ТА БІОЛОГІЧНИМ РЕЖИМАМИ ҐРУНТУ	100
4.1. Ґрунтовий розчин та окисно-відновний режим ґрунту	100
4.2. Поживний режим ґрунту	107
4.2.1. Розрахунок балансу поживних речовин	136
4.2.2. Прогнозування вмісту поживних речовин у ґрунті.....	141
4.2.3. Визначення потреби у мінеральних добривах	143
4.3. Регулювання органічної речовини	145
4.3.1. Розрахунок балансу гумусу	147
4.3.2. Визначення потреби в органічних добривах.....	152
4.3.3. Застосування математичного моделювання для прогнозування динаміки органічного вуглецю (гумусу) в агрофітоценозах	158

4.3.4. Основні аспекти регулювання режиму елементів живлення	201
4.4. Біологічний режим ґрунту.....	215
5. УПРАВЛІННЯ ТОКСИКОЗНИМ РЕЖИМОМ ҐРУНТУ	231
5.1. Джерела, походження і шляхи нагромадження токсичних солей в ґрунтах	231
5.2. Встановлення типу і ступеня засолення ґрунтів.....	252
5.3. Елементи меліорації засолених ґрунтів	257
5.4. Забруднення ґрунтів важкими металами, радіонуклідами та пестицидами.....	262
5.5. Головні аспекти регулювання токсикозного режиму ґрунту	285
6. РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКЦІЇ ҐРУНТОВОГО РОЗЧИНУ	298
6.1. Регулювання реакції ґрунтового розчину кислих ґрунтів	298
6.1.1. Визначення потреби ґрунтів у вапнуванні	298
6.1.2. Методи визначення доз вапна.....	303
6.1.3. Строки і місце внесення вапна у сівозмінах	307
6.2. Регулювання реакції ґрунтового розчину лужних (солонцюватих) ґрунтів.....	310
6.2.1. Визначення потреби ґрунтів у гіпсуванні	310
6.2.2. Розрахунок доз і норм меліорантів	313
6.2.3. Строки і місце внесення гіпсу в сівозміні	315
7. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА РЕЖИМІВ ҐРУНТУ	320
8. ЗОВНІШНІ ПЕРЕДУМОВИ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ҐРУНТОВИМИ РЕЖИМАМИ.....	329
9. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ҐРУНТОВИМИ РЕЖИМАМИ	337
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	351
ДОДАТКИ.....	355

ПЕРЕДМОВА

Ґрунт і фактори його продуктивності утворюють досить складну систему для управління якою потрібно вміти відобразити її в термінах науки про системи – кібернетики. Відображення системи може бути більше чи менше адекватне дійсності, але щоб воно могло виконати роль моделі системи, таке відображення повинне забезпечувати можливість отримання його користувачем додаткової інформації про зміни, що відбуваються у системі під впливом внутрішніх і/чи зовнішніх факторів. Лише ця здатність моделі системи може забезпечити можливість прогнозування її поведінки і вплинути на розробку ефективної множини заходів для регулювання системи і управління нею.

Спрощений, але поки що адекватний погляд на систему родючості (за вітчизняною термінологією), а точніше продуктивності (за міжнародною термінологією) ґрунту, дозволяє розкласти її на два компоненти – матричний і функціональний.

На нашу думку матричний компонент системи продуктивності ґрунту утворює множину відносностійких елементів, що можуть бути відображені параметрами відносно важко змінюваних властивостей ґрунту, наприклад; гранулометричним складом, будовою профілю, запасами гумусу в метровій товщі, ємністю обміну катіонів, щільністю твердої фази, тощо.

Функціональний компонент системи продуктивності ґрунту – це органічно поєднані між собою ґрунтові режими, котрі можна відобразити і оцінити відповідними параметрами, наприклад; вмістом продуктивної вологи, реакцією ґрунтового розчину, температуропровідністю, пористістю аерації, інтенсивністю дихання ґрунту, окислювально-відновним потенціалом, вмістом рухомих форм елементів живлення рослин, тощо.

Оцінюючи продуктивність ґрунту, не можна відокремлювати один від одного матричний та функціональний компоненти і аналізувати кожен з них ізольовано.

Для ефективного управління системою ґрунтових режимів не можна описувати і аналізувати їх відокремлено один від одного. Регулюючи водний режим заходами зрошування, ми впливаємо одночасно і на повітряний, і на тепловий, і на окислювально-відновний, і на мікробіологічний, і на поживний та інші режими ґрунту. У зв'язку з цим, заслуговує на увагу питання про ідентифікацію режимів продуктивності ґрунту в межах їх складної системи. Різними дослідниками це питання вирішено не однозначно. Вчені з УНДіГА (1988) обґрунтовують як достатнє виділення водно-повітряного, поживного, теплового і токсикозного режимів ґрунту. Останній з цих режимів особливо гетерогенний і складний. Токсичність ґрунтового середовища для вищих рослин і мікроорганізмів може бути спричинена надлишковою кислотністю і токсичним вмістом Al^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} . Лужністю чи солонцюватістю ґрунту, надмірним вмістом важких металів, радіоактивним забрудненням, надміром пестицидного навантаження і т.п.

Реальний прояв продуктивності ґрунту, оцінюваний сталою багаторічною врожайністю основних сільськогосподарських культур, у свою чергу, залежить не лише від ґрунтових, але й кліматичних умов, а також від організації території землекористування, технологічний та економічних факторів цієї продуктивності. За кордоном, наприклад в США, при оцінювання продуктивності і близького до неї поняття якості ґрунту (Soil quality), виділяють не два, а три категорії оцінюваних параметрів: 1) стабільні (метричні); 2) відносно стабільні (проміжні), 3) легко змінювані (ефемерні). Але якою б не була класифікація показників ґрунтових властивостей та режимів найпростішою формою

моделі продуктивності (родючості за вітчизняною термінологією) є перелік оптимальних параметрів ґрунтових властивостей та режимів чи їх оптимальних (відповідно до екологічних вимог окремих культур) діапазонів.

Рівень родючості ґрунту визначається комплексом властивостей (фізико-хімічних, агрохімічних, біологічних), які характеризуються такими показниками: реакція середовища; вміст гумусу, макро- та мікро- елементів; мікробіологічна й ферментативна активність тощо.

Від інтенсивності проходження складних ґрунтових процесів акумуляції, руйнування, синтезу й перетворення речовин залежить агрохімічна складова родючості, на яку впливають переважно дві основні статті балансу надходження і втрати.

У загальному й ефективному балансі речовин у землеробстві України перша стаття включає внесення хімічних меліорантів, органічних і мінеральних добрив, мікроелементів, а друга - винос поживних речовин урожаєм і витрати їх внаслідок ерозії та вимивання.

Під час використання орних земель, найважливішим фактором регулювання і розширеного відновлення родючості поряд із способом обробітку ґрунту є хімізація землеробства, зокрема такий високоефективний захід як ґрунтово-агрохімічне окультурення полів, що базується на основних законах землеробства (оптимуму, мінімуму й максимуму). Суть останніх полягає в тому, що максимальної продуктивності сільськогосподарських культур можна досягти при оптимальній кількості кожного фактора родючості. Зменшення чи збільшення його знижує продуктивність рослин.

Закон мінімуму в агрохімічному значення залежить від елемента, який міститься в ґрунті у мінімальній кількості. За інших однакових умов, і, навіть за 100% - ної (оптимальної) забезпеченості рослин усіма

факторами життя, приріст урожаю прямо пропорційний збільшенню кількості поживної речовини, яка знаходиться в мінімумі.

Із показників родючості (реакція середовища, вміст гумусу, азоту, фосфору, калію, кальцію, мікроелементів тощо), а також із основних факторів життя рослин (світло, волога, тепло), рівноцінних за значенням для росту сільськогосподарських культур, будь-який з них може виявитись у мінімумі й лімітувати урожай. Щоб одержати максимально можливий урожай, необхідно всі фактори наблизити до 100%-ного оптимального рівня. Впливаючи на них у межах закону оптимуму, можна регулювати рівень ґрунтової родючості без шкоди для навколишнього середовища. Екологічна рівновага агрофітоценозу підтримується при дотриманні закону повернення.

1.УПРАВЛІННЯ ВОДНИМ РЕЖИМОМ ҐРУНТУ

1.1. Категорії, форми і види води у ґрунті

Основоположниками вчення про вологу в ґрунті були О.О.Ізмаїльський, Г.М.Висоцький, П.С.Коссович. Пізніше водні властивості та режими ґрунтів продовжували вивчатись у дослідженнях О.Ф.Лебедева, С.І.Долгова, О.О.Роде, Н.А.Качинського, М.О.Дімо, С.Т.Вознюка, О.В.Демиденка, М.Ф.Бережняка, Н.Р.Нaise, Н.І.Наase, I.R.Jensen, R.J.Salter, S.F.Haworth, J.B.Williams та ін.

Вода, що надходить до ґрунту, зазнає дії різних сил (сорбційних, осмотичних, меніскових, гравітаційних). Під їх дією вона або утримується в ґрунті, або пересувається в інших напрямках. *Вода може знаходитися у ґрунті в трьох агрегатних станах:* твердому, пароподібному, рідкому. **Тверда вода**, або лід служить потенціальним джерелом як рідкої, так і пароподібної води. Хоча рослини і не використовують цю воду, вона може служити резервом доступної вологи, переходячи в рідкий і пароподібний стан при температурі понад 0°C.

Пароподібна вода міститься в ґрунтовому повітрі, де її завжди більше, ніж в атмосферному. Рух водяної пари у ґрунті відбувається від місць з більшим до місць з меншим тиском, а також від місць з вищою до місць з нижчою температурою, від капілярів більшого до капілярів меншого діаметру. За певних умов у ґрунті відбувається конденсація пари, тобто її перехід у рідку воду. У районах з посушливим кліматом конденсація має велике значення. За її рахунок у ґрунті може утворитися до 10-15 мм (150 м³/га) вологи.

Вода в рідкому стані має для ґрунту і для рослин винятково важливе значення. Цей стан води ділиться на види, залежно від характеру її зв'язку з твердою фазою ґрунту: 1) хімічно зв'язану, 2) фізично зв'язану, 3) вільну.

Вид хімічно зв'язаної води поділяють на два різновиди: **кристалізаційну** та **конституційну**. Перший з них - це вода кристалогідратів ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), а другий - вода гідроксидів.

Хімічно зв'язана вода не бере безпосередньої участі у зволоженні ґрунту, але переходить в активну воду ґрунтового розчину після розчинення відповідних мінералів. Ця вода абсолютно нерухома і недостатня для рослин.

Фізично зв'язана вода ділиться на два підвиди: **міцно зв'язану гігроскопічну** та **неміцно зв'язану плівкову**. Цей вид води зв'язується з твердою фазою ґрунту за допомогою сил молекулярного притягання внаслідок адсорбції.

Міцно зв'язана (гігроскопічна) вода утворюється при адсорбції пари води на поверхні твердих часток ґрунту у вигляді 2-3 орієнтованих шарів молекул води. Ця вода утримується твердою фазою дуже міцно і зовсім недоступна для рослин. Тиск, з яким ця вода фіксується ґрунтом, досягає 10^7 см водяного стовпа.

Кількість водяної пари, що адсорбується ґрунтом прямо пропорційна відносній вологості повітря, в середовищі якого перебуває ґрунт. Гранична кількість води, яка може бути ввібрана ґрунтом в пароподібному стані при відносній вологості повітря біля 100% (94-98) має назву **максимальної гігроскопічності (МГ)**. При цій вологості плівка води складається з 3-4 шарів молекул. На гігроскопічну вологість ґрунту, зокрема і на МГ дуже впливає гранулометричний склад. П.Ф.Мельниковим (1949) були одержані такі дані (табл. 1):

Вплив розміру часток ґрунту на максимальну гігроскопічність

Розмір часток, мм	МГ, %
0,01-0,005	0,4
0,005-0,004	1,1
0,004-0,003	1,5
0,003-0,002	1,9
0,002-0,001	5,1
0,001-0,0005	25,4

Гумус також підвищує гігроскопічність ґрунту. Зв'язування гігроскопічної води ґрунтом, супроводжується виділенням тепла (теплота змочування) 336 дж/г води. Ця вода замерзає при температурі -78°C .

Неміцно зв'язана (плівкова) вода: адсорбційні сили поверхні ґрунтових часток не насичуються повністю за рахунок пароподібної води. Наступні порції води притягуються за рахунок зовнішніх молекулярних сил. Так навколо міцно зв'язаної води утворюються плівки неміцно зв'язаної. Ця вода складається із слабоорієнтованих молекул товщиною плівки до кількох десятків молекулярних шарів. Крім того, вона здатна рухатися з місць з більш товстою до місць з менш товстою плівкою. Частина цієї води може бути доступною для рослин. Такий стан зволоження ґрунту, коли вміст у ньому плівкової води досягає максимального значення, називають **максимальною молекулярною вологоємністю ґрунту (ММВ)**.

Вид **вільної води** є доступним для рослин. Він ділиться на два підвиди: 1) капілярну та 2) гравітаційну.

Вільна капілярна вода заповнює капіляри ґрунту різної величини та форми, в яких сили капілярної взаємодії (меніскові) між водою та твердою фазою ґрунту перевищують сили гравітації.

Підґрунтові води, що залягають на певній глибині, піднімаються вгору по капілярах. Висота підняття залежить від діаметра капілярів, механічного складу ґрунту (чи породи), вмісту гумусу. В природних умовах залежно від механічного складу, якщо рівень підґрунтових вод залягає не глибше 5 м від поверхні ґрунту, то так звана **капілярна торочка** може сягати коренів рослин. При заляганні підґрунтових вод глибше 8 м, вони майже не діють на поверхневі шари ґрунту навіть при суглинковому чи глинистому механічному складі.

Капілярна вода рухається в ґрунті в усіх напрямках. Напрямок і швидкість переміщення зумовлюється різницею капілярних потенціалів.

Виділяють капілярно-підвищену та капілярно-підперту воду. **Капілярно-підвішена вода** утворюється при надходженні її з гори в ґрунт з нормальною водопроникністю. Ця вода заповнює капіляри і рухається від нижчих до вищих потенціалів до того часу, доки не настане так звана **вологість розриву капілярів (ВРК)**, за якої рухомість ґрунтової вологи в процесі висушування різко зменшується.

При зволоженні ґрунту знизу (від підґрунтових вод) утворюється **капілярно-підперта вода**. Зона капілярного насичення над підґрунтовою водою носить назву **капілярної торочки**.

В ґрунтах легкого механічного складу є стикова капілярно-підвішена вода, яку іноді називають манжетною. Є ще й капілярно-посаджена, або підперто-підвішена вода, що утворюється в шаруватій товщі ґрунту чи породи, коли дрібнозернистий шар підстилається більш грубозернистим.

Гравітаційна вода - теж підвид вільної води. Основною її ознакою є здатність рухатися під дією сили тяжіння. Сорбційні, меніскові сили на воду не діють. Виділяють гравітаційну воду, що просочується та воду водоносних горизонтів.

Вода водоносних горизонтів утворює підґрунтові води над водотривким наприклад, глинистим шаром.

Стани, види та форми ґрунтової вологи П.К.Кузьмич графічно зобразив у вигляді такої схеми (рис. 1).

Рідка вода в ґрунті ділиться на категорії за такими ознаками: 1) рухомість; 2) доступність рослинам.

Категорія нерухомої води включає до свого складу хімічно та фізично зв'язану воду. **Категорія слаборухомої води** включає неміцно зв'язану або плівкову воду. **Категорія добре рухомої води** включає до свого складу капілярно-підвищену, капілярно-підперту, внутріагрегатну та гравітаційну вологу.

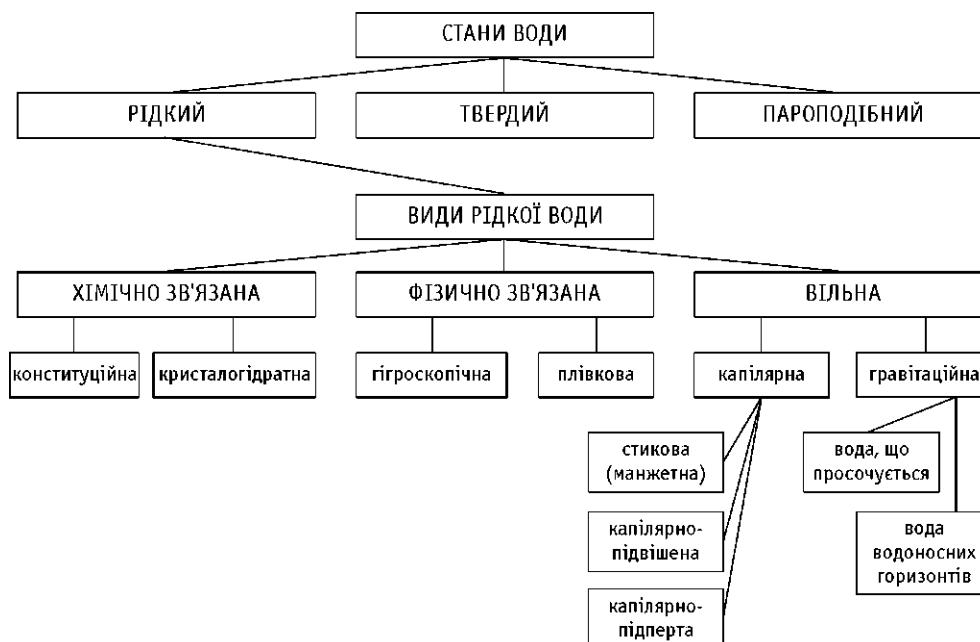


Рис. 1. Стани, види та форми ґрунтової вологи (за П.К.Кузьмичем)

За ознакою доступності рослинам виділяють три категорії води в ґрунті: 1) недоступну, до якої належить хімічно та фізично зв'язана вода; 2) слабо доступну, до якої входить неміцно зв'язана, стикова та внутріагрегатна вода і 3) легкодоступну, що включає капілярно-підвішену, капілярно-підперту та гравітаційну воду.

Спостерігаючи за вологістю ґрунтів, під різним рослинним вкриттям, Г.М.Висоцький помітив, що: 1) поверхня ґрунту найбільше висихає під чорним паром, далі - на цілині, а менше всього - під лісом; 2) загалом (по всьому профілю) ґрунт більше всього висушується на цілині (під природною трав'янистою рослинністю), далі під лісом, а менше всього - під чорним паром; 3) підґрунтя втрачає більше всього вологи під лісом, далі - на цілині, а менше всього - під чорним паром. За характером зволоження всі ґрунти можна розділити на дві основні групи: 1) переважно атмосферного зволоження (автоморфні) та 2) зволоження переважно від підґрунтових вод (гідроморфні).

1.2. Водно-фізичні властивості ґрунту

До **водних властивостей ґрунтів** належать: 1) вологоємність; 2) водопроникність; 3) водопідйомна здатність; 4) водовіддача; 5) водоутримуюча здатність.

Розрізняють такі види вологоємності ґрунту: повну (ПВ), капілярну (КВ), найменшу польову (НВ), гранично-польову (ГПВ) та максимальну адсорбційну (МАВ).

Повна вологоємність, або водовмісткість ґрунту настає тоді, коли всі її пори та пустоти заповнюються водою. В природних умовах ґрунт може досягти її тоді, коли знаходиться нижче рівня підґрунтових вод. Розрахувати ПВ можна за загальною пористістю ґрунту, але слід пам'ятати, що внаслідок набрякання при зволоженні, а також наявності защемленого

повітря, ПВ не завжди дорівнює загальній пористості (% від об'єму), поділеній на щільність ґрунту.

Капілярна вологоємність - максимальний вміст у ґрунті капілярно-підпертої води над рівнем ґрунтових вод.

Вода піднімаючись вгору під дією меніскових сил, заповнює всі капілярні пори ґрунту. Крупні (некапілярні) пори залишаються заповненими повітрям. По висоті капілярної торочки КВ неоднакова. Знизу вона близька до ПВ, а вгорі - до НВ.

Найменша польова вологоємність - максимальний вміст у ґрунті капілярно-підвішеної води. Щоб її визначити в полі обкопану канавою ділянку заливають водою. Гравітаційна вода стікає до низу, розсмоктуючись по капілярах. Поверхню ґрунту накривають соломною чи поліетиленом, щоб усунути випаровування, а через день-два відбирають проби ґрунту для визначення НВ.

Сила, з якою підвішена капілярна волога утримується ґрунтом, становить $3,4 \cdot 10^4 \text{ Па} = 3,4 \cdot 10^2 \text{ см вод-ст.}$, так що r_F десь < 3 . Саме на цю вологоємність ґрунту орієнтуються, коли розраховують норму зрошення.

Гранична польова вологоємність - це максимальний вміст води, що здатна утриматися в ґрунті у відносно рівноважному підвішено-підпертому стані. Ця вологоємність не стабільна, вона постійно зменшується внаслідок уповільненої дії інфільтрації гравітаційної води, досягаючи НВ. Хід цього процесу може тривати 1-2 доби.

Максимальна адсорбційна вологоємність - максимальна кількість міцно зв'язаної води, що утримується в ґрунті силами адсорбції (молекулярного притягання). МАВ менша від МГ, і звичайно, рослинам не доступна.

Однією з найважливіших ґрунтово-гідрологічних характеристик ґрунту є його «водопроникна здатність», або ВОДОПРОНИКНІСТЬ, що вимірюється глибиною шару води, яка проходить в ґрунт за одиницю часу.

Надходження води в ґрунті при цьому відбувається в три стадії: вбирання, насичення та фільтрації. Початкова стадія вбирання відбувається порівняно з високою швидкістю. Вільні пори ґрунту послідовно заповнюються водою під дією цілого ряду сил: сорбційних, меніскових, гравітаційних і під впливом градієнта напору, відбувається процес насичення ґрунту водою.

В насиченій товщі ґрунту безперервний рух води зумовлюється градієнтом напору. Це стадія фільтрації. Швидкість проникнення води в ґрунт, що поступово зменшувалась у часі, досягає більш-менш постійної величини. Фільтрація описується рівнянням Дарсі:

$$Q = K_{\phi} \cdot G \cdot I / Z$$

де Q - кількість води, що проходить у ґрунт, см³;

G - площа поперечного перерізу, см²;

I - напір гідравлічний, см;

Z - довжина фільтраційного потоку;

K_{ϕ} - коефіцієнт фільтрації, см/с.

Коефіцієнт фільтрації (K_{ϕ}) - найважливіша характеристика водопроникності. Він залежить від ряду факторів: 1) механічного складу; 2) структурності; 3) виду пористості; 4) вмісту гумусу; 5) складу ввібраних катіонів; 6) міри зволоження; 7) температури ґрунту та ін.

Н.О.Качинський запропонував таку градацію ґрунтів за їх водопроникністю: якщо ґрунт пропускає за годину понад 1000 мм води при напорі 5 см і температурі 10°C, то його водопроникність **провальна**;

при 1000-500 - надто висока, 500-100 - найкраща, 100-70 - добра, 70-30 - задовільна, менше 30 - незадовільна.

Водопідйомна здатність - властивість ґрунту піднімати воду від підґрунтових вод на певну висоту за рахунок меніскових (капілярних сил). Мірою цієї властивості є висота в метрах. Вона залежить від механічного складу та структури, зложення та набухання ґрунту. Капілярні сили вже починають проявлятися у порах діаметром 8 мм, досягаючи максимальної ефективності в порах 0,1-0,003 мм. Більш тонкі пори заповнені зв'язаною водою. Висота капілярного підняття (Н) розраховується для вертикальних капілярів за формулою Жюрена:

$$Q = 2a / r \cdot d \cdot g$$

де a - поверхневий натяг води (75 дин/см);

r - радіус капіляра, g - прискорення сили гравітації (981 см/с²);

d - щільність води, г/см³.

Водопідйомна здатність зростає від пісків до суглинків, а від суглинків до глин - знову спадає. Для піщаних ґрунтів Н= 0,5 - 0,7 м, для суглинкових та глинистих - 3-6 м. Дякуючи цій здатності, ґрунтові води, коли вони залягають неглибоко, постачають воду рослинам. Але нерідко це викликає і негативні явища - перезволоження та оглеєння ґрунту, надмірне надходження в нього легко-розчинних солей.

Водовіддача (ВВ) - стікання вільної (гравітаційної) води із водоносного горизонту та капілярної торочки при зниженні рівня підґрунтових вод. Характеризується коефіцієнтом водовіддачі - відношенням об'єму стікаючої води до загального об'єму ґрунту. Цей показник дає змогу визначити можливі втрати води при зрошенні, а також кількість води, що підлягає відведенню при осушенні.

Водоутримуюча здатність ґрунту - його властивість, як дисперсного пористого тіла утримувати певну кількість води під дією різного роду сил:

сорбційних, осмотичних, капілярних. Це не що інше, як всисна сила ґрунту, величина протилежного знаку по відношенню до потенціалу ґрунтової вологи.

1.3. Джерела води в ґрунті

Наявність води в ґрунті - обов'язкова умова росту та розвитку рослин, мікроорганізмів ґрунту. Біля 90% маси зелених рослин та мікроорганізмів складає вода. На синтез 1 г сухої речовини в рослинному організмі через транспірацію витрачається 250-1000 г води. Ця вода надходить до рослини в основному із ґрунту. При достатній кількості опадів в тій чи іншій місцевості вода виступає головним лімітуючим фактором урожайності культур.

Вода надходить до ґрунту у вигляді атмосферних опадів, з підґрунтових вод, при конденсації водяних парів із атмосфери, при зрошенні. В незрошуваному (богарному) землеробстві головним джерелом води в ґрунті є атмосферні опади.

Підґрунтові води — води, що містяться у верхній частині земної кори. Заповнюють проміжки, пори, тріщини, пустоти. У ґрунті заповнюють капіляри. Поділяються на води зони аерації, ґрунтові і артезіанські.

Підземні води розташовані нижче земної поверхні і дна поверхневих водоймищ і водотоків, що заповнюють пори, тріщини й ін. порожнечі гірських порід у рідкому, твердому або пароподібному стані. Утворюються внаслідок інфільтрації атмосферних опадів та поверхневих вод, конденсації водяної пари, магматичних процесів та метаморфізму тощо.

Шари гірських порід, що насичені гравітаційною водою, утворюють водоносні горизонти, або пласти, котрі складають водоносні комплекси,

гірські породи яких характеризуються різними ступенями вологості, водопроникності та водовіддачі. Перший від поверхні Землі постійно існуючий безнапірний водоносний горизонт називається горизонтом ґрунтових вод. Безпосередньо над його поверхнею (дзеркалом ґрунтових вод) поширені капілярні води, які можуть бути завислими, тобто не з'єднаними з дзеркалом ґрунтових вод. Весь простір від поверхні Землі до дзеркала ґрунтових вод називається зоною аерації, в якій проходить просочування вод з поверхні. В зоні аерації на окремих розмежованих прошарках порід, які характеризуються меншою фільтраційною здатністю, в період живлення ґрунтових вод можуть утворюватись тимчасові, або сезонні, скупчення підземних вод, які називається верховодкою. Водоносні горизонти, що залягають нижче ґрунтових вод і відділяються від них пластами водонепроникних (водотривких) або слабкопроникних порід, називаються горизонтами міжпластових вод. Вони звичайно перебувають під гідростатичним тиском (артезіанські води), рідше мають вільну поверхню — безнапірні води.

Інфільтраційні води утворюються завдяки просочуванню з поверхні Землі дощових, талих та річкових вод. За складом вони переважно гідрокарбонатно-кальцієві та магнієві. При вилуговуванні гіпсових порід формуються сульфатно-кальцієві, а при розчиненні соленосних — хлоридно-натрієві води. Конденсаційні підґрунтові води утворюються внаслідок конденсації водяних парів у порах або тріщинах порід. Седиментаційні води формуються в процесі геологічних осадоутворень і звичайно являють собою змінені поховані води морського походження (хлоридно-натрієві, хлоридно-кальцієво-натрієві тощо). До них також належать поховані розсоли солерудних басейнів, а також ультрапрісні води піщаних лінз у моренних відкладах. Води, що утворюються із магми при її кристалізації і при метаморфізмі гірських порід, називаються

магматогенними або ювенільними водами. Серед підземних вод розрізняють верховодку, ґрунтові води й міжпластові (безнапірні та артезіанські води); за ступенем мінералізації — прісні й мінеральні води.

За ступенем мінералізації (за В. Вернадським) ґрунтові води поділяються на:

- прісні (до 1 г/л);
- солонуваті (від 1 до 10 г/л);
- солоні (від 10 до 50 г/л);
- підземні розсоли (понад 50 г/л).

Мікроорганізми, що мешкають в підземних водах дуже активні, адаптивні до різних ступенів мінералізації, температури, тиску. Вони беруть участь в розкладі і синтезі різних органічних і мінеральних сполук, здатні впливати на зміну сольового і газового складу природних вод, їх мінералізацію. Проникнення бактерій в глибину лімітує висока температура (вище 95-100°C) і мінералізація (130–270 г/кг — так звані «міцні розчини»). Бактерії та мікроби проникають в пори породи і перебувають там в капілярній воді, вкривають стінки пустот.

Дисульфуючі бактерії, окислюючі речовини, в тому числі нафтові вуглеводи відновлюють сульфати до сірководню. Денітрифікуючі бактерії, окислюючи органічні речовини відновлюють нітрати до нітритів і молекулярного азоту. До них належать бактерії, що зброджують кислоти і здійснюють розклад вуглеводів з утворенням органічних кислот, вуглекислого газу і води, бактерії, що розкладають нафтові кислоти та інші органічні речовини; тіонові бактерії, що розвиваються при значенні рН біля 7, окислюють сірку та сірковмісні сполуки до сірчаної кислоти; бактерії, що окислюють вуглеводи парафінового ряду; метаноокислюючі бактерії, нітрифікуючі бактерії і ін.

У розрізі літосфери виділяють 4 зони, з них три верхні заселені мікроорганізмами, четверта — безжиттєва. Перша належить до ґрунтових утворень. Простягається до глибини трьох метрів, де проходить розклад органічних речовин. Нижче знаходиться зона аерації (глибиною до кількох сотень метрів), заселена анаеробами.

Рівень підземних вод — перевищення вільної чи п'єзометричної поверхні вод у даній точці (у даній ділянці масиву гірських порід) по відношенню до будь-якої площини порівняння (наприклад, по відношенню до рівня моря).

Дані про вміст вологи в ґрунті самі по собі ще не дозволяють робити висновки про забезпеченість рослин водою. Вони лише характеризують зміни вмісту води в просторі та часі. Практичного значення вони набувають тоді, коли аналізуються разом з водно-фізичними властивостями ґрунту.

Відомо, що не вся вода, яка міститься в ґрунті, доступна рослинам. Тому в агрономічному плані практичне значення має лише запас продуктивної вологи, яка може бути засвоєна рослинами. Продуктивною вологою називають всю кількість води в ґрунті зверху вологості в'янення. Тільки при наявності її рослини можуть рости. Розраховують вміст продуктивної вологи в ґрунті за формулою

$$W_{np} = W_t - W_{вв} ,$$

де W_{np} - запас продуктивної вологи в ґрунті, мм;

W_t - загальний запас води в ґрунті на даний момент, мм;

$W_{вв}$ - запас води в ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм.

Найвищому зволоженню ґрунту в польових умовах відповідає найменша вологоємність. Тому різниця між НВ і ВВ буде відповідати максимально можливим запасам продуктивної вологи (ММЗПВ) в ґрунті. Такий вміст води називають діапазоном активної вологи (ДАВ):

$$ДДВ = НВ - ВВ$$

Проте в діапазоні від ВВ до НВ не вся волога однаково легко засвоюється рослинами. Найбільш доступною вважається вода в діапазоні від ВРК до НВ, а в діапазоні від ВВ до ВРК вона менш доступна. Це слід враховувати при розрахунках норм вегетаційних поливів.

Практичне значення має показник дефіциту вологи (ДВ) в ґрунті. Під дефіцитом вологи в ненасичених водою ґрунтах розуміють різницю між НВ і фактичною вологістю в даний момент (W_t).

$$W_{дв} = W_{нв} - W_t$$

Сумарний дефіцит для шарів 0-50 або 0-20 см – основа для розрахунків разової кількості води, яку подають для зрошення. Поливна норма не повинна перевищувати ДВ, щоб не спричинити втрат води з гравітаційним стоком, особливо при близькому заляганні соленосних горизонтів і мінералізованих ґрунтових вод.

На практиці ДВ по шарах розраховують за формулою:

$$W_{дв} = W_{нв} - W_t \cdot h \cdot d_v ,$$

де $W_{дв}$ - дефіцит вологи, т/га;

$W_{нв}$ - найменша вологоємність ґрунту, % від маси ґрунту;

W_t - польова вологість, % від маси ґрунту;

h - розрахунковий шар ґрунту, см;

d_v - щільність розрахункового шару ґрунту, г/см³.

Розрахунок норми поливу здійснюють за формулою:

$$H_n = W_{дв} \cdot h \cdot d_v ,$$

де H_n – норма поливу, т/га;

h - розрахунковий шар ґрунту, см;

d_v - щільність розрахункового шару ґрунту, г/см³.

Важливою агрономічною характеристикою є запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту на період посіву культур, а в подальшому в метровому шарі, де розміщується до 90-95% коренів

сільськогосподарських культур. Тому спочатку розраховують запаси продуктивної вологи по 10-сантиметрових шарах до глибини 1 м за формулою:

$$W_{np} = \frac{(W_t - W_{вв}) \cdot h \cdot d_v}{10} ,$$

де W_{np} - запас продуктивної вологи, мм;

W_t - польова вологість на даний момент часу, % від маси ґрунту;

$W_{вв}$ - вологість в'янення, % від маси ґрунту;

h - розрахунковий шар, см;

d_v - щільність розрахункового шару, г/см³.

Далі встановлюють запаси продуктивної вологи в орному (0-20 см) і метровому (0-100см) шарі ґрунту за формулами:

$$\Sigma W_{np} = W_{0-10} + W_{10-20} ,$$

$$\Sigma W_{np} = W_{0-10} + W_{10-20} + \dots + W_{90-100}$$

Оцінка запасів продуктивної вологи в ґрунті здійснюють за шкалою (табл. 2).

Таблиця 2

Шкала оцінки запасів продуктивної вологи в ґрунті

Вміст води, мм	Оцінка запасів продуктивної вологи
У шарі 0-20 см	
>40	Добрі
40-20	Задовільні
<20	Незадовільні
У шарі 0-100см	
>160	Дуже добрі
160-130	Добрі
130-90	Задовільні
90-60	Низькі
<60	Дуже низькі

Кількість продуктивної вологи визначає тип клімату ґрунту в період вегетації рослин (табл. 3), який є провідним фактором їх продуктивності.

Таблиця 3

Схема типізації клімату ґрунту (за А.М. Шульгіним)

Запас продуктивної вологи, мм		Клімат ґрунту
в орному шарі	в метровому шарі	
>50	>200	Надлишково вологий
30-50	150-200	Вологий
20-30	100-150	Помірно вологий
10-20	50-100	Недостатньо вологий
<10	<50	Сухий

В агрономічній практиці треба не лише констатувати наявність вологи в ґрунті, а вміти прогнозувати її запаси на відповідний період. Л.А.Разумова (1971) розробила методика прогнозу запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту на початок весняно-польових робіт. Вона ґрунтується на залежності весняних запасів вологи ($W_{вес}$) в ґрунті від запасів вологи восени ($W_{ос}$) та кількості опадів (r) за осінньо-зимовий період.

Зміни запасів продуктивної вологи протягом зимового періоду описуються такими рівняннями:

для районів зі стійкою зимою

$$\Delta W = 0,115 \cdot r + 0,56 \cdot d - 20;$$

для районів з нестійкою зимою

$$\Delta W = 0,21 \cdot r + 0,62 \cdot d - 33,$$

де ΔW – зміни запасів продуктивної вологи в метровому шарі за період від дати останнього визначення вологості ґрунту восени до дати переходу температури повітря через 5°C навесні, мм;

r - кількість опадів за даний період, мм;

d - дефіцит вологості ґрунту восени, мм .

Очікувані запаси продуктивної вологи в ґрунті навесні будуть дорівнювати:

$$W_{вес} = W_{ос} + \Delta W$$

При інтерпретації даних про вологість ґрунту, важливе значення має характер представлення. Результати великої кількості визначень вологості, якими супроводжуються більшість польових дослідів, часто представляють у формі громіздких таблиць, які важко читаються. Тому, поряд з табличною формою подачі матеріалів (коли кількість визначень незначна), застосовують відповідні способи графічного зображення даних: профільні криві, хроно- і топоізоплети вологості, графіки динаміки вологозапасів тощо.

Під водним режимом ґрунту розуміють сукупність усіх явищ, що відбуваються з водою в ґрунті. Це такі явища: 1) надходження води до ґрунту; 2) рух, взаємодія з ґрунтом, утримування води різними силами (адсорбційними, капілярними, осмотичними, гравітаційними); 3) витрати води з ґрунту.

Кількісним виразом або загальною оцінкою водного режиму ґрунту є водний баланс. Він враховує початковий та кінцевий запаси води в ґрунті за певний період часу. Щоб його скласти, треба знати всі статті надходження і витрат води. Повне рівняння водного балансу має такий вигляд:

$$B_1 + B_{опад} + B_{підгр.в.} + B_{конденс} + B_{прит.} + B_{бінприт} = \\ B_2 + B_{вип.} + B_{транспір.} + B_{інфільтр.} + B_{біч.стік} + B_c$$

де B_1 - запас вологи в ґрунті на початку періоду спостережень;

B_2 - те ж в кінці цього періоду;

$B_{опад.}$ - сума опадів за весь період спостережень;

$B_{підгр.в.}$ - кількість води, що надходить з підґрунтових вод;

$V_{\text{конденс.}}$ - кількість води, що утворилась шляхом конденсації водяних парів;
 $V_{\text{прит.}}$ - кількість води, що надходить з поверхневим притоком;

$V_{\text{б.ч.прит}}$ - кількість води, що надходить від бічного притоку підґрунтових вод;

$V_{\text{вип.}}$ - кількість води, що випарилася з поверхні ґрунту за період спостережень (фізичне випаровування);

$V_{\text{транспір}}$ - кількість води, втраченої на транспірацію;

$V_{\text{інфільтр.}}$ - волога, що інфільтрувалася за межі розрахункового шару ґрунту чи в підґрунтові води;

$V_{\text{б.ч.стік}}$ - вода, втрачена на бічний підґрунтовий стік;

$V_{\text{с}}$ - вода, витрачена на поверхневий стік.

Ліва частина цього рівняння - статті надходження води до ґрунту, а права - статті витрат. Знак рівності між лівою і правою частинами має місце тоді, коли немає прогресуючого зволоження чи висушування території, як це найчастіше і буває в природі.

У багатьох випадках рівняння водного балансу доцільно спрощувати, виходячи з таких міркувань:

1) запаси води в початковий і кінцевий строки спостережень можна вважати рівними, якщо клімату місцевості не відзначається істотних змін:

$$V_1 = V_2;$$

2) бічний притік і стік на рівномірних схилових елементах рельєфу, як $V_{\text{б.ч.прит}} = V_{\text{б.ч.стік}}$

3) кількість конденсованої вологи, порівняно із іншими статтями балансу, дуже мала, тому в практичних розрахунках її можна не брати до уваги.

Рівняння водного балансу, з урахуванням вищесказаного, спроститься до виду:

$$B_{\text{опад}} + B_{\text{нідгр.в.}} + B_{\text{прит.}} = B_{\text{вип.}} + B_{\text{трансп.}} + B_{\text{інфільтр.}} + B_{\text{біч.стік}} + B_c$$

Є й інша точка зору на спрощення загального рівняння водного балансу, згідно з якою B_1 може не дорівнювати B_2 , а різниця між ними має важливе значення:

$$B_2 - B_1 = (B_{\text{опад}} + B_{\text{нідгр.в.}}) - (B_{\text{вип.}} + B_{\text{трансп.}} + B_{\text{інфільтр.}})$$

При цьому підході ігнорується поверхневий стік і притік, тому, строго кажучи, він може застосовуватись до рівнинних територій, або таких, що мають рівномірний нахил. Якщо різниця $B_2 - B_1$, має позитивний знак, то запас води в ґрунті наростає, такий ґрунт може потребувати осушення. Якщо ж ця різниця негативна, то ґрунт вимагає зрошення.

Крім того, інколи доцільно виключити водообмін між ґрунтом і підґрунтям. Це доцільно зробити при глибокому заляганні ґрунтових вод.

Водний баланс можна складати для окремих шарів чи всього профілю ґрунту до певної глибини. Статті надходження та витрат води можна виражати в $\text{м}^3/\text{га}$ або в мм: ($1 \text{ мм} = 10 \text{ м}^3/\text{га}$).

Водний режим, як і все в природі, має циклічну річну періодичність (повторюваність) у часі.

Надходження води до ґрунту, в певну його товщу, визначають для кожного 10-сантиметрового шару, відбираючи в полі зразки буром в алюмінієві сушильні стаканчики - бюкси, щоб визначити польову вологість ґрунту. Запас води в кожному з 10-сантиметрових шарів розраховують за формулою:

$$B_{0-10, \text{ мм}} = 0,1 \cdot W \cdot 10 \cdot \text{ЩГ} = W \cdot \text{ЩГ},$$

де W - польова вологість, %;

ЩГ - щільність ґрунту, $\text{г}/\text{см}^3$.

Розрахувавши V_{10-20} , V_{20-30} ... V_{90-100} , знаходимо їх суму. Це і буде запас вологи в метровому шарі ґрунту.

Обмін вологою між ґрунтом та підґрунтовими водами визначають, вимірявши підйом (h , см) підґрунтові вод і знаючи водовіддачу ґрунту, обчислюють ту її кількість, що просочується в підґрунтові води. Дуже приблизно відток води з товщі ґрунту в підґрунтові води знаходять також за різницею між наявним запасом води та її запасом в тій самій товщі при НВ.

Дуже важливим показником річного водного балансу є співвідношення між інфільтрацією і кількістю води, що випаровується з ґрунту. Залежно від цього, співвідношення в різних ґрунтово-кліматичних зонах і на окремих ділянках місцевості (з різним рельєфом та глибиною залягання підґрунтових вод) водний режим формується неоднаково, він може бути різних типів.

Типи водного режиму ґрунтів: крім річної кількості опадів для визначення характеру водного режиму слід знати величину випаровуваності за рік. **Випаровуваність** - це найбільша кількість вологи, що може випаровуватися з відкритої водної поверхні або з поверхні постійно перезволоженого ґрунту в даних кліматичних умовах за певний проміжок часу.

Як і кількість опадів, випаровування вимірюють в мм. Відношення річної суми опадів до річної випаровуваності називається **коефіцієнтом зволоження (КЗ)**. В різних природних зонах КЗ коливається від 3 до 0,1.

Г.М.Висоцький виділяв три типи водного режиму: промивний, непромивний та випітний. О.О.Роде, розвинувши вчення Г.М.Висоцького, виділив шість типів водного режиму:

1) **Мерзлотний тип** характерний для районів поширення вічної мерзлоти. Мерзлий шар ґрунту чи породи, що знаходиться на глибині відтанення мерзлоти, є водотривким шаром, на якому з'являється надмерзлотна верховодка. Шар відтанення протягом вегетаційного періоду насичений водою. В такому шарі олені й люди грузнуть у ґрунт. Лише всюдиходи можуть пройти по ньому, але після них у тундрі тривалий час нічого не росте: ні моху, ні трави.

2) **Промивний тип ($KЗ > 1$)** поширений там, де річна кількість опадів перевищує випаровування. Товща ґрунту наскрізь (до ґрунтових вод) промивається водою, позаяк в річному циклі вологообігу нисхідні токи переважають над висхідними. Цей тип водного режиму називають ще **ПЕРМАЦИДНИМ**. Вода вимиває з ґрунту легкорозчинні солі, вилуговує його від карбонатів кальцію. В таких умовах найчастіше формуються збіднені основами (кислі) ґрунти. У профілі відбувається перерозподіл мулистих часток і колоїдів, виникають елювіальні та ілювіальні горизонти. В таких умовах формуються ґрунти підзолистого типу, червоноземи та жовтоземи. При близькому до поверхні ґрунту заляганні підґрунтових вод, низькій водопроникності ґрунтів в них розвивається **оглеєння та торфонакопичення**, тобто болотний процес ґрунтоутворення.

3) **Періодично промивний тип ($KЗ = 1$)**. Опади і випаровуваність збалансовані між собою при коливаннях $KЗ$ в межах 0,8-1,2. В посушливі роки промочування товщі ґрунту обмежене до певної глибини, а у вологі можливе і наскрізне промочування. Такий тип водного режиму характерний для півдня лучно-лісової та лісостепової зони. Забезпеченість ґрунтів водою, як правило, достатня, хоча в окремі роки може бути і нестійкою.

4) **Непромивний тип ($KЗ < 1$)** інколи називають імпермацидним або замкнутим типом водного режиму. Волога спадів поширюється тільки

в верхніх горизонтах ґрунту, не досягаючи підґрунтових вод. Ґрунтова волога знаходиться в підвішеному стані, капілярна торочка підґрунтових вод не сягає товщі ґрунту, яка зволожується опадами. Вся волога опадів, накопичена в ґрунті при непромивному типі водного режиму, знову витрачається в атмосферу в результаті фізичного випаровування і шляхом транспірації.

Такий водний режим характерний для степових ґрунтів-чорноземів, каштанових, бурих напівпустельних та сіро-бурих пустельних ґрунтів. Коефіцієнт зволоження знижується до 0,6 і навіть 0,1. Землеробство без зрошення неможливе.

5) **Випітний тип ($KZ < 1$)** проявляється за тих же кліматичних умов, що і непромивний тип, але при близькому заляганні підґрунтових вод. Переважають висхідні токи води по капілярах від підґрунтових вод. Засолені води таким чином викликають засолення ґрунтів, утворення солончаків.

6) **Іригаційний тип** створюється тоді, коли ґрунт додатково зволожується внаслідок зрошування. При цьому в різні періоди проявляються і різні типи водного режиму. Промивний тип може змінюватися непромивним, або навіть випотним, особливо при надмірному зрошенні. В останньому випадку можливі процеси вторинного засолення ґрунтів.

Слід зазначити, що для характеристики умов природного зволоження ґрунтів (і росту рослин) Г.Т.Селяниновим було запропоновано гідротермічний коефіцієнт (ГТК), що являє собою відношення суми опадів до суми середньодобових температур понад 10°C протягом вегетації рослин:

$$K = \sum Q_n / \sum T_{>10}$$

Якщо цей коефіцієнт < 0.5 , то умови сухі, 0,6-1,0 - посушливі, 1,1-1,5 - вологі, 1,6-2,0 - надмірно вологі.

О.М.Костяков запропонував визначити вологозабезпеченість за коефіцієнтом водного балансу, що вираховується за формулою:

$$K = Q_n \cdot I / B_{\text{вип}}$$

де Q_n - середня річна кількість опадів, мм;

I - показник поверхневого стоку;

$B_{\text{вип}}$ - величина випаровування за рік, мм.

Саме за цим коефіцієнтом було виділено три зони зволоження: надмірного, нестійкого та недостатнього.

1.4. Регулювання водного режиму

Регулювання водного режиму базується на врахуванні кліматичних і ґрунтових умов, а також потреб у воді сільськогосподарських культур. На загальний і корисний запас вологи в ґрунті можна істотно впливати, змінюючи як статті надходження, так і статті витрат у водному балансі. В різних ґрунтово-кліматичних умовах є свої особливості регулювання водного режиму.

В районах тайгово-лісової зони, та й в інших зонах, де має місце надмірне зволоження ґрунтів, поряд із осушенням (відкритими канавами та ін) застосовують різні агротехнічні заходи, направлені на відвід надмірної вологи з верхніх горизонтів ґрунту: планування поверхні ґрунту, нівелювання мікро- та мезопонижень, у яких весною і після літніх дощів спостерігається тривалий застій води. Створення гребенів та борозен, застосування вузькозагінної оранки вздовж схилів теж ефективний захід, але слід враховувати можливий розвиток ерозії, не допускати надмірного стоку і змиву ґрунту. Високі гребені, підвищуючи поверхню випаровування, прискорюють осушення ґрунту.

Болотні ґрунти, яких так багато в тайгово-лісовій зоні, потребують закритого дренажу або застосування відкритих дрен, для відводу надмірної

вологи. Проте слід пам'ятати, що рівень підґрунтових вод на торфовищах мусить коливатись у межах 0,6-1,5 м і не опускатись нижче, бо це викличе переосушення і надмірний розклад (мінералізацію) торфу, його видування вітром.

В дерново-підзолистих ґрунтах, особливо легкого механічного складу, влітку може не вистачити вологи, для польових культур. Тому регулювання їх водного режиму мусить бути двобічним: надлишок вологи відводиться з полів по дренажних трубах в спеціальні водосховища (колектори), а при нестачі вологи - ця ж вода по цих же трубах, або дощуванням, повинна знову подаватися на поле.

В районах постійного зволоження, а також з посушливим кліматом слід застосовувати різні заходи для максимального накопичення та раціонального використання вологи. Це снігозатримання і збереження стоку талих вод, що забезпечується на схилах застосуванням протиерозійної агротехніки, будівництвом агротехнічних споруд (валів, терас), заходами лісомеліорації (ґрунтозахисними лісосмугами). Чорні пари - теж захід покращення водного режиму (виключається транспірація). Але цей захід супроводжується значними втратами гумусу (до 2-3 т/га). В зонах сухих степів та напівпустель основним засобом покращення водного режиму ґрунтів є зрошення. Але його треба проводити так, щоб втрачати якомога менше води в канавах, не викликати іригаційної ерозії, не погіршувати структурного стану і агрофізичних властивостей ґрунтів і, що особливо важливо, - не викликати вторинного засолення та осолонцювання ґрунтів.

Площа зрошуваних ґрунтів в Україні складає 2,6 млн. га, при цьому вони розташовані практично по всіх природних зонах і підзонах, але найбільше (84 %) їх зосереджено у степовій зоні. В структурі ґрунтового покриву на зрошуваних землях переважають чорноземні (61 % від

загальної площі зрошення) й каштанові (15 %) ґрунти. Зрошення змінило склад ґрунтового покриву і призвело до появи вторинногідроморфних, засолених та солонцюватих ґрунтів, що викликає необхідність розробки критеріїв та показників стану зрошуваних земель.

Критерії оцінки стану зрошуваних ґрунтів

За даними С.А. Балюка, довготривалі стаціонарні спостереження показали, що еволюція ґрунтів при зрошенні може йти як шляхом збереження властивостей без істотних (класифікаційно значущих) змін, так і шляхом розвитку деградаційних процесів. Напрямок і швидкість ґрунтових процесів визначаються при цьому якістю поливних вод, кліматичними та гідрогеологічними умовами регіонів, рельєфом, початковими властивостями ґрунтів, технікою і технологією зрошення й культурою землеробства. Деградація ґрунтів при зрошенні не стає неминучою стадією їх розвитку, а проявляється тільки при певних умовах. Можна виділити такі найбільш розповсюджені деградаційні процеси:

1. Підйом рівня ґрунтових вод (РГВ) і розвиток процесів підтоплення й вторинного іригаційного гідроморфізму ґрунтів. За даними Держводгоспу України, площі земель з РГВ менше 3 м склали в 90-х роках минулого століття 17-20 % від зрошуваної площі.

2. Активізація галохімічних процесів на локальному, регіональному та глобальному рівнях. Перерозподіл і винос солей тільки з дренажним стоком складає величину 2-3 млн. т на рік. Вторинне засолення ґрунтів має місце на окремих масивах, локально слабодренованих, які мають мінералізовані (більше 1 г/л) зрошувальні та/або ґрунтові (при РГВ менше 1,5-2,5 м) води. Площі засолених земель (вторинно та природно) коливаються по роках у межах 6-9 %.

3. Зрошення приводить до підвищення вмісту водорозчинного й увібраного натрію. Процес осолонцювання визначається якістю поливних

вод, вихідними властивостями ґрунтів, глибиною залягання та мінералізацією ґрунтових вод. Площі земель з різним ступенем солонцюватості досягають близько 30-40 % від загальної площі зрошення. В той же час, зрошення прісними водами природно солонцюватих або вторинно осолонцюваних ґрунтів призводить до їх іригаційного розсолонцювання.

4. Підлучення ґрунтів, збільшення у них лужного резерву й показників загальної і токсичної лужності, величини рН.

5. Дегуміфікація зрошуваних ґрунтів має місце при розвитку ерозійних, лужних та солонцевих процесів, при відсутності у сівозмінах багаторічних бобових трав та низьких (менше 7-9 т/га сівозмінної площі) дозах органічних добрив. Зміна якісного складу гумусу має місце при осолонцюванні ґрунтів і проявляється у збільшенні вмісту фульвокислот та звуженні співвідношення $C_{тк}/C_{фк}$.

6. Агрофізична деградація зрошуваних ґрунтів проявляється у їх знеструктуренні й ущільненні, розвитку злитизації.

7. Перетворення мінеральної компоненти ґрунтів при зрошенні проявляється у збільшенні гідрофільності й підвищенні дисперсності, трансформації найменш стійких мінералів смектитів, що призводить до зменшення їх вмісту й збільшення частки змішано-шаруватих мінералів.

8. Техногенне забруднення – це накопичення у водах (зрошувальних, ґрунтових та дренажних), ґрунтах та сільськогосподарських рослинах важких металів, фтору та інших забруднюючих речовин. Воно має локальне розповсюдження, в регіонах з високим фоновим рівнем (Донбас) і високою емісією елементів (значні джерела забруднення, приміські зони). На решті площі спостерігається збіднення орних шарів біогенними мікроелементами внаслідок їх біологічного поглинання й вимивання у нижчі горизонти аж до ґрунтових вод.

9. Біологічні та біохімічні зміни у співвідношеннях різних груп мікроорганізмів, які призводять до прискорення процесів мінералізації органічних речовин і трансформації сполук азоту, накопиченню токсинів.

Масштаби багатьох з перелічених вище деградаційних процесів невідомі, тому що відсутній моніторинг зрошуваних земель.

Показники, нормативи і методи оцінки стану зрошуваних ґрунтів

Виходячи з направленості та інтенсивності розвитку ґрунтових процесів при зрошенні для оцінки стану зрошуваних ґрунтів необхідно використовувати комплекс показників, який включає:

- 1) якість зрошувальних вод;
- 2) глибину залягання ґрунтових вод;
- 3) мінералізацію ґрунтових вод;
- 4) ступінь засолення верхнього метрового шару ґрунтів та підґрунтя;
- 5) ступінь солонцюватості ґрунтів;
- 6) ступінь підлуження ґрунтів;
- 7) ступінь забруднення ґрунтів фтором, важкими металами та іншими забруднювачами;
- 8) склад і вміст гумусу;
- 9) щільність складення й структурно-агрегатний склад ґрунтів;
- 10) ступінь виявлення негативних екзогенних процесів (підтоплення та заболочування, ерозія та зсуви, гідроморфна трансформація ґрунтів та підґрунтя, просадки та суфозії).

Параметри показників та оцінку їх у балах наведено в табл. 4.

**Показники та критерії еколого-меліоративного стану
зрошуваних ґрунтів України
(стосовно дрібномасштабного картографування)**

Показники	Категорії стану ґрунтів та оцінка, в балах			
	Добрий та задовільний	Задовільний із загрозою погіршення	Незадовільний	Надто незадовільний (кризовий)
	1,0	5,0	25,0	125,0
Глибина залягання ґрунтових вод (ГВ) відносно критичної ($H_{кр}$), м	$>H_{кр}$	$=H_{кр}$	$<H_{кр}$	-
Мінералізація ГВ, г/л, при глибинах $>H_{кр}$ (до 5м), $<H_{кр}$ ($>5м$)	$<3,0$ $<1,0$	$>3,0$ 1,0-3,0	- 3,0-5,0	- $>5,0$
Ступінь засоленості верхнього метрового шару ґрунту	незасолені	Слабозасолені та незасолені із слідами соди	середньо-засолені	сильно-засолені
Ступінь солонцюватості ґрунтів	несолонцюваті	слабо-солонцюваті	середньо-солонцюваті	сильно-солонцюваті та солонці
Ступінь прояву негативних екзогенних процесів	відсутні	слабкий	середній	сильний і дуже сильний

Треба відмітити, що прийнята в Держводгоспі України система оцінки меліоративного стану зрошуваних земель включає обмежений набір показників, перш за все якість поливних вод, глибина залягання та мінералізація підґрунтових вод, засоленість та солонцюватість ґрунтів.

Якість зрошувальних вод

Якість зрошувальних вод оцінюють за ДСТУ 2730-94 "Якість води для зрошення. Агрономічні критерії" і Відомчим нормативним документом ВНД 33-5,5-12-97 "Якість води для зрошення. Екологічні критерії". При цьому виділяють 3 класи придатності води для зрошення: 1-й клас – придатні, 2-й клас – обмежено придатні і 3-й клас – непридатні для зрошення. Агрономічні критерії включають оцінку води за небезпекою засолення, осолонцювання й підлуження ґрунтів та токсичного впливу на рослини. Для додаткової оцінки вводяться термодинамічні показники – потенціали осолонцювання й підлуження ґрунтів з урахуванням їхньої буферності. Екологічні критерії включають оцінку води за небезпекою забруднення ґрунтів важкими металами, детергентами, нафтопродуктами та іншими токсикантами.

Глибина залягання рівня ґрунтових вод (РГВ)

Оцінюють середню за вегетаційний поливний період глибину залягання ґрунтових вод: на зрошуваних землях, прилеглих до площ зрошення, а також у зонах впливу масивів зрошення тощо. Ураховується (РГВ) першого від поверхні водоносного горизонту на період досліджень. Середню за поливний період глибину залягання РГВ розглядають відносно до „критичної” глибини ($H_{кр}$), тобто такої глибини, при якій утворюється оптимальний водно-повітряний режим для вирощування сільськогосподарських рослин і відсутня загроза вторинного засолення ґрунтів. Під $H_{кр}$ мають на увазі середню за вегетаційно-поливний період глибину залягання РГВ, яку визначають з урахуванням мінералізації ґрунтових вод, гранулометричного складу ґрунтів та підґрунтя, характеру ґрунтового покриву та зволоженості території. Критичні глибини РГВ розроблено для степової зони України гідрогеолого-меліоративними експедиціями Держводгоспу України та ІГіМом за даними узагальнення

багаторічного досвіду експлуатації зрошувальних систем. Для оцінки показника використовують режимні спостереження однорічного та багаторічного циклів, а також карти глибин залягання ґрунтових вод, які складено гідрогеолого-меліоративними експедиціями Держводгоспу, організаціями Держкомгеології України.

Мінералізація підґрунтових вод

Показник оцінюється тільки при глибинах залягання РГВ менше 5 м від поверхні землі. Для оцінки мінералізації ґрунтових вод використовують існуючу класифікацію Комітету ЮНЕСКО (табл. 5).

Таблиця 5

Класифікація ґрунтових вод за ступенем мінералізації

Мінералізація, г/л	Найменування класу води
<1,0	Прісні
1,0-3,0	Слабосолоні
3,0-10,0	Середньосолоні (солонуваті)
10,0-35,0	Солоні
>35,0	Розсоли

Визначають за результатами гідрохімічного опробування свердловин режимної мережі та стаціонарів гідрогеолого-меліоративної служби Держводгоспу, гідрогеологічної стаціонарної мережі Держкомгеології.

Ступінь засолення верхнього метрового шару ґрунтів та підґрунтя

Існуючі класифікації за ступенем засолення ґрунтів складено з урахуванням реакції сільськогосподарських рослин на вміст солей у ґрунті. За даними В.А. Ковди [80,81], зниження врожайності середньосолестійких культур при слабкому засоленні складає від 5 до 20 %, при середньому – до 20-30 і при сильному – 30-50 % та вище.

За ступенем і характером засолення земель визначають засоленість верхнього метрового шару. Показник оцінюють за результатами сольових зйомок та випробувань, даними сольових і ґрунтово-сольових стаціонарів та спеціальних досліджень. Тип і ступінь засолення визначають за вмістом легкорозчинних солей у водній витяжці. Тип засолення ґрунтів та підґрунтя слід визначати за середньозваженим вмістом іонів згідно з табл. 6, а ступінь засолення ґрунтів і підґрунтя (категорія) встановлюють за сумарним вмістом солей з урахуванням типу засолення згідно з табл. 7.

Таблиця 6

Тип засолення ґрунтів

Тип засолення	Умовні позначення	Співвідношення аніонів (в мг-екв/100г ґрунту)		
		$\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4}$	$\frac{\text{HCO}_3}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{HCO}_3}{\text{SO}_4}$
Хлоридний	X	>2,5	-	-
Сульфатно-хлоридний	CX	2,5-1	-	-
Хлоридно-сульфатний	XC	1-0,25	-	-
Сульфатний	C	<0,25	-	-
Содовий	Cg	-	>2,5	-
Хлоридно-содовий	XCg	-	2,5-1	-
Содово-хлоридний	CgX	-	1-0,25	-
Сульфатно-содовий	CCg	-	-	2,5-1
Содово-сульфатний	CgC	-	-	1-0,25

		Співвідношення аніонів (в мг-екв/100г ґрунту)		
		$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{Mg}$	$\frac{Na}{Ca}$
Кальцієвий	К	2,5	-	-
Магнієво-кальцієвий	МК	2,5-1	-	-
Кальцієво-магнієвий	КМ	1-0,25	-	-
Магнієвий	М	<0,25	-	-
Натрієвий	Н	-	>25	-
Магнієво-натрієвий	МН	-	2,5-1	-
Натрієво-магнієвий	НМ	-	1-0,25	-
Кальцієво-натрієвий	КН	-	-	2,5-1
Натрієво-кальцієвий	НК	-	-	1-0,25

Таблиця 7

Класифікація ґрунтів за ступенем засолення

Вміст солей при різних типах засолення, %						Ступінь засолення
X	CX	XC	C	із підвищеним вмістом гіпсу	змішаний, з участю соди	
<0,05	<0,1	<0,2	<0,3	<1,0	0,1	Незасолені
0,05-0,15	>0,1-0,2	0,2-0,4	0,3-0,4	1,0-1,2	0,1-0,2	Слабозасолені
0,15-0,3	0,2-0,4	0,4-0,6	0,4-0,8	1,2-1,5	0,2-0,3	Середньозасолені
0,3-0,7	0,4-0,8	0,6-0,9	0,8-1,2	1,5-2,0	0,3-0,5	Сильнозасолені
>0,7	>0,8	>0,9	>1,2	>2,0	>0,5	Дуже сильно засолені

Ступінь солонцюватості ґрунтів

Осолонцювання – це найбільш розповсюджений процес на зрошуваних землях. Ступінь природної солонцюватості ґрунтів за вмістом поглинутого натрію оцінюють згідно з існуючою класифікацією, яку наведено в табл. 8.

Таблиця 8

Класифікація ґрунтів та підґрунтя за ступенем солонцюватості

Ґрунти	Вміст натрію від суми поглинутих катіонів, %				
	Несолонцюваті	Слабо-солонцюваті	Середньо-солонцюваті	Сильно-солонцюваті	Солонці
Високогумусні	<5	5-10	10-15	15-20	>20
Малогумусні	< 3	3-5	5-10	10-15	> 15

Визначення ступеня вторинної солонцюватості ґрунту необхідно здійснювати на основі комплексу таких показників (табл. 9):

- вмісту увібраних $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, % від суми катіонів;
- відношення активності натрію до активності кальцію ($\frac{a_{\text{Na}}}{\sqrt{a_{\text{Ca}}}}$);
- термодинамічного натрієво-кальцієвого потенціалу, який характеризує процес осолонцювання ($\text{pNa} - 0,5 \text{pCa}$);
- вмісту карбонатів і активності кальцію (протисолонцююча буферність, табл. 10);
- гранулометричного складу ґрунтів.

Якщо наведені показники вказують на різні ступені вторинної солонцюватості, пріоритет надається вмісту увібраних $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, % від суми катіонів. При цьому на підставі наявних даних припускають, що при слабкому ступені вторинної солонцюватості зниження врожаю складає в середньому до 15-20 %, середньому – до 20-30 %, сильно – до 40-50 % і вище. Відсутність матеріалів просторової характеристики показника ступеня солонцюватості ґрунтів не дозволяє на даному етапі виконати його регіональне картографування і скласти відповідну карту. Тому при оцінці еколого-меліоративного стану земель показник враховано тільки в конкретних фіксованих точках за даними окремих стаціонарів з фактичним розвитком солонцюватих ґрунтів та в точках, де потенційно можливий процес осолонцювання.

Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості

Ступінь солонцюватості	Буферність ґрунтів								
	Низькобуферні			Середньобуферні			Високобуферні		
	Na+K, %	$\frac{aNa}{\sqrt{aCa}}$	pNa-0,5 p Ca	Na+K, %	$\frac{aNa}{\sqrt{aCa}}$	pNa-0,5 p Ca	Увібрані Na+K, %	$\frac{aNa}{\sqrt{aCa}}$	pNa-0,5 p Ca
<i>Важкі ґрунти</i>									
Не солонцюваті	<1	<0,5	>1,65	<3	<1	>1,35	<5	<2	>1,05
Слабосолонцюваті	1-3	0,5-1	1,65-1,35	3-6	1-3	1,35-0,87	5-10	2-7	1,05-0,50
Середньо-солонцюваті	3-6	1-3	1,35-0,87	6-10	3-7	0,87-0,50	10-15	7-10	0,50-0,35
Сильносолонцюваті	>6	>3	<0,87	>10	>7	<0,50	>15	>10	<0,35
<i>Легкі ґрунти</i>									
Не солонцюваті	<3	<1	>1,35	<5	<2	>1,05	<6	<3	>0,87
Слабосолонцюваті	3-6	1-3	1,35-0,87	5-10	2-7	1,05-0,50	6-12	3-8	0,87-0,44
Середньо-солонцюваті	6-10	3-7	0,87-0,50	10-15	7-10	0,50-0,35	12-16	8-12	0,44-0,27
Сильносолонцюваті	>10	>7	<0,50	>15	>10	<0,35	>16	>12	<0,27

Примітки: Важкі ґрунти – важкосуглинкові і легко глинисті; легкі – середні суглинки.

Таблиця 10

Градація ґрунтів за протисолонцюючою буферністю

Буферність ґрунту	Вміст CaCO ₃ , %	Активність іонів кальцію, м-екв/л ґрунтового розчину
Низько буферні	<2	<6
Середньо буферні	2-10	6-10
Високо буферні	>10	>10

Ступінь підлуження ґрунтів

Зрошення часто викликає зміну лужних характеристик ґрунтів. Природа підлуження при цьому різноманітна. Це засолення та осолонцювання ґрунтів, надходження соди з підґрунтових вод, поливи лужними водами тощо. Запропоновано градації ґрунтів за ступенем підлуження та токсичної лужності. Визначено рівні зниження врожайності при різному ступені підлуження, від 15-20 % – при слабкому, до 30-50 % – при сильному ступені. Розроблено градацію ґрунтів за ступенем підлуження за комплексом показників (табл. 11), які увійшли до діагностичних критеріїв ступеня деградації зрошуваних ґрунтів.

Таблиця 11

Градація ґрунтів за ступенем підлуження

Назва ґрунтів	Показники			
	pH	HCO ₃ ²⁻	HCO ₃ -Ca	pH—pNa
Слаболужні	8,0-8,5	До 0,3	0,5—1,0	4,0—5,0
Середньолужні	8,5-9,0	0,3—0,9	1,0—2,0	5,0—5,5
Сильнолужні	>9,0	>0,9	>2,0	>5,5

При зрошенні посилюється міграція важких металів та фтору по профілю ґрунтів. Ступінь забруднення ґрунтів важкими металами оцінюють за сумарним показником ступеня забруднення Z_c , а також шляхом порівняння фактичного їх вмісту з фоновим та гранично допустимими концентраціями. Вміст водорозчинного фтору оцінюють за градацією, представленою в табл. 12.

Таблиця 12

**Градація зрошуваних ґрунтів за вмістом водорозчинного фтору
(шар ґрунту 0-30)**

Вміст водорозчинного фтору, мг/кг ґрунту	Рівень вмісту фтору
<3	Низький
3—6	Середній
6—9	Високий
10	ГДК
>10	Забруднений ґрунт

Вміст і склад гумусу

За даними деяких дослідників С.А. Балюка та ін., зрошення викликає в одних випадках безперервне зниження гумусу, в інших – він залишається без змін або збільшується. Пропонується за гранично допустиму норму зменшення вмісту гумусу вважати 20 % від його вмісту у вихідних ґрунтах (до початку зрошення або на незрошуваних ґрунтах) й відносити ці ґрунти до сильнодегерованих.

Зміна агрофізичних властивостей

При зрошенні в більшості випадків спостерігається зміна агрофізичних властивостей. При цьому орний шар зрошуваних ґрунтів стає більш щільним, брилистим, його шпаруватість і водопроникність

зменшується. Як показник зміни агрофізичних властивостей зрошуваних ґрунтів доцільно використовувати структурно-агрегатний склад (повітряно-сухі та водостійкі агрегати) і щільність складення орного шару.

Ступінь виявлення негативних екзогенних процесів

Ступінь виявлення або ураженості території негативними екзогенними (геологічними та техногенними) процесами оцінюють за коефіцієнтом просторової ураженості (K_n), який відображує частину площі, яку обіймає той чи інший процес в межах досліджуваної території (регіонально-типової області або окремої її частини). Коефіцієнт просторової ураженості розраховується за формулою:

$$K_n = \frac{f_{np}}{F},$$

де f_{np} – площа, яка охоплена тим чи іншим процесом;

F - загальна площа території, яка оцінюється.

Серед регіонально розвинутих екзогенних процесів переважають процеси підтоплення та заболочування, площинної та лінійної ерозії, активізації зсувів, суфозійного карсту, просядок та гідроморфної трансформації ґрунтів (подоутворення). Класифікація території за ступенем ураженості тим чи іншим негативним екзогенним процесом наведена в табл. 13.

**Класифікація території за ступенем ураженості
негативними екзогенними процесами**

Значення коефіцієнта просторової ураженості - K_p	Ступінь ураженості території (категорія)
0 < K_p < 0,01	Процеси відсутні
0,01 < K_p < 0,1	Слабкий
0,1 < K_p < 0,35	Середній
0,35 < K_p < 0,5	Сильний
K_p > 0,5	Дуже сильний (кризовий)

Ступінь ураженості території декількома процесами оцінюють для кожного з них з урахуванням масштабу картографування. Разом з переліченими вище показниками він покладений в основу оцінки еколого-меліоративного стану степової зони України. Як показали численні дослідження, ступінь змін властивостей зрошуваних ґрунтів може бути різним: від слабкого, який практично не впливає на функціонування ґрунтів і врожай рослин, до сильного, що змінює ґрунтові властивості й режими та різко знижує врожай. Усе це робить нагальною розробку діагностичних критеріїв деградації зрошуваних ґрунтів. При цьому за критерій визначення ступеню деградації того чи іншого параметра необхідно прийняти зниження врожайності культур та розроблені градації ступеня прояву того чи іншого процесу.

Діагностичні критерії ступеня деградації зрошуваних ґрунтів наведено в табл. 14.

**Діагностичні критерії деградації зрошуваних ґрунтів
(за С.А. Балюком)**

№ пор.	Показники	Недеградований ґрунт	Ступінь деградації		
			слабкий	середній	сильний
1	Засоленість ґрунтів, вміст солей	Незасолені	Слабо-засолені	Середньо-засолені	Сильно-засолені
2	Осолонцювання ґрунтів	Несолонцюваті	Слабо-солонцюваті	Середньо-солонцюваті	Сильно-солонцюваті
3	Підлуження ґрунтів	Немає	Слабо-лужні	Середньо-лужні	Сильно-лужні
4	Гумусний стан ґрунтів: Зменшення вмісту гумусу, % від початкового	Немає	до 5	5—20	>20
5	Агрофізичний стан: Повітряно-сухі агрегати (0,25-10,0 мм)	>70	60—70	40—60	<40
	Водостійкі агрегати (>0,25 мм)	>45	35—45	25—35	<25
8	Рівноважна щільність, г/см ³ Важкі ґрунти	<1,3	1,3-1,4	1,4—1,6	>1,6
	Легкі ґрунти	<1,3	1,3—1,5	1,5-1,6	>1,6
9	Техногенне та сільськогосподарське забруднення: сумарний показник ступеня забруднення ґрунтів важкими металами (Zc)	<16	16-32	32—128	>128
	Вміст водорозчинного фтору, мг/кг ґрунту	<6	6—10	10—20	>20

Оцінку кожного з показників здійснюють за чотирма градаціями: не-деградований ґрунт (добрий стан); слабкий ступінь деградації

(задовільний стан, ґрунти із слабким класифікаційно значущим ступенем вираженості того чи іншого деградаційного процесу); середній ступінь деградації (незадовільний стан, ґрунти із середнім ступенем деградаційного процесу); сильний ступінь деградації (кризовий стан, ґрунти із сильним ступенем деградаційних процесів).

Перелік процесів і показників ґрунтово-екологічного стану зрошуваних земель і методів їх визначення наведені в табл. 15.

Таблиця 15

Перелік процесів, показників і методів їх визначення

№ пор.	Процеси, показники	Методи визначення
1	Засолення ґрунтів. Вміст солей у ґрунті (СО ₃ , НСО ₃ , СІ, S ₀ ₄ , Са, Mg, Na, К, рН)	ГОСТ 26428-85 «Почвы. Методы определения катионно-анионного состава водной вытяжки»; ГОСТ 26423-85 «Методы определения рН и плотного остатка водной вытяжки»; ГОСТ 26424-85 «Почвы. Методы определения ионов карбонатов и бикарбонатов в водной вытяжке»; ГОСТ 26425-85 «Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке»; ГОСТ 26426-85 «Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке»; ГОСТ 26427-85 «Почвы. Методы определения натрия и калия в водной вытяжке»;
2	Солонцюватість ґрунтів. Вміст обмінних натрію, калію, кальцію та магнію	ГОСТ 26428-85 «Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке» ГОСТ 26950-86. «Почвы. Методы определения обменного натрия»; ГОСТ 26487-85. «Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методом ЦИНАО»; ГОСТ 26210-84. «Почвы. Определение обменного калия»
3	Активність іонів Н, Са і Na в зрошувальних водах та ґрунтах	Потенціометричні методи визначення активності іонів водню, натрію та кальцію в зрошувальних водах та ґрунтах. Київ, 1997
4	Вміст гумусу в ґрунтах	ГОСТ 26213-91. «Почвы. Методы определения органического вещества»
5	Агрофізичні властивості. Щільність складення. Структурно-агрегатний склад	Метод режущего кольца (Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А., 1973). Сухое и мокрое просеивание методом Саввинова (Методическое руководство, 1969)

6	Забруднення ґрунтів. Вміст важких металів і фтору	Инструкция по определению тяжелых металлов и фтора химическими методами в почвах, растениях и водах при изучении загрязненности окружающей среды. — М.: Гидрометеиздат, 1978
7	Якість іригаційних вод	ДСТУ 2730-94. «Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії» ВНД 33-5.5-02-97. Якість води для зрошення. Екологічні критерії
8	Критична глибина ґрунтових вод	Оценка гидрогеолого-мелиоративного состояния орошаемых земель. — К.: Урожай, 1991

Методика польових досліджень

Завдання оцінки ґрунтово-меліоративного стану зрошуваних земель реалізується шляхом:

- проведення щорічного ґрунтово-меліоративного контролю зрошуваних і прилеглих до них земель;
- створення ділянок тривалого стаціонарного нагляду за динамікою властивостей зрошуваних ґрунтів;
- порівняльних аналітичних досліджень на ключах-аналогах;
- періодичних ґрунтово-меліоративних зйомок зрошуваних і прилеглих земель (ВБН 33-5.5-01-97 «Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу». Ч. 1 - Зрошувані землі).

Комплексна оцінка еколого-меліоративного стану земель

Оцінку еколого-меліоративного стану території виконують згідно із запропонованим комплексом показників (табл. 4), які відображують загальні закономірності зміни еколого-меліоративного стану освоєваних масивів (зрошуваних та прилеглих до них земель). Оцінку здійснюють на конкретний період часу за середнім балом відповідно до оціночних шкал (критеріями) зміни показників. Середній бал визначається як середнє арифметичне суми оціночних показників. Це дозволить ідентично

виконати оцінку при неоднаковій кількості показників у різних точках, а також при недостатній для оцінювання показників інформації. Залежно від значень середнього бала запропоновано кількісну оцінку еколого-меліоративного стану земель. Балом 0,3-1,0 (до 1,0) оцінюють явно добрий або задовільний еколого-меліоративний стан, який не потребує при збереженні існуючого рівня експлуатації і навантажень застосування додаткових заходів. Потрібний лише вибірковий щорічний контроль. Задовільний із загрозою погіршення стан оцінюють значенням середнього бала від 1,0 до 5,0. Без застосування додаткових агро-меліоративних заходів у найближчі три-п'ять років він неминуче погіршиться; потрібно випереджаюче планування заходів, щоб не допустити переходу земель в незадовільний стан. Бал 5-10 характеризує незадовільний стан, який потребує безвідкладного використання агро-меліоративних заходів, у тому числі й зміни технологій зрошувального землеробства. При значенні середнього бала більше 10,0 без корінної меліорації земель їх експлуатація недоцільна, площі повинні виключатися з освоєння. У залежності від того, які показники стають причиною незадовільного або задовільного із загрозою погіршення стану, намічають конкретні агро-меліоративні або природоохоронні заходи, визначають їх зміст, обсягом, черговість та терміни вводу. Оцінку виконують на базі загального природно-меліоративного районування .

Аналіз стану зрошуваних земель еколого-меліоративного стану земель

При проведенні оцінки еколого-меліоративного стану як джерела інформації були використані польові, фондові та архівні матеріали й звітна документація різноманітних відомств (в основному Держкомгеології та Держводгоспу) відповідно до нормативних документів. Площі з близьким заляганням РГВ характерні для заплавлі рік, низьких надзаплавних терас,

узбережних зон морів та лиманів, окремих ділянок зрошуваних масивів як вододільного (Інгулецька зрошувальна система Миколаївської області, Явкінська зрошувальна система Одеської області), так і терасового типу.

За мінералізацією ґрунтових вод спостерігається закономірне її зниження з півдня на північ від 5-10 і більше до 1 г/л і менше. Більш високі значення мінералізації характерні для вододільних просторів, низькі (до 1-3 г/л) – у заплавах рік. Високомінералізовані води віднесені до Присивашської зони та приморських зон тощо. Розподіл площ за глибиною залягання РГВ на зрошуваних землях України такий: менше 1 м – 0,2 %, 1-2 м – 3-4 %, 2-3 м – 10-12 %, 3-5 м – 15 % та більше 5 м – 70 % від загальної площі зрошення; за мінералізацією ґрунтових вод: менше 1,1 г/л – 25-28 %, 1,1-3 г/л – 30-32 % і більше 3,1 г/л – 30-33 %. Аналіз існуючого матеріалу свідчить, що в основному засолені ґрунти, приурочені до морських терас, дельт, заплав та низових терас річок, а також до днищ великих балок, найчастіше мають генетичне походження. Основні площі середньо- та сильнозасолених ґрунтів в Одеській, Херсонській, Запорізькій і Донецькій областях та Автономній Республіці Крим розташовані в приморській зоні в межах морських терас. Вони трапляються між оз. Сасик та Алібей, між Хаджибейським та Куяльницьким лиманами, вздовж Каркінітської затоки, Молочного лиману, Феодосійської затоки та ін. У Дніпропетровській, Запорізькій та Луганській областях такі ґрунти приурочені до заплав таких великих рік, як Орель, Самара, Сіверський Донець, а також до їх приток (річок Бик, Янчул, Гайчур, Деркул, Айдар, Євсуг та ін.). Найменшу засоленість мають заплави рік Південного Бугу та його притоків, Темгула, Великого Куяльника, Інгула та Інгульця. Основна ж частина ґрунтів заплав рік та низьких терас степової зони України мають слабкий ступінь засоленості. На зрошуваних масивах Одеської та Миколаївської областей на захід від Південного Бугу, де для зрошення

використовували води завищеної мінералізації (зрошення на місцевому стоці), спостерігаються площі слабого засолення. У Херсонській області, в районах Інгулецького, Краснознам'янського та Каховського каналів розповсюджені незасолені ґрунти зі слідами соди. Кількість сильно- та середньозасолених ґрунтів на масивах зрошення обмежена й трапляються у вигляді окремих плям. Таким чином, процеси вторинного засолення мають обмежений розвиток. У цілому на зрошуваних землях України площі зі слабким ступенем засолення становлять 6-8 %, із середнім – 1-2 % та сильним – 0,5-1,0 %. Оцінку еколого-меліоративного стану земель виконували на базі загального природно-меліоративного районування території з використанням скороченого комплексу показників для дрібно-масштабного картографування, критеріїв та методики, розробленої ІГіМом. При оцінці до складу гідрогеологічних показників входили глибина залягання РГВ відносно критичної, мінералізація ґрунтових вод; інженерно-геологічних – ступінь ураженості території екзогенними процесами (гідроморфна трансформація ґрунтів та подоутворення, ерозійний розмив та денудація, підтоплення та заболочування, просадка та суфозійний карст); ґрунтово-меліоративних - засоленість ґрунтів і підґрунтя верхнього метрового шару, ступінь осолонцювання (в окремих точках). Оцінку виконували з використанням бальної шкали з градаціями показників за середнім балом (Бсер.) комплексу показників. Якщо при велико- та середньомасштабних (1:200 000, 1:250 000 та більше) дослідженнях детальність оцінки передбачала визначення п'яти категорій стану (добрий, задовільний, задовільний із загрозою погіршення, незадовільний та вкрай незадовільний), то при дрібномасштабних (1:200 000-1:750 000 та менше) граничні градації об'єднували з визначенням трьох категорій еколого-меліоративного стану: добрий (Бсер. до 1,0), задовільний (Бсер.=1,0-5,0) та незадовільний (Бсер. більше 5,0).

У регіональному плані ділянки з негативним еколого-меліоративним станом земель приурочені до заплав рік, схилів річкових долин та балок, низьких надзаплавових терас, прибережних та приканальних зон, подів та мікрозападин, а також до зрошуваних земель. Негативний стан земель у межах заплав річок півдня України обумовлений головним чином засоленням ґрунтів (південно-західна приморська частина Одеської області, ліві притоки Сіверського Дінця у Луганській області, лівобережна частина Дніпропетровської області, заплави рік Орель, Самара, Вовча). На окремих площах незадовільний стан викликано дуже близьким заляганням ґрунтових вод, підтопленням або заболочуванням земель. У Присивашші до цих показників додається ще й солонцюватість ґрунтів, а також висока мінералізація ґрунтових вод. На окремих ділянках заплав рік (Донецька область) відмічені активні процеси карстоутворення (відкрита форма карсту). У межах крутих схилів річкових долин та балок незадовільний стан земель обумовлено інтенсивним розвитком площинної ерозії, яроутворення, зсувів та обвалів. На півдні Одеської та Миколаївської областей на деяких ділянках при практично суцільному розповсюдженні зрошуваних земель незадовільний стан викликано активно діючими карстовими процесами на схилах, рідше суфозією. Інтенсивно ці процеси розвинуті вздовж Каховського водосховища в межах Херсонської області. Місцями, переважно у Миколаївській області та Криму незадовільний стан земель на схилах пов'язаний з розвитком у їх межах середньозасолених ґрунтів (на ущільнених глинах). На вододільних просторах ділянки з незадовільним еколого-меліоративним станом приурочені головним чином до зрошуваних площ як наслідок підйому РГВ вище критичних позначок та підтоплення території (Миколаївська, Дніпропетровська, рідше – Одеська області, Крим). Інколи ці процеси посилюються високою мінералізацією ґрунтових вод. У межах південної частини Дунай-Дністровського межиріччя (Одеська область), у

Херсонській, рідше – Запорізькій областях причиною незадовільного стану земель є осідання лесових ґрунтів на зрошуваних площах. В окремих регіонах Херсонської, Дніпропетровської, Луганської областей та Автономної Республіки Крим активного розвитку набувають суфозійно-карстові процеси та процеси гідроморфної трансформації ґрунтів. У межах Херсонської області райони незадовільного еколого-меліоративного стану нерідко приурочені до подів (як давніх, так і новоутворених), де проходить гідроморфна трансформація ґрунтів та лесових порід. Значна частина і зрошуваних, і прилеглих до них богарних земель, які зазнають впливу іригації, характеризується задовільним станом. Найбільше таких земель у Дніпропетровській, Херсонській, Миколаївській та Одеській областях. У межах заплав річок та днищ балок такий стан викликано як неглибоким заляганням ґрунтових вод (практично повсюдно), так і слабким засоленням ґрунтів (межиріччя Дунай-Дністер, Крим, південь Запорізької області, лівобережна частина Дніпропетровської області, заплави майже всіх рік Донецької та Луганської областей). У межах терасових та вододільних рівнин півдня України незадовільний еколого-меліоративний стан обумовлено переважно розвитком зсувних процесів (північно-західна частина Одеської області), площин змиву ґрунтів та підґрунтя (схили балок, річкових долин та крупних подів), підвищеною мінералізацією ГВ (Миколаївська, Херсонська, Запорізька області), подоутворенням (Херсонська, у меншій мірі Одеська та Миколаївська області). Рідше загроза погіршення стану викликана розвитком негативних процесів (карсту, суфозії, осідання, еолових процесів тощо), засоленням та солонцюватістю ґрунтів.

Заходи покращення агроекологічного стану зрошуваних земель

Профілактичні заходи:

- переглянути концепцію використання земельних ресурсів відносно еколого-економічних критеріїв та адаптації до конкретних умов;

- території, співвідношення сільськогосподарських культур у зрошуваних сівозмінах;

- виконати комплексну регіональну оцінку сучасного екологічного стану земельних ресурсів. Із цією метою провести зусиллями служб Укрземпроектів, ГГМЕ та обласних станцій хімізації інвентаризацію зрошуваних земель шляхом обстеження їх стану;

- на підставі результатів обстеження розробити регіональні програми з підвищення родючості ґрунтів, одержання проектної врожайності;

- оцінити рівень техногенного впливу та ступінь його еколого-економічної адаптації до стану земель:

- виконати ранжування земель за еколого-економічними критеріями з подальшим районуванням території;

- організувати та провести моніторингові роботи, створити єдину нормативно-методичну документацію та структуру інформаційної бази, які враховують вимоги існуючих видів й блоків моніторингу. Із цією метою розширити програму та обсяг показників, які контролюють ГГМЕ за рахунок розроблених в ПА діагностичних критеріїв і показників стану зрошуваних земель:

- виявити і картографувати зони існуючих кризових ситуацій та зони з потенційною небезпекою їх розвитку як об'єкти, які потребують невідкладного прийняття рішень за результатами комплексної оцінки.

Оперативні заходи:

До оперативних належить віднести комплекс таких агро меліоративних, агротехнічних та агрохімічних засобів, як оперативне управління режимами зрошення, поліпшення якості зрошувальних вод, очищення води, планування поверхні з регулюванням поверхневого стоку, дренаж тощо. Розробка та призначення заходів, які спрямовані на збереження або поліпшення еколого-меліоративного стану земельних ресурсів, базуються на результатах оцінки еколого-меліоративного стану земель, динаміки ґрунтоутворювальних процесів та умов росту рослин. Залежно від того, який конкретно показник (або група показників) є причиною незадовільного стану, цілеспрямовано намічають конкретні меліоративні заходи, терміни їх введення. До оперативних заходів запобігання розвитку негативних процесів та оптимізації умов росту рослин відносять:

- проведення реконструкції зрошувальних систем, якій повинна передувати детальна ґрунтово-меліоративна зйомка зрошуваних земель;

- застосування автоматизованих інформаційно-дорадчих систем управління режимами зрошення, якістю іригаційної води, кальцієвим та поживним режимами. У їх основі лежить розробка та створення математичних моделей, які враховують динаміку процесу в часі та в залежності від величини техногенного навантаження. Інформаційно-дорадчі системи дозволяють дозувати техногенні навантаження в оптимальному режимі стосовно до стану земель;

- здійснення систематичного контролю за еколого-меліоративним станом земель та окремих його показників, створення розгалуженої мережі режимних та стаціонарних пунктів спостереження, яка відповідає вимогам одержання достовірної інформації.

Перспективні заходи:

Насамперед необхідно розробити державне положення про використання земель меліоративного фонду. Виявлення оптимального співвідношення ріллі з іншими вгіддями та лісовими насадженнями, включаючи заповідники і заказники та проведення на цій основі реконструкції землекористування. Перехід від концепції суцільного зрошення до оазисного (локального) із впровадженням більш економних засобів зрошення. Розробка вимог для виконання екологічної експертизи на різних етапах проектних, будівельних та експлуатаційних робіт. Розробка комплексної програми підвищення технічного рівня зрошуваних та осушених земель на рівні обласних водогосподарчих установ. Розробка та впровадження агроекологічної концепції зрошення земель та біогеохімічних принципів екологічного нормування припустимих навантажень на екосистеми. Проведення моніторингу земель меліоративного фонду, розробка науково-обґрунтованої програми робіт з організації моніторингу зрошуваних земель. Створення розгалуженої мережі банків інформації та автоматизованої системи управління ними, створення геоінформаційних систем (ГІС). Створення імітаційних моделей для виявлення оптимальних режимів експлуатації, параметрів та варіантів використання тих чи інших земель. Удосконалення заходів кількісного та якісного обліку меліорованих земель на підставі дистанційного зондування, використання аеро- та космічних знімків. Проектування та створення системи дослідно-виробничих полігонів і стаціонарів для ведення постійних, довготривалих спостережень за динамікою ґрунтових процесів. Складання прогнозу ґрунтово-меліоративних режимів і загальних екологічних умов та розробка рекомендацій щодо їх регулювання.

Критерії оцінки і нормативи стану осушених ґрунтів

За даними Держводгоспу, загальна площа осушених ґрунтів становить 3 млн. 120 тис. га. Безпосередньо в складі сільгоспугідь – 2 млн. 600 тис. га. Проте близько 800 тис. га осушених земель не освоєно і використовуються неефективно: як сінокоси і пасовища з урожайністю сіна не вище 15-20 ц/га. Коефіцієнт використання багатьох масивів осушених земель знизився до 0,4-0,7 і продовжує падати. Це обумовлено не тільки загальною економічною кризою, але й виходом із ладу дренажних систем через відсутність коштів на їх своєчасний технічний ремонт і реконструкцію. Низька ефективність використання осушених земель спричинена також деградацією ґрунтового покриву на осушених і деякій частині прилеглих до них земель, яка набула в останні роки широкого розвитку.

За Р.С. Трускавецьким, для їх розробки узагальнені результати численних досліджень у цьому напрямі. Наведені в табл. 16 і 17 критерії і нормативи агроекологічного стану осушених земель вимагають постійного вдосконалення, а деякі параметри – нових розробок. Наприклад, на сьогодні залишаються невизначеними оцінки рівня забрудненості ґрунтів важкими металами, пестицидами, ерозійної піддатливості осушених ґрунтів тощо. Шляхом узагальнення літературних джерел і результатів багаторічних досліджень Інституту ґрунтознавства та агрохімії та інших закладів встановлені основні види можливих деградацій осушених земель, що призводять до виникнення кризових екологічних ситуацій:

- 1) дегуміфікація мінеральних ґрунтів;
- 2) спрацювання осушених торфовищ;
- 3) виробка торфових покладів без їх рекультивації та торфові пожежі;
- 4) переосушення;
- 5) хімічна деградація (озалізнення, окарбоначення, засолення, алюмінізація, підкислення та підлуження тощо);
- 6) вторинне заболочування;
- 7) вітрова і водна ерозії на осушених землях;

- 8) надмірне ущільнення верхніх горизонтів ґрунту;
- 9) забруднення ґрунтів важкими металами і залишками пестицидів;
- 10) радіонуклідне забруднення ґрунтів.

Виходячи з названих видів деградації, наводимо перелік окремих критеріїв, що використовуються для оцінки агроекологічної ситуації на осушених землях (табл. 16). При цьому чітко розрізняємо дві генетично відмінні групи осушених земель: мінеральні (заболочені глейові) і органічні (торфові).

Таблиця 16

Критерії оцінки агроекологічного стану осушених ґрунтів

Види деградації	Критерії (показники) оцінки
Ущільненість ґрунту	Об'ємна маса ґрунту та його шпаруватість
Заболоченість та переосушення земель	Рівень залягання підґрунтових вод; строки відведення гравітаційних вод із верхнього 0-50 см шару ґрунту і початок весняних польових робіт на осушеному полі; вологість ґрунту, поява болотних рослин чи ксерофітів
Дегуміфікованість ґрунту	Запаси гумусу у верхньому 0-50 см шарі мінерального ґрунту, відхилення від норми
Спрацювання осушених торфовищ	Осідання торфовища; відношення втрат органічних речовин з торфового покладу до накопичення перегною у верхньому 0-50 см шарі ґрунту. Запаси сполук заліза і карбонатів у верхньому 0-50 см шарі ґрунту
Засоленість ґрунтів	Запаси токсичних солей у верхньому 0-30 см шарі ґрунту в період випітного режиму
Декальцинація і кислотність ґрунтів	Форми кислотності; рН-буферна ємність; вапняний потенціал
Хімічне забруднення	Вміст нітратів, фтору, міді, кадмію, цинку, свинцю, токсичної органіки тощо
Радіонуклідне забруднення	Щільність радіації; накопичення цезію, стронцію та інших радіонуклідів
Виробленість торфового покладу	Глибина залишкового (після виробітку) торфу; наявність траншей (% від відведеної для виробітку площі)
Еродованість ґрунту	Щорічні втрати дрібнозему і торфозему через розвиток ерозійних процесів

Якщо переважна частина мінеральних земель зазнає відносно менш відчутного негативного впливу на їх стан від проведення дренажних робіт, то торфові землі належать до екологічно дуже вразливих і процеси їх деградації залежно від режиму водорегулювання і напряму використання можуть розвиватися досить інтенсивно. Критерії оцінки агроекологічного стану осушених земель базуються як на окремих, так і на комплексних (інтегральних) показниках складу та властивостей ґрунтів, що формують той чи інший „малюнок” ґрунтового покриву.

Для визначення благополучних, передкризових і кризових агроекологічних ситуацій на осушених землях проведено групування (класифікацію) кількісних показників за ступенем їх прояву (табл. 17). В основу групування покладені узагальнені дані фондкових і літературних джерел та багаторічні результати експериментальних досліджень ІГА УААН та інших наукових і навчальних закладів з морфології, агрофізичних та агрохімічних характеристик цілинних і осушених ґрунтів різного генезису та рівня продуктивності.

Нормативна оцінка агроекологічного стану осушених ґрунтів

Деградація		Оціночні критерії, показники, одиниці виміру	Нормативи оцінки стану				
Деградація	Види		сприятли-вого	передкризового			кризового
				слабо вираже-ного	середньви-раже-ного	сильнови-раженого	
Механічна	Вітрова і водна ерозія	Зменшення глибини гумусових (торфових) горизонтів, в % від вихідної	<10	10-20	20-40	40-60	>60
	Ущільнення мінеральних ґрунтів	Об'ємна маса, г/см ³ для суглинкових ґрунтів супіску піску Загальна шпаруватість	<1,2	1,2-1,3	1,3-1,4	1,4-1,5	>1,5
			<1,5	1,5-1,6	1,6-1,7	1,7-1,9	>1,9
>55			55-50	50-45	45-40	<40	
	Осадка торфовищ	Зменшення глибини торфового шару, см/рік	<0,1	0,1-0,5	0,5-1,0	1,0-5,0	>5
Біохімічна	Дегуміфікація мінеральних ґрунтів	Щорічне зменшення вмісту гумусу, %	<0,2	0,2-0,5	0,5-0,7	0,7-1,0	>1,0

	Спрацювання торфовищ	Втрати органічних речовин через мінералізацію торфу, т/га, в середньому за рік	<3,0	3-7	7-12	12-20	>20
		Накопичення (вихід) перегнійних речовин у 0-50 см шарі на 1 т мінералізованого (втраченого) торфу, кг/га	>400	400-300	300-200	200-100	<100
Хімічна	Озалізнення торфових ґрунтів	Вміст валових сполук заліза (Fe ₂ O ₃), %	<4	4-8	8-15	15-30	>30
	Окарбоначення	Вміст карбонатів кальцію (CaCO ₃), %	<10	10-15	15-30	30-40	>40
	Декальцинація і підкислення	Вапняний потенціал (рН-0,5рСа), одиниць	<4,5	4,5-3,5	3,5-3,0	3,0-2,5	>2,5
	Забруднення торфових ґрунтів міддю	Вміст міді, %	<10	10-20	20-30	30-40	>40
Радіологічна	Забруднення радіонуклідами: мінеральних ґрунтів торфових ґрунтів	Щільність забруднення, Кі/км ²	<0,4 <0,2	0,4-1,0 0,2-0,5	1,0-5,0 0,5-1,0	5,0-15 0,1-5,0	>15 >5,0
Гідрологічна (торфові ґрунти)	Вторинне заболочення осушених земель	Рівень залягання підґрунтових вод в середньому за рік, см у весняний період, см	>70 >45	60-70 45-35	50-60 35-30	40-50 30-20	<40 <20
	Переосушення (аридизація) земель	Рівень залягання підґрунтових вод у середньому за рік, см	<100	100-120	120-140	140-150	>150

Аналіз стану осушених ґрунтів

Будівництво осушувальних, а в даний час – осушувально-зволожувальних систем, є високоенергозатратним і ресурсозатратним засобом покращання екологічного стану. Саме тому кожний конкретний проект гідротехнічної меліорації вимагає всебічного еколого-економічного обґрунтування. У цьому відношенні критеріям якості заболочених і болотних земель, рівню їх потенційної родючості належить провідне значення. Окупність затрат на меліорацію потенційно родючих земель у три-чотири рази вища, ніж на меліорацію земель низьких категорій якості (наприклад, лучних та лучно-болотних, солонцевих комплексів, перехідних і верхових торфовищ, рихлопіщаних та важкоглинистих глейових ґрунтів тощо). Стрибкоподібне зниження ефективності гідромеліорації почалося саме з того часу, коли вичерпався фонд гідроморфних земель високих категорій якості і меліорація поширилася на землі низьких категорій. У даний час через це виникла навіть потреба в так званій ренатуралізації осушених земель низьких категорій якості і їх трансформації в землі іншого, більш раціонального використання та природоохоронні об'єкти.

Кризові ситуації на осушених землях створюються в результаті спрацювання торфовищ, дренажування рихлопіщаних глеюватих ґрунтів, верхових і перехідних торфовищ, засолених заплавлених земель і солонцевих комплексів, сильно озалізненних і карбонатних ґрунтів, забруднення ґрунтів важкими металами, залишками агрохімікатів, радіонуклідами, виникнення торфових пожеж і безсистемної виробки торфовищ. Осушені землі з кризовим агроекологічним станом мають місце майже у всіх регіонах їх поширення. Це землі радіоактивного забруднення, вироблених торфовищ і торфових згарищ, сильного озалізнення й окарбоначення осушених земель, переосушених та спрацьованих торфовищ, виходи на поверхню безплідної

мінеральної породи, вторинного засолення осушених ґрунтів. Серед різних видів кризових ситуацій на осушених землях є такі, які характерні тільки для певного геохімічного регіону (засолення, наприклад, для Лівобережного Лісостепу, алюмінізація – для поверхнево оглеєних ґрунтів Прикарпаття і Закарпаття тощо), і такі, які можуть мати місце у всіх без виключення природних регіонах осушених земель (наприклад, дегуміфікація ґрунтів, спрацювання торфовищ тощо). Значна частина осушених земель (до 10 %) зазнала радіонуклідного забруднення. Площа вироблених торфовищ досягла 105 тис. га. Це непридатні для сільськогосподарського виробництва землі, які вимагають відповідної рекультивації та вибору напряму використання. Кризові ситуації мають місце в результаті знімання верхнього гумусового шару під час культур-технічних робіт, що призводить до різко вираженої гетерогенності ґрунтового покриву (з'явлення на поверхні світлих малопродуктивних плям ґрунтоутворної породи).

За даними Держводгоспу на 1995 р., із всієї площі осушених земель на Україні (2 млн. 667 тис. га) в доброму меліоративному стані перебувало 1630186 га, задовільному – 878920 га і незадовільному – 152720 га. Ці дані явно «прикрашені», оскільки вони не враховують всіх показників, які характеризують агроекологічний стан осушених земель, зокрема їх біопродуктивність і різні види ґрунтової деградації. Відповідно до категорій якості осушених земель здійснюється першочерговість їх реконструкції і модернізації (удосконалення систем водорегулювання), а також вибір характеру сільськогосподарського використання.

Заходи покращення агроекологічного стану осушених земель

До профілактичних заходів слід віднести:

- детальну екологічну експертизу проектів реконструкції і модернізації гідромеліоративних систем і особливо нового будівництва;
- детальна інвентаризація об'єктів осушувальних меліорацій, глибокий аналіз причин погіршення агроекологічного стану осушених гідроморфних земель, у т.ч. кризового;
- постійний технічний контроль за режимом функціонування дренажних систем і систем водорегулювання;
- заборона застосування екологічно небезпечних технологій хімічної, культуртехнічної та інших меліорацій і вирощування сільськогосподарських культур.

До тактичних (оперативних) заходів належать такі:

- встановлення, обґрунтування і реалізація найбільш раціональних напрямів використання осушених земель, насамперед деградованих і низької категорії якості;
- своєчасна корекція системи удобрення, обробітку і сівозміни на основі постійно діючого моніторингу осушених ґрунтів;
- запровадження і перехід на енерго- і ресурсозберігальні технології відтворення родючості ґрунтів.

Перспективними заходами, що розраховані на довгостроковий період, є такі:

- розробка довгострокової програми водних, хімічних, фітобіологічних та інших меліорацій гідроморфних земель з метою поступової трансформації їх у землі високої категорії якості, створення стабільного продовольчого фонду України;
- реконструкція (модернізація) гідромеліоративних мереж у гумідних регіонах України і перехід на нові високомобільні, екологічно надійні і ресурсозберігальні водорегулюючі системи;

- вибір обґрунтованих напрямів використання і спеціалізації рослинництва на осушених землях;

- удосконалення і реалізація раціональної структури земельних угідь (ріллі, пасовищ, сіножатей, багаторічних насаджень, створення буферних природоохоронних смуг, ренатуралізація земель кризового стану, створення стійких агроландшафтів);

- удосконалення господарювання на осушених землях, передача їх у приватну власність, встановлення цін і створення капіталу земель меліоративного фонду, режиму його відтворення і збільшення

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які складові беруть до для розрахунку водного балансу території?
2. Як розрахувати запаси загальної, продуктивної та непродуктивної вологи в шарі ґрунту в м³/га та мм?
3. Чим відрізняються класифікації форм води у ґрунті в Україні і США?
4. Що таке ДАВ? Які, на вашу думку, можуть існувати недоліки у цього показника?
5. Які основні типи водного режиму і де мають визначальне значення в Україні?
6. Визначіть «плюси та мінуси» чорного пару в регулюванні водного режиму ґрунту. Де б Ви рекомендували вдаватись до цього заходу?
7. Обґрунтуйте заходи регулювання водного режиму в зоні Полісся (Лісостепу, Степу) України.
8. Які деградації ґрунтів можуть розвиватися при зрошенні? Що треба враховувати для їх прогнозування? Які заходи застосувати для їх профілактики та меліорації ґрунтів?
9. Обґрунтуйте роль гідротехнічних споруд для заходів лісомеліорації для управління водним режимом ґрунтів.
10. Що таке двобічне регулювання водного режиму і де його застосовують?

2. УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РЕЖИМОМ ҐРУНТУ

2.1. Повітря у ґрунті

Повітря у ґрунті відрізняється від атмосферного динамічністю, непостійністю свого складу. Атмосферне повітря має більш-менш постійний склад: 78% N₂, 21% O₂, майже 1% Ar, 0,03% CO₂. Серед компонентів ґрунтового повітря O₂ і CO₂ - найбільш динамічні, їх вміст коливається в значних межах, залежно від інтенсивності мікробіологічних процесів, взагалі процесів «дихання» ґрунту, а також швидкості газообміну між ґрунтом та атмосферою.

Вміст CO₂ в ґрунтовому повітрі може бути в сотні і десятки разів вищим, ніж у атмосферному, а концентрація O₂ може знизитися до 10% і нижче.

У ґрунтах під ріллею з доброю аерацією, сприятливими фізичними властивостями вміст кисню протягом вегетаційного періоду не буває нижче 18, а вміст CO₂ - вище 1-2%. Перезволоження ґрунтів важкого механічного складу може підвищити вміст CO₂ в їх орному шарі до 4-6%, а вміст O₂ знизити до 15%.

Гази можуть рухатися у ґрунті як порами вільними від води, так і в розчиненій формі через ґрунтову вологу. Зниження інтенсивності процесу аерації, викликане незадовільним дренажем, перезволоженням та переущільненням ґрунтів здатне сильно затримувати ріст рослин. Різка погіршення аерації може бути пов'язане з неодноразовими проходами важкої сільськогосподарської техніки по поверхні ґрунту при внесенні добрив, боротьбі з бур'янами, шкідниками і хворобами, при збиранні врожаю. На думку А.Д.Вороніна (1986), в наш час аерація ґрунтів стала основним лімітуючим фактором підвищення урожайності сільськогосподарських культур, так як недостача елементів живлення і води може бути успішно компенсована, а вміст кисню підвищити важко.

Вміст азоту у ґрунтовому повітрі теж може зменшуватись чи збільшуватись. В анаеробних умовах в ґрунті відбуваються відповідні реакції, як хімічні, так і біохімічні. Наприклад, денітрифікація відбувається за такою схемою: $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. В невеликій кількості в ґрунтовому повітрі завжди присутні леткі органічні сполуки різної природи (метан, етилен, тощо.). Інколи їх концентрація може досягати токсичних значень, особливо що стосується вмісту етилену, метану, аміаку та фосфіну в болотних ґрунтах.

В порах різного розміру склад ґрунтового повітря неоднорідний. В порах більшого розміру повітря більш рухоме, менш збагачене CO_2 і більше містить O_2 .

В крайніх випадках, за умов дуже утрудненої аерації, концентрація O_2 може знизитися майже до нуля.

Слід пам'ятати, що перед тим, як рослини почнуть страждати від нестачі кисню, деякі у них можуть страждати від надлишку CO_2 та інших газів.

Газообмін ґрунту з атмосферою може відбуватися за двома механізмами: конвекції та дифузії. Основним механізмом газообміну є дифузія. При конвекції силою, що змушує повітря рухатися є градієнт загального тиску, що призводить до переміщення всієї маси повітря із зони з вищим у зону з нижчим тиском.

При дифузії рухаючою силою є градієнт парціального тиску будь-якого компонента газової суміші (повітря). Нерівномірно розподілені молекули рухаються із зони з більш високою концентрацією до зони з більш низькою, навіть коли газова суміш загалом перебуває в ізобарному стані. Надходження повітря в ґрунт з опадами, виштовхування назовні вологою ґрунтового і вбирання (засмоктування) атмосферного повітря - усі ці процеси також сприяють газообміну між ґрунтом та атмосферою.

Зміна температури ґрунту, атмосферного тиску, швидкості вітру, рівня підґрунтових вод - все це викликає зміни в об'ємі ґрунтового повітря, наслідком чого є надходження або вихід повітря з ґрунту.

Швидкість дифузії газів через ґрунт нижча, ніж в атмосферному повітрі. Цю швидкість оцінюють за коефіцієнтом дифузії, що дорівнює кількості речовин, яка проникає через 1 см^2 поверхні при товщині шару 1 см та градієнті концентрації, що дорівнює одиниці.

Коефіцієнт дифузії в ґрунті завжди нижчий, ніж у «вільному» повітрі. Він зменшується при зниженні пористості аерації. Межею нормальної аерації є коефіцієнт дифузії CO_2 $0,009 \text{ см}^2/\text{с}$. При нижчому його значенні газообмін у ґрунті утруднений.

Дифузійний перенос газів у ґрунті відбувається частково в газовій, а частково - в рідкій фазі. Дифузія через пори, заповнені повітрям підтримує газообмін між ґрунтом та атмосферою, в той час як дифузія через водні плівки різної товщини безпосередньо забезпечує постачання кисню до гідратованих живих тканин коренів, а також відбирання від них вуглекислоти. Таким чином, необхідна для рослин аерація забезпечується двома шляхами: через повітрянні пори та через плівки води.

Коефіцієнт дифузії у ґрунті менший від коефіцієнта дифузії в повітрі через те, що ґрунтові частки знижують поверхню взаємодії компонентів. Чим вища пористість аерації, тим вища і ця поверхня.

2.2. Повітряні властивості ґрунтів

Стан газообміну у ґрунті оцінюють за такими властивостями: 1) повітрепроникність; 2) повітреємність. Їх називають повітряними властивостями ґрунту.

Повітрепроникність - це здатність ґрунту пропускати через себе повітря. Її можна виміряти кількістю мілілітрів, що проходить через 1 см^2 ґрунту при товщині шару в 1 см за секунду. Чим вище

повітрепроникність, тим краще забезпечується газообмін, тим більше O_2 і менше CO_2 в ґрунтовому повітрі.

Повітрепроникність залежить від ряду факторів: 1) механічного складу ґрунту; 2) структурного стану та пористості аерації; 3) щільності зложення ґрунту; 4) вологості.

Чим більші пори аерації, тим вища повітрепроникність.

Повітремісткість - це вміст повітря у ґрунті в процентах від об'єму. Цей показник залежить від тих же факторів, що і повітрепроникність. Чим вища пористість і менша вологість ґрунту, тим більше повітря міститься в ньому.

Максимальна повітреємність характерна для сухих ґрунтів і дорівнює їх загальній пористості. Особливе значення має пористість аерації ґрунту при його найменшій вологоємності (НВ). Її величина не повинна опускатися нижче 15%. Найкращі умови для аерації ґрунту створюються при пористості аерації 20-25% в мінеральних ґрунтах і 30-40% у болотних.

2.3. Регулювання водно-повітряного режиму ґрунту

Сукупність процесів надходження, руху, зміни складу та фізичного стану повітря у ґрунті, а також газообмін ґрунтового повітря з атмосферним створюють повітряний режим ґрунту.

Він залежить від фізичних, хімічних, фізико-хімічних, біологічних властивостей ґрунту, а також кліматичних і погодних умов, агрофону (вирощуваної культури та агротехніки).

Структурні ґрунти пухкого складення, що добре інфільтрують воду, мають високу некапілярну і капілярну пористість характеризуються оптимальним повітряним режимом. Ґрунти з постійним чи тимчасовим перезволоженням, навпаки, - потребують покращення повітряного режиму, тобто його регулювання за допомогою агротехнічних та меліоративних заходів.

Необхідність проведення цих заходів обґрунтовують основними показниками повітряного режиму: повітресмістю, повітрепроникністю, швидкістю дифузії, складом ґрунтового повітря, інтенсивністю виділення ґрунтом вуглекислоти. Пористість аерації для забезпечення сприятливих для рослин умов повинна бути не нижче 20-25% від об'єму ґрунту. На переущільнених і безструктурних ґрунтах навіть при оптимальній вологості (НВ) пористість аерації може бути нижчою за критичну величину (15%).

Допустимі норми складу ґрунтового повітря дуже залежать від температури ґрунту. Наприклад, у дерново-підзолистому суглинковому ґрунті оптимальний склад ґрунтового повітря має місце тоді, коли вміст CO_2 не перевищує 2-3%, а концентрація O_2 - не нижче 18-19%; при загальному вмісті повітря не менше 20% від об'єму ґрунту, якщо температура ґрунту понад 15°C. Якщо ж температура становить 10-15°C, сприятливі умови аерації забезпечуються при нижчій пористості аерації - 15-20%. В торфовищах пористість аерації повинна бути не нижчою 30-35% для забезпечення нормального газообміну.

Обробіток ґрунту покращує аерацію, підсилюючи інтенсивність газообміну, але це явище має тимчасовий характер. Покращення аерації може бути більш-менш тривалим лише в добре оструктуреному ґрунті. Мінімізація обробітку ґрунту сприяє зниженню амплітуди коливання щільності, збереженню вертикальних пор, що добре фільтрують воду і цим самим теж покращує аерацію ґрунту.

Біологічна активність (дихання) ґрунту коливається в широких межах (0,5-10 кг/га за годину). Найвищу біологічну активність ґрунт має в період максимальних приростів кореневої системи і вегетативної маси рослин, якщо цьому сприяють вологість і температура ґрунту. Концентрація CO_2 в ґрунтовому повітрі може дещо зростати. Різні сільськогосподарські

культури мають різні вимоги до аерації ґрунту. Ці вимоги зменшуються в ряду: картопля > кукурудза > зернові > багаторічні трави.

Велике значення для рослин має тривалість періоду з несприятливою аерацією, тому для характеристики повітряного режиму ґрунту доцільно знати добову і сезонну (річну) динаміку складу ґрунтового повітря.

Добова динаміка визначається добовим ходом температури і атмосферного тиску, зміною швидкості фотосинтезу та іншими факторами.

Ці фактори впливають на інтенсивність дифузії, дихання коренів, мікробіологічну активність ґрунту. Добові коливання складу ґрунтового повітря охоплюють, як правило, лише верхню півметрову товщу ґрунту. Амплітуда цих змін для кисню і вуглекислого газу не перевищує 0,1-0,3%. Найбільш істотно протягом доби змінюється інтенсивність дихання ґрунту. Склад ґрунтового повітря може оновлюватися протягом доби на 10-15%.

Сезонна (річна) динаміка визначається річним ходом атмосферного тиску, температури, опадів, а також вегетаційними ритмами розвитку рослин, мікробіологічною активністю ґрунту. Максимальний вміст O_2 (і мінімальний - CO_2) спостерігається в літній період, а восени та взимку товща ґрунту звільняється від накопиченої вуглекислоти. За оптимальної вологості з підвищенням температури ґрунту вміст CO_2 в ґрунтовому повітрі зростає, а вміст O_2 - знижується. За високих температур і при вологості близькій до ВСВ склад ґрунтового повітря наближається до атмосферного.

Для складу ґрунтового повітря характерна та чи інша вертикальна диференціація в профілі ґрунту. Для більшості ґрунтів звичайним є підвищення концентрації CO_2 з глибиною (концентрація O_2 відповідно знижується).

Зрошення, змінюючи термодинамічні умови у ґрунті, істотно змінює як вміст так і склад повітря. При дощуванні нормою 250-300 $m^3/га$ відбуваються лише слабкі зміни в складі ґрунтового повітря, так що через

2-3 доби система знову підходить до стану динамічної рівноваги. Дощування на чорноземах більш високими нормами (500-600 м³/га) викликає істотні зміни в складі ґрунтового повітря, що треба враховувати особливо при вирощуванні овочів, дуже чутливих до аерації.

При окультуренні ґрунтів відбувається оптимізація їх повітряного режиму. Застосування органічних і мінеральних добрив, хімічна меліорація, зрошення та осушення - все це активізує біологічні процеси, підвищує інтенсивність дихання ґрунту.

Внесення органічних добрив в гідроморфні ґрунти необхідно поєднувати з покращенням їх повітряного режиму (кротовим дренажем). При глибокому заорюванні на глеєвих безструктурних ґрунтах органіка в анаеробному середовищі трансформується з накопиченням відновлених речовин і виділенням газів (CH₄, CO₂, H₂S, NH₃ та ін.), що токсично впливають на рослини. Тому треба зменшувати глибину заорювання, застосовувати хімічну меліорацію, безполицевий (глибокий плоскорізний) обробіток ґрунту, мінімалізацію системи обробітку, яка підвищує буферність ґрунту до ущільнення.

Потреба в управлінні водно-повітряним режимом впливає з недостатнього водозабезпечення землеробства у зоні Степу, надлишку ґрунтової вологи при кисневому голодуванні у переважаючій частині ґрунтів нечорноземної зони, нестійкому (ризикованому) волого забезпеченні у зоні Лісостепу. Найвищий рівень управління водно-повітряним режимом ґрунтів досягається за допомогою гідротехнічної меліорації, що передбачає будівництво та експлуатацію зрошувальних та осушувально-зволожувальних систем. Системи односторонньої дії не забезпечують стійкого оптимального водно-повітряного режиму ґрунту, особливо у посушливі роки та вегетаційні періоди. Технічно більш досконалі осушувально-зрошувальні системи, в тому числі і польдерного типу, дозволяють мобільно управляти

водно-повітряним режимом. Такі недешеві системи повинні бути сумірними з потенціальною продуктивністю ґрунтів зрошуваного масиву. Меліоровані земельні масиви Полісся мають дуже розвинений мезорельєф, що спричиняє нерівномірний розподіл вологи в кореневмісному шарі ґрунту. Тому не густа мережа відкритих чи закритих осушувачів у поєднанні з ретельною реконструкцією природної поверхні земельної ділянки є перспективним напрямком у формуванні окультурених агроєко-систем з високим рівнем управління і саморегулювання продуктивності ґрунту. Просторова гомогенізація ґрунтового покриву дозволить ефективно управляти не лише водно-повітряним, але й іншими основними режимами осушуваних ґрунтів. На думку С.І. Веремеєнка [5], водний режим є визначальним у комплексі заходів управління родючістю та окультуренням ґрунтів Полісся. Вологозабезпеченість коливається від надлишкового у болотних до недостатнього у легких автоморфних та переосушених ґрунтах. Освоєння, осушення призводить до погіршення волого забезпечення сільськогосподарських культур на легких піщаних ґрунтах. Стійким водним режимом характеризуються дерново-глейові та торфові осушувані ґрунти. Для підтримання вологості ґрунту в оптимальних межах та достатнього водоспоживання рослин на легких дерново-підзолистих ґрунтах слід проводити додаткове зволоження та колоїдно-хімічні меліорації, на торфових – внесення піску та суглинку. На осушуваних ґрунтах рівень ґрунтових вод (РГВ) слід підтримувати у межах 0,6 – 1,2 м.

У зоні Степу досягти оптимального водного режиму ґрунтів на незрошуваних землях практично не вдається. Чотири роки із п'яти посушливі. На півдні України вже тривалий час функціонують великі іригаційні системи, що дозволяють ефективно управляти водним режимом. Але через недостатньо добру якість зрошувальної води, підняття ґрунтових вод у ряді місць підсилюються процеси деградації ґрунтів.

Грунтово-меліоративні вимоги до техніки поливу зводяться до збереження і покращення структури ґрунту, попередження ерозійних процесів, недопущення промочування ґрунту до межі розрахункового (активного кореневмісного) шару ґрунту, запобігання усіх видів забруднення ґрунту. Дотримання ґрунтово-меліоративних умов – основний аспект управління водним режимом зрошуваного ґрунту. Але ефективне управління тут неможливе без врахування агробіологічних, організаційно-господарських та економічних вимог до техніки поливу, які розглядаються у курсі меліорації.

Протидіяти розвитку ґрунтових деградацій певною мірою дозволяє комплекс агро-меліоративних заходів, що включає строго нормований режим зрошення, глибоку меліоративну оранку, хімічну меліорацію зрошувальних вод і зрошуваних ґрунтів, введення спеціальних сівозмін, щілювання (на схилах), кротування, дренаж, тощо.

Використання мінералізованих та лужних вод для зрошення чорноземів призвело до виникнення процесів вторинного засолення, осолонцювання, під луження та злитизації. Виникли сумніви у доцільності регулярного зрошення чорноземів взагалі. Але практичний досвід свідчить про те, що при високому рівні організації і культури зрошувального землеробства воно дає високий і стабільний еколого-економічний ефект. За будь-яких умов треба пам'ятати, що чим вища мінералізація зрошувальної води і вище в ній співвідношення вмістів хлориду і сульфату ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) в мг.екв. на 1 л, тим вища вірогідність розвитку вторинного засолення. Також потрібно завжди пам'ятати, що як тільки концентрація (мг.екв. на 1 л) Mg^{2+} вища від концентрації Ca^{2+} , то негативні ефекти зрошення, аж до формування магнезійного солонця, обов'язково дадуть про себе знати. В усьому світі вже непогано себе зарекомендував метод прогнозування впливу зрошувальної води на ґрунт, що враховує хімічну термодинаміку та кінетику процесів іонного обміну.

Перше, з чого варто виходити – це розглядати систему в цілому – «поливна вода+зрошуваний ґрунт+умови їх взаємодії між собою», особливо температура. Окремі методи такого прогнозування викладені у курсі охорони ґрунтів, що входить до бакалаврського циклу. Із найдоступніших методів заслуговує на увагу застосування показника довгострокового прогнозу (κ):

$$\kappa = (pNa - 0.5pCa) \text{ для води} / (pNa - 0.5pCa) \text{ для ґрунтової частки при ПВ на дистильованій воді}$$

Зрошувальна вода покращуватиме зрошуваний ґрунт при $\kappa > 1$, бо при цьому Ca^{2+} , що є у воді частково увійде до ГВК. В США, де прогнозування результуючої частки обмінного Na^+ після зрошення користуються показником частки (від ємності обміну катіонів) обмінного Na^+ ;

$$ESR = Kg \cdot SAR,$$

де *ESR* – *exchangeable sodium ratio* – частка обмінного Na^+ (від ЄКО);

Kg – константа Гапона, що для американських умов коливається у вузьких межах (0,010-0,015), хоча за даними І.М. Антипова-Каратаєва (Э.А. Возбуждая. Химия почвы), його величина складає близько 0,019, як це встановив один із авторів даної розробки;

SAR – натрієве адсорбційне відношення, що давне (з середини 50-х років) широко використовується у всьому світі, запропоноване Л. Річардсом:

$$SAR = VNa^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2$$

Якщо $SAR > 12$, то $ESR > 0,15$, тобто ґрунт буде осолонцьованим за американськими стандартами.

За класифікацією Антипова-Каратаєва, ступінь осолонцьоватості ґрунту може бути оцінений за % обмінного Na^+ від ЄКО. У США цей показник називають *ESP* – процент (відсоток) обмінного Na^+ :

$$ESP = 100ESR / (1 + ESR),$$

На жаль, використовувані у США параметри і нормативи не враховують осолонцювуючої дії на ґрунт обмінного Mg^{2+} , яка проявляється при його вмісті більше 30% від ЄКО.

Досягнення високого рівня управління водним режимом має місце на зрошувальних системах з автоматизованим режимом поливів. Створені інформаційно-порадчі системи управління зрошенням, котрі виключають непродуктивні втрати поливної води та стабілізують оптимальні продуктивні запаси ґрунтової вологи у відповідності з фазами органогенезу рослин.

Водний режим чорноземів типових і звичайних в незрошуваних умовах слід регулювати основним чином за рахунок впровадження комплексу агротехнічних і лісомеліоративних заходів, що сприяють поглинанню ґрунтом атмосферних опадів та їх ефективному використанню рослинами. Певну роль у цьому може відігравати і чорний пар, але слід пам'ятати про надмірні втрати гумусу в ґрунті під чорним паром, які можуть досягати 2-4 т/га. На схилових землях для підвищення водоакумулюючої здатності поверхні ґрунту дуже важливу роль може відігравати щілювання. Резерви підвищення ефективності лісо- та агро-меліоративних заходів в управлінні водним режимом чорноземів типових та звичайних також ще себе не вичерпали. Боротьба за підвищення коефіцієнта використання атмосферних опадів (water harvesting) повинна розгортатися в системі «ґрунт-рослина». З одного боку, потрібна розробка нових та удосконалення існуючих водозберігаючих агро-меліорацій та технологій вирощування культур, з іншого – дуже важливо створювати і впроваджувати посухостійкі сорти сільськогосподарських культур.

За умов інтенсифікації землеробства без зрошення можлива втрата здатності ґрунту до саморегулювання водно-повітряного режиму. Під впливом важкої техніки і тракторів ущільнюється кореневмісний шар ґрунту на значну глибину (наприклад, на чорноземних ґрунтах –

до 60-70 см). Це зменшує пористість та водопоглинальну здатність ґрунту, запаси продуктивної вологи і пористість аерації. При багатократних проходах важких тракторів процес розуцільнення чорноземів при об'ємних змінах обмежений. Для попередження переуцільнення ґрунту необхідно здвоювати чи розширювати колеса тракторів та іншої техніки, знижувати тиск у шинах, застосовувати машини з невеликою масою, зменшувати кількість проходів техніки по полю шляхом поєднання технологічних операцій, широко застосовувати широкозахватні та комбіновані агрегати, мінімалізацію обробітку ґрунту. Разом з тим слід пам'ятати, що здвоювання коліс не усуває переуцільнення нижніх горизонтів кореневмісного шару ґрунту. Будь-які заходи, що перетворюють ґрунтовий покрив, збільшуючи у ґрунті запаси гумусових речовин, покращуючи структурно-агрегатний склад та біологічні властивості ґрунту, підвищують саморегулюючу здатність (буферність) ґрунтів не лише по відношенню до водно-повітряного, але і інших режимів (теплого, окислювально-відновного, мікробіологічного, поживного, тощо).

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які ви знаєте повітряні властивості ґрунтів та яку роль відіграє кожна з них у формуванні повітряного (водно-повітряного режиму ґрунту)?
2. Які механізми газообміну забезпечують повітряний режим ґрунту? Яка відносна роль кожного механізму?
3. Чи можна пов'язати водно-повітряний та окисно-відновний режими ґрунту? Запропонуйте власну систему показників ОВП для оцінки водно-повітряного режиму?
4. Чи може водно-повітряний та ОВ режим ґрунту впливати на режим елементів живлення? В яких ґрунтах можливий найбільший прояв цього впливу?

5. Як впливає переущільнення ґрунтів на їх водно-повітряний режим?
6. Які показники використовують для прогнозування негативного впливу зрошувальної води на склад обмінних катіонів ґрунту?
7. Обґрунтуйте заходи покращення водно-повітряного режиму мінеральних та органічних ґрунтів зони Полісся.
8. Обґрунтуйте роль мінімалізації системи обробітку ґрунту в зоні Лісостепу та Степу України у покращенні водно-повітряного режиму ґрунтів.
9. Чому у ґрунтах середнього та важкого гранулометричного складу заходи покращення структури є водночас і заходами покращення їх водно-повітряного режиму?
10. Чи здатне здвоєння коліс не допускати переущільнення ґрунту?
11. Яку роль відіграє гумус ґрунту у регулюванні його водно-повітряного режиму і чому?

3. УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВИМ ТА СВІТЛОВИМ РЕЖИМОМ ҐРУНТУ

3.1. Теплові властивості ґрунту

Сукупність властивостей ґрунту, що обумовлюють його здатність поглинати і проводити через себе теплову енергію, називається **тепловими властивостями ґрунту**.

До теплових властивостей ґрунту належать:

- 1) тепловбирна здатність;
- 2) теплоємність;
- 3) теплопровідність.

Тепловбирна (теповідбивальна) здатність ґрунту - це його здатність поглинати (або відбивати) деяку частину сонячної радіації, що падає на її поверхню. Цей показник характеризується величиною альbedo (A) - часткою короткохвильової сонячної радіації, яка відбивається поверхнею ґрунту ($Q_{\text{від}}$), вираженою в процентах від загальної сонячної радіації ($Q_{\text{заг}}$):

$$A = Q_{\text{від}} / Q_{\text{заг}} \cdot 100$$

Альbedo залежить від ряду властивостей ґрунту: кольору, кількості і якості органічної речовини, механічного складу, структурності, вологості та стану поверхні. Діапазон відбиття променистої енергії поверхнею коливається в межах 8-40% (табл. 18).

Як видно з таблиці, темні багаті на гумус ґрунти вбирають більше сонячної радіації, ніж світлі; альbedo дуже залежить від характеру рослинного вкриття. Оструктурені ґрунти з шорсткою поверхнею більш теплі, ніж безструктурні.

Теплоємність ґрунту, або його здатність поглинати теплову енергію (C) виражається через приріст теплоти (Q) в ґрунті при зміні його температури (T):

$$C = Q / T$$

Фізичний смисл теплоємності виражається в кількості теплоти, необхідного для нагрівання одиниці маси (1 г) чи об'єму (1 см³) ґрунту на 1°С. У відповідності з цим розрізняють три види теплоємності - питому, об'ємну та ефективну.

Питома теплоємність ґрунту (С) виражає кількість теплоти, необхідну для нагрівання одиниці маси (1 г) абсолютно сухого ґрунту на 1°С в інтервалі температур від 14,5 до 15,5°С.

Об'ємна теплоємність (С_у) дорівнює кількості теплоти, необхідної для нагрівання одиниці об'єму (1 см³) сухого ґрунту на 1°С в тому ж інтервалі температур.

Та теплоємність ґрунту, що характеризує сумарну кількість теплоти, що витрачається на зміну температури одиниці маси ґрунту і фазові перетворення (випаровування води, конденсацію її пари, кристалізацію та танення льоду, сорбцію та десорбцію газів) називається **ефективною теплоємністю**.

Теплоємність ґрунту залежить від мінералогічного складу, вмісту органічної речовини, вологості, пористості, аерації та інших характеристик (табл. 19).

В природних умовах теплоємність ґрунтів (ефективна) дуже залежить від вологості, оскільки вода має вищу теплоємність порівняно із мінеральними і органічними компонентами ґрунту.

Щоб нагріти вологий ґрунт на 1°С потрібно більше теплоти, ніж для сухого ґрунту. Ще в тридцяті роки П.І.Андріанов запропонував формулу залежності теплоємності від вологості ґрунту:

$$C = 0,2x + 0,7y + (W - y),$$

де x - вміст мінеральної частини у ґрунті, у частках одиниці;

y - вміст міцно зв'язаної води, у частках одиниці;

W - вологість ґрунту, у частках одиниці.

Вологі ґрунти повільніше прогріваються і повільніше охолоджуються ніж сухі. Механічний склад ґрунту теж дуже впливає на його теплові властивості

Таблиця 18

Альbedo різних поверхонь (за А.П.Чудновським, 1959)

Об'єкт дослідження	А, %
Чорнозем сухий	14
Чорнозем вологий	8
Сірозем сухий	25-30
Сірозем вологий	10-12
Глина суха	23
Глина волога	16
Пісок вогкий	9 - 18
Пшениця яра	10-25
Пшениця озима	16-23
Трави зелені	26
Трави висушли	19
Бавовник	20-22
Рис	12
Картопля	19

Таблиця 19

Теплоємність складових частин ґрунту і окремих мінералів

Об'єкт	Теплоємність	
	питома, кал/г	об'ємна, кал/м³
Пісок кварцевий	0,196	0,517
Глина	0,233	0,577
Торф	0,477	0,611
Вода	1,000	1,000
Кварц	0,198	-
Каолін	0,233	-

Глинисті ґрунти у вологому стані весною повільніше прогріваються, ніж піщані. Але восени вони повільніше охолоджуються, стають більш теплими, ніж піщані.

При зрошенні завжди доцільно враховувати відповідне зниження температури ґрунту (і суми біологічно-активних температур) при вирощуванні тих чи інших культур. Але зрошення зменшує альбедо і підвищує теплотасвоєння ґрунту.

ґрунти, багаті на органіку, більш теплоємні і холодні, ніж мінеральні. Добре оструктурені ґрунти з високою пористістю аерації холодніші за безструктурні, змиті.

В основному існує три основних механізми енергопереносу: випромінювання, конвекція та теплопровідність. Всі тіла з температурою понад 0°K випромінюють енергію у формі електромагнітних хвиль за законом Стефана-Больцмана:

$$Q = a \cdot \epsilon \cdot T^4,$$

де a - константа;

ϵ - коефіцієнт емісії, що дорівнює одиниці для ідеального випромінювача (абсолютного чорного тіла);

T - абсолютна температура поверхні тіла.

Абсолютна температура також визначає розподіл випромінюваної енергії за довжиною хвилі. За законом Віна, довжина хвилі випромінювання максимальної інтенсивності - обернено пропорційна до абсолютної температури:

$$\lambda_m = 2900/T,$$

де λ_m виражено в мікронах.

Оскільки температура поверхні ґрунту перебуває в межах від нижче 273 до вище 330°K, радіація, що випромінюється ґрунтом, має довжину

хвилі в межах від 3 до 50 мікрон. Це область інфрачервоного або теплового випромінювання. Інший спектр випромінюється сонцем при температурі близько 6000°К. Сонячна радіація включає область світла (0,3-0,7 мікрона), частину інфрачервоного (до 3 мікрон) і частину ультрафіолетового випромінювання (< 0,3 мікрона). Отже, випромінювання Сонця - короткохвильове, а земної поверхні - довгохвильове.

Механізм теплопереносу, що називається конвекцією, пов'язаний з рухом мас рідини чи газу (океанічні течії, вітри). Прикладом цього механізму є інфільтрація теплої води в холодний ґрунт.

Теплота, що надходить на поверхню ґрунту, під дією градієнта температур (нижчі шари більш холодні) розподіляється у профілі ґрунту з тією чи іншою швидкістю.

Процеси переносу тепла в ґрунті називаються теплообміном, а здатність самого ґрунту проводити тепло (з тією чи іншою швидкістю) називається теплопровідністю.

Теплообмін залежить від теплопровідності, як видно з рівняння термодифузії:

$$dQ = - \lambda dt/dz \cdot Sdt,$$

де Q - потік теплоти, Дж, через площу поверхні S , см²;

t - час, с;

T - температура різних шарів ґрунту, град;

z - глибина шарів ґрунту, см;

λ - коефіцієнт теплопровідності, Дж/см с град.

Знак мінус означає, що перенос теплоти відбувається в бік зниження температури.

Так як теплопровідність складових частин ґрунту коливається в широких межах, коефіцієнт λ - дуже динамічна величина. Нижче подається його значення в Дж/см/с/град (табл. 20).

Таблиця 20

Теплопровідність складових частин ґрунту

Назва	Теплопровідність, Дж/см/с/град
Повітря	0,000210
Торф	0,001107
Вода	0,005866
Лід	0,020950
Кварц	0,00984
Базальт	0,02132
Граніт	0,03362

Теплопровідність повітря в 30 разів менша, ніж теплопровідність води. В середньому теплопровідність мінеральної частини в 100 разів вища, ніж повітря. Щільні ґрунти мають вищу теплопровідність, ніж пухкі, добре оструктурені. Тому вони швидше втрачають тепло. Чим вологіший ґрунт, тим вища його теплопровідність. При накопиченні вологи в ґрунті восени запаси тепла з нього витрачаються повільно, що оберігає посіви озимих культур від ранніх заморозків.

3.2. Тепловий режим ґрунту

Основним показником теплового режиму ґрунту є його температура. У зв'язку з добовою та річною циклічністю надходження сонячної радіації на поверхню ґрунту, для кожного ґрунту характерними є добовий та річний ходи температури.

Добовий хід температури. Максимальна температура поверхні ґрунту спостерігається близько 13 год, а мінімальна - перед сходом сонця. Вдень поверхня ґрунту нагрівається, його температура з глибиною зменшується. Вночі поверхня ґрунту охолоджується найбільше, а з глибиною охолодження зменшується. Найбільша амплітуда коливань температури характерна для шару 3-5 см, а на глибині 35-100 см добові коливання повністю припиняються. Максимум і мінімум добових температур на кожні 10 см глибини «запізнюються» на 2-3 години.

В річному ході температури ґрунту виділяють два періоди: літній з потоком тепла від верхніх горизонтів до нижніх та зимовий з потоком тепла від нижніх до верхніх горизонтів.

Замерзання ґрунту відбувається при температурі дещо нижчій від 0°C, оскільки в ґрунтовому розчині завжди є розчинні речовини:

$$\Delta t_{зам} = KC,$$

де К - криоскопічна стала;

С - молярна концентрація розчину.

Для характеристики температурного режиму (теплозабезпеченості) ґрунтів беруть суму активних температур (>10°C) в ґрунті на глибині 20 см, де розміщена основна маса коренів рослин. В.Н.Дімо запропонував таку класифікацію теплозабезпеченості (табл. 21):

Теплозабезпеченість ґрунту залежно від суми активних температур

Сума активних температур (>10°C) в ґрунті на глибині 20 см	Теплозабезпеченість
<400	низька
400-800	дуже слабка
800-1200	слабка
1200-1600	нижче середньої
1600-2100	середня
2100-2700	вище середньої
2700-3400	добра
3400-4400	дуже добра
4400-5600	висока
> 5600	дуже висока

Співвідношення надходження і витрати сонячної радіації називається радіаційним балансом (T_6). Прихідна частина балансу складається з прямої та розсіяної короткохвильової сонячної радіації (Q_p), а також довгохвильового випромінювання атмосфери (Q_d). Витратна частина балансу - це відбита поверхнею короткохвильова радіація ($Q_{від}$) та довгохвильове температурне випромінювання підстилаючої поверхні ($Q_{вин}$). Рівняння радіаційного балансу має вигляд:

$$T_6 = Q_p + Q_d - Q_{від} - Q_{вин}$$

Він може бути як позитивним, так і негативним. Він визначає переважне нагрівання чи охолодження поверхні ґрунту. Для нього характерна як добова, так і річна періодичність. Сонячна радіація, досягаючи поверхні

грунту перетворюється в теплову енергію. Тепловий баланс складається із таких статей:

- 1) показника радіаційного балансу (T_{σ});
- 2) витрат тепла на трансформацію та випаровування, що можуть досягати 70-80% радіаційного балансу (T_m);
- 3) затрат тепла на теплообмін між поверхнею ґрунту і глибшими шарами (T_n); тепловий потік може бути направленим від поверхні в глибину (літом, вдень) або з глибини до поверхні (взимку, вночі);
- 4) кількості тепла, що витрачається на нагрівання повітря (T_k).

Згідно з законом збереження енергії, тепловий баланс виражається рівнянням:

$$T_{\sigma} + T_m + T_n + T_k = 0$$

Типи теплового режиму ґрунтів. В.Н.Дімо [15] виділяє 4 типи теплового режиму: 1) мерзлотний, 2) тривало сезонно-промерзаючий, 3) сезонно-промерзаючий та 4) непромерзаючий.

Для першого характерна мінусова середньорічна температура, а промерзання товщі ґрунту відбувається аж до шару постійної мерзлоти; для (2) характерне переважання плюсової середньорічної температури, але ґрунт промерзає не менше, ніж на 5 місяців; для (3) - сезонне промерзання ґрунту триває не довше 5 місяців, а підстиляючі породи - не мерзлі; для (4) характерна відсутність промерзання профілю ґрунту.

3.3. Світловий режим ґрунту

Світловий режим ґрунту - сукупність надходжень та віддачі (відображення) світла ґрунтом. Основне джерело світла, що падає на землю, - промениста енергія сонця. Світлового режиму властиві добові і річні цикли (періодичність) надходження на землю. Довжина дня - вирішальний чинник, що впливає на ріст і розвиток рослин. Оскільки

джерело світлової і теплової енергії, теплового і світлового режимів ґрунту один - промениста енергія сонця, частіше і повніше розглядалися тепловий режим ґрунту, його значення та прийоми регулювання. Світловий ж режим ґрунту недооцінювався, хоча, мабуть, він має не менший вплив на ґрунт, ніж тепловий режим

Промениста енергія сонця, притікає до поверхні ґрунту і взаємодіє з нею, відіграє вирішальну роль у диференціації орного шару за родючістю. Верхня частина орного шару більш родюча і біологічно більш активна, оскільки вона піддається впливу такого потужного чинника, як сонячне світло. Це доведено експериментально. Ґрунт, опромінена сонячним світлом, містила елементів живлення більше, ніж ґрунт, яка перебувала в темряві і забезпечувала більший урожай ячменю.

Науковими дослідженнями встановлено, що в залежності від інтенсивності освітлення в значній мірі змінюються мікробіологічна і біологічна активність ґрунту, діяльність ферментів, посилюється окислення гумусу, активізується процес нітрифікації. Сонячне світло - потужний фактор підвищення ефективної родючості ґрунту, роль якого вивчена ще недостатньо.

Світло має велике значення в житті рослин. Під його впливом у рослинах відбувається фотосинтез, завдяки чому рослина створює органічні речовини, а в повітря виділяється кисень, необхідний для дихання всіх організмів. У зв'язку з цим фотосинтез називають повітряним живленням, хоча при фотосинтезі використовується не тільки вуглекислий газ, а й вода, і розчинні в ній сполуки азоту, фосфору, калію та інших елементів, які поглинаються із ґрунту в процесі кореневого живлення.

Світло помітно впливає на ріст і розвиток рослин. При недостатньому освітленні порушується нормальний ріст і в більшості рослин формуються видовжені тонкі стебла. Недостатня інтенсивність світла негативно

впливає на якість врожаю - знижується вміст білка в зернових, цукру - в буряках, крохмалю - в картоплі, жиру - в насінні соняшнику тощо.

Фотосинтезу належить провідна роль в утворенні органічної речовини рослин. Завдяки цьому процесу утворюється 95% маси сухих речовин рослин. Тому керування фотосинтезом посіву - один з найефективніших шляхів управління продуктивністю рослин.

До найважливіших факторів, що визначають рівень продуктивності посівів сільськогосподарських культур, належать: енергія сонячного світла, яку забезпечує проходження фотосинтезу; забезпечення посівів вуглекислим газом; рівень мінерального живлення, умови водопостачання та тепловий режим.

Основне завдання землеробства - використання енергії сонячної радіації з найбільшим коефіцієнтом корисної дії. Необхідність переходу до біологічно чистої енергозберігаючої технології вирощування сільськогосподарських культур зумовлює максимальне використання потенційних можливостей рослин при спрямованому для цього керуванні життєво необхідними факторами їх життя.

За сучасними уявленнями, оптимальні за структурою, рівнем забезпеченості водою, мінеральним живленням та вуглекислим газом посіви найпродуктивніших сортів можуть використовувати 4-5% ФАР (фотосинтетично активної радіації) на фотосинтез та нагромадження органічної речовини. Але при середніх урожаях по країні (25-30 ц/га) зернові культури використовують не більше ніж 0,6-0,9% ФАР. Отже, для збільшення врожаю цих культур існують великі резерви. Важливим для дальшого зростання його є створення високопродуктивних сортів та гібридів, які характеризуються підвищеною фотосинтетичною активністю, а також розроблення науково обґрунтованих технологій їх вирощування.

3.4. Регулювання теплового та світлового режимів ґрунту

Заходи активного впливу на тепловий режим ґрунту ділять на: 1) меліоративні (осушення-зрошення); 2) агро меліоративні (обробіток, мульчування, гребнювання, залишення стерні на зиму, лісомеліорація) та 3) агрометеорологічні (заходи, що знижують випромінювання тепла з ґрунту, заходи по боротьбі з заморозками, димові завіси тощо.)

В овочівництві для поліпшення температурного режиму ґрунту застосовують біопаливо, електричний, паровий та водяний обігрів. Сучасні технології вирощування овочів у відкритому ґрунті вимагають покриття поверхні ґрунту у міжряддях темною поліетиленовою плівкою. Це дає можливість не тільки збільшити надходження тепла до ґрунту та рослин, а й зменшити випаровування вологи та розвиток бур'янів.

Регулювання теплового і світлового режимів ґрунту повинно орієнтуватися на поліпшення умов життя культурних рослин. Воно в залежності від умов зони може бути спрямовано на збільшення потоку тепла і світла до поверхні ґрунту (північні райони) або на зменшення такого (південні райони).

Прийоми активного впливу на тепловий режим ґрунту можна розділити за характером дії на: агротехнічні, агро меліоративні і агрометеорологічні.

До групи *агротехнічних* прийомів відносяться наступні способи обробки ґрунту: глибоке розпушування, прикочування, гребнювання, залишення стерні, мульчування. *Агро меліоративні* прийоми включають лісонасадження, боротьбу з посухою, зрошення, осушення. *Агро метеорологічні* прийоми спрямовані на зниження випромінювання тепла з ґрунту, боротьбу із заморозками і т.д.

Лісові смуги надають комплексну дію на тепловий і водний режими ґрунтів. Вони сприяють накопиченню снігу на полях і скорочують стік

талих вод, безпосередньо впливаючи на температуру ґрунту. Лісові насадження змінюють мікроклімат місцевості, знижують швидкість вітру в межполосном просторі в порівнянні з відкритою місцевістю на 20 - 40%.

Зрошення знижує відбиту радіацію на 20%. Після поливу також зменшується випромінювана радіація. Все це збільшує прихід теплової енергії до ґрунту. Зрошення збільшує теплопровідність ґрунту, що сприяє більш рівномірному її прогріванню і зменшенню температурних коливань.

Застосування великих доз органічних добрив викликає підвищення температури ґрунту. Створення гребенястих поверхні сприяє кращому прогріванню ґрунту, забезпечує велику акумуляцію розсіяної радіації. Температура ґрунту на гребенястих поверхні більш висока. Це особливо важливо для північних областей, так як на гребені протягом дня температура ґрунту вище на 3-5 ° С, ніж на вирівняних ділянках.

Глибина обробітку ґрунту суттєво впливає на її тепловий режим. При глибокій оранці створюється різка неоднорідність ґрунту по глибині: змінюються щільність і вологість, загальна пористість і пористість аерації. Все це впливає на зміну теплопровідності і теплоємності.

Прикочуванням ґрунту можна викликати підвищення її середньодобової температури на 3 - 5 ° С в 10-сантиметровому шарі, залягає нижче ущільненої прошарку. Це пояснюється більш високою теплопровідністю ущільненого шару. Температуру ґрунту можна змінити мульчуванням поверхні. Мульчующе покриття змінює відбивний і випромінювальний елементи радіаційного балансу, тобто альbedo і константи випромінювання поверхні ґрунту. Чорна мульча зменшує альbedo ґрунту на 10-15%. Біла мульча може служити засобом зниження надлишкового нагрівання ґрунту. Застосування в якості мульчующого покриття прозорих плівок призводить до більш інтенсивного нагрівання ґрунту, ніж використання темних плівок. Це відбувається тому, що прозорі плівки пропускають видиму частину

сонячного спектра і інфрачервону радіацію до поверхні ґрунту і зменшують витрату тепла.

До найпростіших прийомів регулювання теплового балансу відносять снігозатримання, створення димових завіс, затінення поверхні ґрунту за допомогою щитів, білої мульчі та ін.

Прийоми регулювання світлового режиму ґрунту в основному ті ж, що і при регулюванні теплового режиму, так як основна стаття приходу тепла і світла в обох балансах одна і та ж - сонячна радіація. Більш специфічне відношення до регулювання світлового режиму мають ще не названі прийоми збільшення площі чорного пару і просапних культур в структурі посівних площ, застосування розріджених посівів і збільшення площі живлення.

Тепловий режим ґрунтів формується і саморегулюється під впливом притоку сонячної радіації та радіаційного балансу. Впливати на тепловий режим ґрунту можна зміною його теплоємності та теплопровідності. Тепловий режим ґрунту потрібно оцінювати за динамікою температурного поля в кореневмісному шарі ґрунту. Слід пам'ятати, що для агронома важливіший температурний, а не взагалі тепловий режим ґрунту. Коефіцієнт температуропровідності дорівнює частці від ділення коефіцієнта теплопровідності на об'ємну теплоємність ґрунту. Слід пам'ятати, особливо при застосуванні зрошення, що максимальне значення цього коефіцієнта, а значить і максимальна швидкість нагрівання ґрунту відповідає вологості розриву капілярів (ВРК). При цьому ґрунт може дуже швидко втратити вологу, пересохнувши до ВСВ – вологості стійкого в'янення рослин. Ось чому при зрошенні режим вологості ґрунту має бути в межах найменша вологоємність – вологість вища за ВРК, тобто в межах 0,1-0,45 атмосфери або 10-45 кПа тензометричного тиску. Слід вивчати динаміку температурного поля,

котра відбиває реальний термічний стан, що складається протягом вегетаційного періоду на різних глибинах ґрунту.

Температурний режим має важливе значення у системі управління продуктивністю ґрунту, але він залишається найменш піддатливим до управління. З ним пов'язані терміни початку та закінчення польових робіт, згубна дія заморозків, мікробіологічна активність ґрунту та мінералізація гумусу, склад ґрунтового повітря, інтенсивність дихання ґрунту, швидкість та інтенсивність прояву різних процесів ґрунтоутворення, тощо. Якщо водний режим є основним транспортним агентом елементів живлення, то тепловий – основним енергетичним джерелом біологічного кругообігу речовин у системі «ґрунт – рослина».

Радіаційний баланс – основний елемент теплового балансу ґрунту на певній території (ділянці землі). Поки що цей показник усіма гідрометеостанціями не вимірюється, але на думку авторів даного підручника, існує підстава відшукати тісну лінійну кореляцію між сумою температур $> 10^{\circ}\text{C}$ і радіаційним балансом на горизонтальній поверхні у даному регіоні. Користуючись рівнянням регресії, тобто простим рівнянням прямої лінії, можна розрахувати відповідний радіаційний баланс. Існує можливість модифікації радіаційного балансу рівної (горизонтальної) ділянки землі для одержання величини цього балансу на схилових землях, враховуючи крутість та експозицію схилу:

$$S = V \cdot [\sinh \cdot \cos\beta + \cosh \cdot \sin\beta \cdot \cos(180 - \xi)],$$

де S – кількість прямої сонячної радіації для схилів різної експозиції та крутості ($\text{Мдж}/\text{м}^2 \cdot \text{рік}$);

V – радіаційний баланс рівної ділянки поділений на \sinh ;

$h = 90^{\circ}$ - градус (північної) широти місцевості;

β – крутість схилу в градусах;

ξ - азимут схилу, що відображає експозицію цього схилу, наприклад, $\xi=0$ для схилу північної експозиції.

Все це треба враховувати при побудові моделі об'єкта управління тепловим режимом. При цьому не слід забувати про можливість математичного опису добових коливань температури на різних глибинах кореневмісного шару ґрунту за допомогою рівнянь гармонічних коливань.

Ґрунти України умовно поділяються на ґрунти високої, середньої та низької теплоємності. До першої групи належать середньогумусовані чорноземи важко суглинкового та глинистого гранулометричного складу (холодні ґрунти). Ґрунти низької теплопровідності (піщані, супіщані) називаються теплими ґрунтами. Але слід пам'ятати, що так звані холодні ґрунти мають вищу теплозасвоюваність, ніж теплі, бо коефіцієнт теплозасвоюваності за А.П. Чудновським дорівнює середньому геометричному показникові двох величин – теплопровідності та об'ємної теплоємності ($\beta = \sqrt{\lambda \cdot c_v}$).

На переважачій частині території України, тепловий режим складається сприятливо для росту і розвитку рослин. Ґрунти не потребують спеціальних теплових меліорацій. Лише на піщаних, торф'яних та лучних ґрунтах інколи вдаються до заходів покращення теплових властивостей ґрунтів та мікрокліматичних умов вирощування рослин.

С.І. Веремеєнко (1997) зазначає, що ґрунти Полісся відносять до сезонно-промерзаючих з тривалістю мерзлого періоду менше 5 місяців. Найвищі теплові ресурси (2500 - 3500 °) мають легкі дерново-підзолисті ґрунти, найнижчі (2400 ° і менше) – торфові та болотні неосушені ґрунти. Глибина промерзання коливається від 10 – 20 см в неосувених торфово-болотних до 50 – 100 см в дерново-підзолистих піщаних ґрунтах. Агротехнічні та меліоративні заходи підвищують температуру ґрунту на 0,5 – 4,0 °, суми температур зростають на 50 - 300 °. Обігрів – найефективніший спосіб регулювання температурного режиму,

підвищує температуру ґрунту на 5,5 – 6,0 °, а суму температур – на 548 - 785 °.

Таблиця 22

Оптимальні температури ґрунту для появи сходів і розвитку сільськогосподарських культур

Культура	Мінімальна температура для початку проростання, С °	Оптимальна температура, С °		Температура короточасних весняних заморозків, що їх витримують рослини, С °
		для проростання і дружніх сходів	для розвитку і формування генеративних органів	
Пшениця озима	1-2	12-15	15-20	8-12
Пшениця яра	1-2	10-14	14-20	8-9
Жито озиме	1-2	14-18	16-20	9-12
Ячмінь озимий	1-2	12-14	16-22	6-10
Ячмінь ярий	1-2	20-22	18-24	7-8
Овес	2-3	15-18	14-20	8-9
Кукурудза	8-10	12-14	20-26	1-2
Просо	6-8	15-20	18-25	1-2
Гречка	5-6	15-18	19-26	1,5-2
Цукровий буряк	2-5	15-17	20-22	2-3
Соняшник	3-5	20-25	20-26	4-6
Льон	3-5	10-14	15-18	3,5-4
Горох, сочевиця	4-5	6-12	16-22	Не визначали
Картопля	7-8	18-20	16-18	0-1
Люпин, кормові боби	5-6	9-12	18-22	Не визначали
Соя	9-11	15-17	8-13	Не визначали
Квасоля	10-12	16-18	19-27	Не визначали
Багаторічні злакові трави	2-3	5-8	12-16	10-12

Теплові характеристики ґрунтів легкого гранулометричного складу покращуються під впливом органічних добрив, сидератів, внесення

мінерального мулу; торф'яних – під впливом добавок мінерального ґрунту (глинування, піскування); важких глинистих ґрунтів – при піскуванні, мульчуванні, внесенні деревної тирси (подрібнених галузок) та регулярному внесенні матеріалів, що містять кальцій.

Оптимальні температури ґрунту для появи сходів і розвитку сільсько-господарських культур дуже різняться між собою, як і морозостійкість різних культур (табл. 22)

Температурний режим приземного шару атмосфери враховують при виборі строку посіву. Озимі витримують мінімальні температури ґрунту в зоні кореневої системи, що не перевищують 16-18 С °. При сніговому покриві 20 см оптимальна температура ґрунту зберігається при тридцятиградусному морозі, а при сніговому покриві 30-40 см – при – 40 С °.

До заходів, що максимально знижують пагубну дію низьких температур на стан посівів належать: снігозатримання (snow trapping) , добра заправка ґрунту органічними добривами, мульчування ґрунту, гребеневі технології, утеплювальні посіви, влаштування димових завіс, тощо.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Яке визначення теплового режиму ґрунту?
2. Чому в агроґрунтознавстві терміни тепловий і температурний режим є синонімами?
3. Які є теплові властивості ґрунту та від яких факторів вони залежать і як?
4. Визначення коефіцієнта температуропровідності ґрунту. Чому його агрономічне значення більше ніж теплопровідності ґрунту?

5. За яких умов вологості ґрунту його коефіцієнт температуропровідності має найбільше значення та як це слід враховувати у практиці зрошувального землеробства?
6. Що таке ефективна теплоємність ґрунту та як її можна розрахувати?
7. Поясніть добовий та річний цикли зміни температури ґрунту. Як вони впливають на характер та ефективність землеробства?
8. Які з українських ґрунтів потребують найбільшої уваги до регулювання їх теплового режиму і як це регулювання забезпечують?
9. Охарактеризуйте відомі вам агротехнічні заходи регулювання теплового режиму ґрунту.
10. Яким сучасним показником найчастіше оцінюють температурний режим ґрунту? Як його можна оцінити в різних ґрунтово-кліматичних зонах України?
11. Перелічіть відомі Вам метеорологічні заходи регулювання температурного режиму ґрунту.

4. УПРАВЛІННЯ ПОЖИВНИМ, ОКИСНО-ВІДНОВНИМ ТА БІОЛОГІЧНИМ РЕЖИМАМИ ҐРУНТУ

4.1. Ґрунтовий розчин та окисно-відновний режим ґрунту

Ґрунтовий розчин - це рідка фаза ґрунту, до складу якої входить вода з розчиненими в ній речовинами (як істинні, так і колоїдні розчини), а також газами. В.І.Вернадський називав ґрунтовий розчин «основним субстратом життя».

Найбільш істотним джерелом формування ґрунтового розчину є атмосферні опади. Дощова вода, що надходить у ґрунт, містить деяку кількість розчинених газів атмосферного повітря (O_2 , CO_2 , NH_3 та ін.), а також сполуки, що перебувають у повітрі у вигляді пилу. Іншим джерелом ґрунтового розчину можуть служити підґрунтові води, а також зрошення.

Будь яка вода, що надходить у ґрунт, переходячи в категорію його рідкої фази, взаємодіє з твердою і газоподібними фазами ґрунту, з кореневими системами рослин і живими організмами, що населяють ґрунт і таким чином утворюється ґрунтовий розчин. Цей розчин відіграє важливу роль і в процесі ґрунтоутворення, в формуванні того чи іншого генетичного профілю ґрунту. Для виділення і вивчення ґрунтового розчину служать різні методи в залежності від завдань досліджень.

Існують методи дослідження ґрунтового розчину за допомогою водних витяжок. Найчастіше застосовують співвідношення між ґрунтом і водою 1 : 5. Однак слід пам'ятати, що склад ґрунтового розчину і водних витяжок дуже відрізняється між собою. Тому водні витяжки застосовують головним чином для визначення складу легкорозчинних солей у ґрунті, а також легкодоступних форм елементів живлення.

Доцільніше було б виділити розчини з ґрунтів у порівняно незміненому стані. Для цього треба подолати силу взаємодії між твердою та рідкою фазами ґрунту. Цього можна досягти: 1) тиском, який створює прес;

2) відцентровою силою центрифуг; 3) витісненням ґрунтового розчину різними рідинами (спиртом, ефіром та ін.).

Одним із методів виділення і дослідження ґрунтових розчинів є використання лізиметрів, що мають різну конструкцію. Це можуть бути лізиметри у вигляді контейнерів з бетонованими стінками і дном, монолітів, лійок, плоскі лізиметри закритого типу, тощо.

Існують методи безпосереднього (*in vitro*) вивчення ґрунтового розчину без порушення природного залягання горизонтів у ґрунті. У ґрунт заглиблюють електроди селективної функції для визначення активності різних іонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NO_3^- , Cl^- та ін.), а також окислювально-відновного потенціалу ґрунту.

Склад ґрунтового розчину залежить від ряду факторів:

- кількості та якості атмосферних опадів;
- складу твердої фази ґрунту;
- кількості та якості живого та відмерлого рослинного матеріалу;
- життєдіяльності мікроорганізмів та мезофауни.

Слід особливу увагу звернути на життєдіяльність вищих рослин. Кореневі системи рослин поглинають з ґрунтового розчину одні компоненти, а виділяють до нього - інші. Мінеральні, органічні, органомінеральні сполуки перебувають у ґрунтовому розчині, як у формі істинних, так і колоїдних розчинів (золі кремнекислоти, півтораоксидів, органічні та органомінеральні колоїди). Ще К.К.Гедройц звернув увагу на те, що колоїди в ґрунтових розчинах можуть складати до $\frac{1}{4}$ їх загальної концентрації.

Дуже велике значення має сольовий, або катіонно-аніонний склад ґрунтового розчину. Серед катіонів у ньому можуть бути присутні Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} . Серед аніонів: HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- . Мікроелементи (Cu, Ni, Cr та ін.) містяться в ньому

головним чином у формі комплексних органо-мінеральних сполук не лише з гумусовими, а й більш низькомолекулярними органічними кислотами, поліфенолами, дубильними речовинами.

Співвідношення мінеральної та органічної частини у ґрунтовому розчині залежить від типу ґрунту. Переважання органічних компонентів характерно для болотних, болотно-підзолистих, цілинних, дерново-підзолистих ґрунтів. В чорноземах ці компоненти містяться однаковою мірою, а засолені ґрунти мають переважання мінеральних солей. Концентрація ґрунтового розчину максимальна в засолених ґрунтах, особливо солончаках.

Основними характеристиками ґрунтового розчину є: 1) концентрація; 2) осмотичний тиск; 3) окислювально-відновний потенціал. Концентрація ґрунтового розчину найчастіше не висока (не більше кількох грамів на літр). Правда, в солончаках вміст розчинних речовин (солей) може досягати кількох десятків і навіть сотень грамів на літр. Наявність в ґрунтовому розчині вільних кислот та основ, кислих та основних солей обумовлює активну реакцію ґрунтового розчину, що вимірюється рН ґрунтового розчину різних типів ґрунтів коливається від 2,5 (кислі сульфатні ґрунти) до 8-9 і вище (карбонатні і засолені ґрунти), досягаючи максимуму в содових солонцях та солончаках (10-11). Як правило, чим краще зволожуються ґрунти, тим нижча концентрація ґрунтового розчину. Найнижчу концентрацію і кислу реакцію розчину мають підзолисті і болотні ґрунти тайгово-лісової зони (концентрація - кілька десятків міліграмів на 1 л розчину при рН від 5 до 6). Приблизно таку ж характеристику мають дуже вилуговані ґрунти вологих тропіків і субтропіків. Вміст органічного вуглецю в розчинах ґрунтів тайгово-лісової зони досягає кількох десятків міліграмів на 1 л. Розчинена органічна речовина головним чином представлена фульвокислотами і тому навіть вода в калюжах має рудий колір. В розчині є фульвати заліза

(до 10-30 мг/л). В чорноземах концентрація ґрунтового розчину невелика (від сотень міліграмів до 1-3 г/л). У зв'язку з більш високою біологічною активністю цих ґрунтів, у їх розчині збільшується вміст гідрокарбонатів, реакція стає нейтральною чи слаболужною. З високозольним опадом степових трав у ці ґрунти надходило більше кальцію, магнію, сульфат-іону, хлору. В солончаках і, особливо, в солонцях зростає кількість іонів натрію, з'являється іон CO^{2-} , що дуже підсилює лужну реакцію ґрунтового розчину.

Розрахунок концентрації солей за даними аналізу водної витяжки можна проводити за формулою Н.Г.Мінашиної (1970):

$$C = S \cdot 1000 / V$$

де C - концентрація суми токсичних солей в ґрунтовому розчині, г/л;

S - вміст токсичних солей на сухий ґрунт за даними аналізу водної витяжки, %;

V - різниця між НВ та гігроскопічною вологістю.

Метод Мінашиної добре зарекомендував себе для засолених ґрунтів Середньої Азії, але він непридатний для ґрунтів з високим вмістом гіпсу.

Дуже важливе значення для рослин має осмотичний тиск ґрунтового розчину. Якщо він дорівнює осмотичному тиску клітинного соку, або перевищує його, надходження води до рослини із ґрунту припиняється. В різних типах ґрунтів осмотичний тиск неоднаковий і найбільшим він буває в засолених ґрунтах. Осмотичний тиск дуже змінюється в сезонній динаміці і особливо зростає в посушливі періоди.

За даними О.Г.Гебгарда осмотичний тиск ґрунтового розчину в чорноземі становить $1-2 \cdot 10^5$ Па, а в мокрому солончаку $11-14 \cdot 10^5$ Па.

Підвищення концентрації (і осмотичного тиску) ґрунтового розчину в певних межах може впливати на характер вегетації сільськогосподарських культур. Це, наприклад, може затримувати кушіння, але прискорювати колосіння, настання стиглості зерна, зменшувати коефіцієнт транспірації,

збільшувати вміст білку в зерні. Осмотичний тиск можна визначити методом кріоскопії, за температурою замерзання ґрунтового розчину.

Окислювально-відновні процеси в ґрунтах. Ґрунт слід розглядати, як складну окислювально-відновну систему, в якій присутні органічні та мінеральні речовини, здатні вступати в реакції окислення-відновлення. З реакціями окислення пов'язані процеси гуміфікації, при зміні ступеня окислення заліза, марганцю, азоту, сірки та інших елементів теж відбуваються окислювально-відновні процеси. Частина процесів окислення-відновлення, що відбувається в ґрунті, є зворотними ($\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$, $\text{Mn}^{2+} \leftrightarrow \text{Mn}^{4+}$), але більшість з них (наприклад, окислення органічних речовин) мають незворотний характер. Всі ці реакції мають у більшості випадків біохімічну природу, тісно пов'язані з життєдіяльністю мікроорганізмів. Основним окислювачем у ґрунті є кисень, який входить не лише до складу ґрунтового повітря, але й до рідкої фази, а основним відновником - органічні рештки.

Інтенсивність і напрямок окислювально-відновних процесів визначається станом зволоження та аерації ґрунту, вмістом у ньому органічної речовини, температурою.

Кількісною характеристикою інтенсивності і напрямку окислювально-відновних процесів у ґрунті є окислювально-відновний потенціал (ОВП). Ним називається різниця потенціалів, що виникає між ґрунтовим розчином та електродом з інертного металу (платини), введеним у ґрунт. ОВП вимірюють потенціометром. Порівнювальним електродом служить каломельний та інші електроди. Вимірюють ОВП в мілівольтах, позначають символом Eh . В рівноважній системі:

$$Eh = E_o + R T/n F \cdot \ln a_{Ox} / a_{Red}$$

де E_o - стандартний потенціал даної окислювальної системи, що визначається умовою: $a_{Ox} : a_{Red} = 1$;

T - абсолютна температура, К;

R - універсальна газова постійна (0,082 1 атм/град.-моль);

F - число Фарадея (96496 кл/моль);

n - число електронів, що беруть участь в окислювально-відновній реакції; a_{ox} і a_{Red} - активна концентрація окислювача і відновника.

При заміні натуральних логарифмів на десяткові і підстановці числових значень RT і F (при 20°C) відношення $RT/F = 0.058$, а рівняння для Eh набуває вигляд:

$$Eh. = E_o + 0.058/n \cdot \lg a_{Ox}/ a_{Red}$$

При вираженні Eh не в вольтах, а у мілівольтах маємо:

$$Eh. = E_o + 58/n \cdot \lg a_{Ox}/ a_{Red}$$

Аналіз цього рівняння показує, що ОВП ґрунту залежить від співвідношення, а не від абсолютних значень активностей окислювача та відновника.

Напруженість окислювально-відновних процесів у ґрунтах пов'язана з умовами реакції середовища (рН). Це пояснюється тим, що багато окислювально-відповідних реакцій у ґрунтах відбувається за участю іонів водню (протонів). Крім того, інтенсивність мікробіологічних процесів, можливість переходу у розчин компонентів окислювально-відновних систем, дуже залежить від рН. Як правило, в кислому середовищі окислення відбувається при більш високих значеннях Eh , ніж в лужному. Тобто, чим вищий рН, тим менше при однакових інших умовах міститься в ґрунті відновлених форм різних сполук і елементів. Підкислення ґрунту повинне викликати зворотну реакцію: накопичення сполук нижчого ступеня окислення. До недавнього часу вважали, що зміна рН ґрунту на одиницю викликає відповідну зміну Eh на 58 мв. При цьому також вважали, що підвищення рН викликає зниження ОВП ґрунту. В наш час встановлено, що зв'язок між рН та ОВП у ґрунті має досить складний характер, який не можна описати якоюсь конкретною залежністю. Але для

одержання даних по ОВП, які можна було б порівнювати між собою (для різних середовищ), Кларк запропонував ввести показник rH - водневий потенціал:

$$rH_2 = Eh/29 + 2 pH$$

Цей показник являє собою від'ємний логарифм концентрації молекулярного водню. Якщо $rH_2 > 27$, в системі переважають процеси окислення, при $rH_2 < 27(22-25)$ - процеси відновлення. Якщо $rH_2 < 20$, то процеси відновлення в ґрунті відбуваються інтенсивно.

ОВП у різних типах ґрунтів і різних генетичних горизонтах одного ґрунту коливається в межах 100-750 мВ. Все це дуже залежить від водно-повітряного і температурного режимів.

В підзолистих та дерново-підзолистих автоморфних ґрунтах ОВП становить 550-750 мВ, в чорноземах - 400-600 мВ, в сіроземах (сухі субтропіки) 350-450 мВ.

Найнижчі окислювально-відновні потенціали мають затоплювані ґрунти рисових чеків, а також болотні ґрунти. Інтенсивний розвиток відновних процесів з утворенням глею починається при зниженні Eh до 200 мВ. У профілі будь якого ґрунту, а особливо такого як підзолистий, болотний, солонцюватий, гідроморфний окислювально-відновний стан не однорідний. Навіть авто-морфні ґрунти мають знижені показники ОВП у верхніх гумусових горизонтах з їх поступовим зростанням вниз по профілю, бо в цих ґрунтах ОВП дуже залежить від мікробіологічної активності. В напів-гідроморфних та гідроморфних ґрунтах, навпаки, ОВП спадає донизу у зв'язку з додатковим зволоженням від підґрунтових вод.

Оскільки водно-повітряний, тепловий та мікробіологічний режими ґрунту змінюються в сезонній динаміці, то і ОВП теж зазнає такої

динаміки, створюючи певний окислювально-відновний режим у ґрунті протягом циклічного періоду (року).

До ґрунтів з абсолютною перевагою окислювальних процесів над відновними слід віднести автоморфні ґрунти: чорноземи, каштанові, бурі, сіроземи та ін.

В автоморфних ґрунтах тайгово-лісової зони та вологих субтропіків при пануванні окислювальних процесів можливий також прояв і відновних.

Напівгідроморфні ґрунти мають контрастний режим окислювально-відновних процесів, тобто в певні періоди інтенсивність окислення чи відновлення може бути дуже значною.

Болотні ґрунти і гідроморфні процеси дуже впливають на темпи і характер розкладу органічних решток у ґрунті, сприяють утворенню фульвокислот.

Для процесу нітрифікації оптимальними умовами є $Eh = 350-500$ мВ. При зниженні потенціалу розвивається денітрифікація. Великі кількості закисного заліза та відновленого марганцю (Mn^{2+}) утворюються при зниженні Eh до 350-250 мВ.

Знаючи ОВП ґрунту, можна правильно судити про напрямок процесів ґрунтоутворення, обґрунтувати необхідність заходів по регулюванню водно-повітряного режиму.

4.2. Поживний режим ґрунт

Ґрунт складається з мінеральних, органічних та органо-мінеральних речовин. Головна особливість хімічного складу, за якою ґрунт відрізняється від материнської породи полягає в тому, що в ґрунті є органічні речовини, зокрема специфічні гумусові. Іншою особливістю ґрунту є те, що йому властива різноманітність (динамічність) хімічного складу у часі.

Якщо порівняти між собою середній хімічний склад літосфери та ґрунту, то можна побачити багато спільного між ними. Літосфера майже наполовину складається з кисню (47,2%), більше, ніж на чверть з кремнію (27,6%). Далі йдуть алюміній (8,8%), залізо (5,1%), кальцій, натрій, калій, магній (до 2-3% кожного). Ці вісім елементів складають більше 99% загальної маси літосфери. Такі важливі елементи живлення рослин як вуглець, азот, фосфор, сірка займають десяті і соті частки відсотка, а мікроелементів - ще менше.

У ґрунті, порівняно з літосферою, в 20 разів більше вуглецю (2 проти 0,1%), в 10 разів більше азоту (0,1 проти 0,01%), що зумовлено життєдіяльністю організмів (усі вищенаведені дані належать А.П.Виноградову). В ґрунті більше, ніж у літосфері кисню, водню (як елементів води), кремнію та менше алюмінію, заліза, кальцію, магнію, натрію, калію та інших елементів, що є наслідком процесів вивітрювання та ґрунтоутворення.

Хімічні елементи знаходяться в ґрунті в різних сполуках:

Кисень входить до більшості первинних та вторинних мінералів, а також до органічної частини ґрунту і води.

Кремній найчастіше входить до складу кварцу, а також силікатів. При хімічному вивітрюванні силікатів і внаслідок ґрунтоутворення кремнезем переходить у розчин в формі аніонів орто- та мета-кремнієвих кислот (SiO_4^{4-} та SiO_3^{2-}), частково у формі золя. Кремнезем може частково вимиватися з ґрунту, а частково осаджуватись в кислому середовищі у вигляді гелю $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, який поступово втрачаючи воду, може перетворюватись на кварц вторинного походження. Взаємодіючи з основами, напівтораоксидами (R_2O_3) кремнезем утворює вторинні силікати.

Алюміній входить до складу первинних і вторинних мінералів, а в кислих ґрунтах - як увібраний катіон у складі ґрунтового вбирного комплексу. В процесі вивітрювання мінералів, що містять алюміній, вивільнюється його гідроксид, який частково залишається на місці утворення, а частково утворює колоїдний розчин - золь. В умовах слабко-лужної реакції гідроксид алюмінію повністю випадає у вигляді гелів ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), що при кристалізації переходить у вторинні мінерали - гіббсит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) та беміт ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

В кислому середовищі ($\text{pH} < 5$) гідроксид алюмінію стає більш рухомим і в ґрунтовому розчині з'являються іони $\text{Al}(\text{OH})^-$ та $\text{Al}(\text{OH})^{2-}$, що мають токсичність і негативно впливають на ріст і розвиток рослин.

З органічними кислотами, а також з гумусовими речовинами гідроксид алюмінію утворює розчинні комплексні сполуки (хелати), в формі яких переміщується по профілю ґрунту.

Залізо - життєво необхідний елемент для рослин, без якого неможливе утворення хлорофілу, процеси фотосинтезу і дихання рослин. В ґрунті залізо входить до складу первинних і вторинних мінералів - силікатів, а також до оксидів і гідроксидів простих солей. Воно також міститься у формі увібраного катіону у складі ГВК та як компонент органо-мінеральних похідних гумусових речовин.

При вивітрюванні мінералів, що містять залізо, утворюється його гідроксид, що випадає в формі аморфного гелю $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, а при кристалізації переходить в гетит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) і гідрогетит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

В сильно кислому середовищі ($\text{pH} < 3$) рухомість гідроксиду заліза збільшується, в розчині з'являються іони Fe^{3+} . В умовах надмірного зволоження утворюються розчинні сполуки FeCO_3 , $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, FeSO_4 . Ці сполуки доступні рослинам. Коли їх багато то проявляється їх токсичність.

Азот відіграє в біосфері виключно важливу роль, бо це один з елементів життя. Він входить до складу білків, хлорофілу, нуклеїнових кислот, фосфатів та інших органічних сполук живої клітини. Основна маса азоту зосереджена в гумусі. Вміст валового азоту в ґрунтах становить $1/20-1/40$ частину від вмісту гумусу. Азот доступний для рослин у формі амонію, нітратів та нітритів. Іон NH_4^+ легко поглинається ґрунтом (ГВК), може необмінно (фіксовано) поглинатися глинистими мінералами. Іон NO_3^- перебуває переважно в ґрунтовому розчині, легко засвоюється рослинами. Але нітрати можуть легко вимиватися у вологих районах за межі кореневмісного шару, потрапляти в ґрунтові та внутрішні води.

Фосфор входить до складу таких органічних сполук, без яких життєдіяльність організмів була б неможливою. Вміст фосфору у сухій речовині рослин складає десяті частки процента. Вміст валового фосфору в ґрунтах знаходиться в межах 0,1-0,5%.

Фосфор у ґрунті може входити як до складу мінеральних, так і органічних сполук. Мінеральні фосфати - це солі алюмінію, заліза, кальцію, магнію, такі мінерали як апатит, фосфорит, а в болотних ґрунтах і вівіаніт. В деяких ґрунтах (чорноземах, жовтоземах) фосфат-аніон може перебувати у ввібраному стані.

Органічні сполуки фосфору у ґрунті представлені фітином (інозит-фосфатами), фосфатидами, сахарофосфатами, меншою мірою нуклеїновими кислотами та нуклеопротеїдами.

Розчинність у ґрунті фосфатів кальцію, магнію, алюмінію, заліза знижується по мірі збільшення їх основності.

Фосфати кальцію мають найбільше поширення в нейтральних, слабокислих чи слаболужних ґрунтах. Розчинність їх зменшується від $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2$ до $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ та $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ (гідроксилапатит).

В ґрунтах, що містять багато кальцію, наприклад карбонатних, розчинні фосфати кальцію стають більш основними та менш

розчинними, поступово перетворюючись в гідроксилапатит, який здатний до накопичення в цих ґрунтах.

Кислі ґрунти, що містять хімічно активні форми заліза та алюмінію здатні зв'язувати фосфор у формі $AlPO_4$, $FePO_4$, але найчастіше фосфор тут зв'язується з напівтораоксидами в адсорбційні сполуки, здатні до часткового обміну фосфат-іонів.

Мінеральні фосфати - основне джерело фосфору для рослин. Органічні сполуки фосфору теж можуть стати джерелом фосфору, якщо відбудеться їх хімічний чи ферментативний гідроліз .

Калій рослини потребують у великих кількостях і він допомагає їм здійснювати важливі фізіологічні функції, пов'язані з фотосинтезом, утворенням цукрів, регулюванням осмотичного тиску клітинного соку та ін. Валовий вміст калію (K_2O) в ґрунтах важкого механічного складу сягає 2% і більше, а в легких ґрунтах його значно менше. Деякі з первинних мінералів ґрунту, особливо слюди, служать безпосереднім джерелом калію для рослин.

Калій міститься в ґрунтах у ввібраному стані (обмінний та необмінний, або фіксований) і в формі простих солей. Обмінний калій - основне джерело його для живлення рослин. Фіксований калій - важко доступний. Його доступність може зростати в результаті поперемінного висушування та зволоження ґрунту, що веде до розтріскування пакетів кристалічних ґраток.

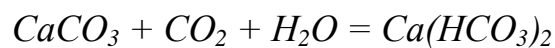
Сірка входить до складу білків та ефірних масел. Потреби рослин у сірці можуть становити від кількох кілограмів до 10-15 кілограмів на гектар. Валовий вміст сірки в гумусових горизонтах ґрунтів складає від 0,01 до 2% і більше. В ґрунтах промислових районів, де в атмосферу виділяється багато сірчистого газу, випадають кислотні дощі, рослини не відчувають недостачі сірки.

У ґрунті сірка перебуває в формі сульфатів, сульфідів, а також органічних сполук. Сульфатів кальцію (гіпсу), калію та магнію багато в засолених ґрунтах, що формуються в умовах сухого клімату.

Кальцій та **магній** - дуже важливі елементи живлення рослин. Магній входить до складу хлорофілу, а кальцій створює сприятливі умови для рослин з точки зору формування фізичних, фізико-хімічних та біогенних властивостей ґрунту.

Серед увібраних катіонів у більшості ґрунтів кальцій займає перше, а магній - друге місце. Ці іони дуже поширені і в ґрунтовому розчині.

Різні форми карбонатних скупчень (CaCO_3 , MgCO_3) як малорозчинні сполуки часто зустрічаються в ґрунтах, особливо в чорноземах, де вони утворюють карбонатну «цвіль», «прожилки», «псевдоміцелій», «білозірку». При взаємодії з ґрунтовим розчином, в якому багато розчиненої вуглекислоти, а також з CO_2 та водяною парою ґрунтового повітря, карбонати переходять на більш розчинні бікарбонати:



Мікроелементи - це елементи в ґрунті чи у біологічних об'єктах, вміст яких становить тисячні частки відсотка і менше. До них належать марганець, бор, молібден, цинк, мідь, кобальт, йод та ін. Ці елементи відіграють важливу фізіологічну та біохімічну роль в житті рослин, тварин та людини, так як входять до складу ферментів, гормонів, вітамінів. Як нестача, так і надлишок мікроелементів викликає порушення нормальної життєдіяльності організмів.

Марганець бере активну участь у процесах фотосинтезу, входить до складу багатьох окислювально-відновних ферментів, регулює відношення між вмістом іонів Fe^{2+} та Fe^{3+} , впливає на синтез амінокислот, білків та вітамінів. Важливу роль цей елемент відіграє в засвоєнні рослиною амонійного та нітратного азоту, в перетвореннях нітратів, що відбуваються

за схемою: **нітрати - нітрити - гідроксиламін - аміак - амінування (утворення амінокислот).**

Видатний вчений - агрохімік П.А.Власюк показав, що рослини засвоюють марганець у формі Mn^{2+} . Винос цього елемента культурами коливається в межах 100-500 г/га.

Бор, що здатний утворювати комплексні сполуки з вуглеводами та поліатомними спиртами, дуже впливає на вуглеводний, білковий та нуклеїновий обмін рослин. Важливу роль цей елемент відіграє в заплідненні рослин, підсилює розвиток репродуктивних органів. Винос культурами бору складає від 30 до 270 г на 1 га.

Цинк входить до складу ряду ферментних систем (цитохромів, цито- хромоксидаз та ін.). Як компонент карбоангідрази, він регулює головну фотохімічну реакцію темної стадії фотосинтезу та процеси дихання рослин.

Молібден, що є складовою частиною фермента нітратредуктази, як і марганець, забезпечує встановлення співвідношення між іонами NO_3^- та NH_4^+ . Молібден дуже важливий для бобових культур, концентрується в їх бульбочках. Він бере участь в утворенні аскорбінової кислоти, каротину, синтезі вуглеводів. Нестача його може проявлятися на кислих ґрунтах.

Мідь входить до складу ферментних систем поліфенолксидази, аскорбіноксидази та цитохромоксидази і активізує синтез вітамінів групи В. Нестача міді характерна переважно для мулуватих-болотних ґрунтів та торфовищ. Винос міді рослинами складає 10-170 г на 1 га.

На дерново-підзолистих ґрунтах всі види культур, особливо картопля, зернові, коренеплоди, трави найбільше можуть відчувати нестачу таких мікроелементів як бор, мідь та молібден. На сірих лісових ґрунтах Українського Лісостепу нестачу бору та молібдену можуть відчувати цукрові буряки, зернобобові, меншою мірою - зернові. На чорноземах як Лісостепу, так і Степу деякі культури теж можуть відчувати недостатній

вміст у ґрунті рухомих форм марганцю, бору та молібдену. Досліди УСГА на агростанції «Митниця» (Г.В.Назаренко) свідчать про ефективність внесення на чорноземах типових мікроелементу цинку. На темно-каштанових ґрунтах Сухого Степу досить ефективним буває удобрення зернових, кукурудзи і коренеплідних культур марганцем, бором та цинком.

Г.Я.Рінькіс запропонував градацію ґрунтів за вмістом рухомих форм мікроелементів в мг/кг:

- 1) дуже бідні $Cu < 0,3$; $Zn < 0,2$; $Mn < 0,1$; $Co < 0,2$; $Mo < 0,05$; $B < 0,1$;
- 2) бідні $Cu < 1,5$; $Zn < 1$; $Mn < 10$; $Co < 1$; $Mo < 0,15$; $B < 0,2$.

На поведінку мікроелементів і форми їх сполук у ґрунтах дуже впливають окислювально-відновні умови, реакція середовища, вміст органічної речовини.

Підкислення реакції збільшує рухомість міді, цинку, марганцю та кобальту, але зменшує цю здатність для молібдену.

Взаємовідносини ґрунту та рослини з точки зору кореневого живлення визначаються у багатьох випадках вбирною здатністю ґрунту, яка обумовлює дуже сильний вплив ґрунту на рослини в залежності від механічного обробітку та гідротермічних умов вегетації.

У цілинному ґрунті є можливість спостерігати як мінімум п'ять джерел живлення рослин:

- поживні речовини, що знаходяться у ґрунтовому розчині;
- адсорбційно поглинуті поживні речовини;
- поживні речовини у складі важкорозчинних сполук;
- поживні речовини у складі органічних сполук;
- поживні речовини у структурі кристалічних решіток мінералів та гірських порід.

Усі перелічені джерела живлення рослин у ґрунті мають тісний зв'язок завдяки взаємним перетворенням при постійному впливі навколишніх факторів (гідротермічні умови, біологічні процеси, антропо-

генез та ін.). Що ж стосується можливості поглинання кореневою системою рослин поживних речовин ґрунту, то вона найбільш сприятлива при використанні їх у якості джерела живлення з ґрунтового розчину.

У зв'язку з цим велике значення має створення оптимальних умов для мінерального живлення рослин саме у ґрунтовому розчині з урахуванням можливого негативного впливу на якість рослинницької продукції та стан навколишнього середовища. У даному аспекті важливо створити оптимальну концентрацію головних поживних речовин у доступній для рослин формі, що не завжди можливо без інформації про наявність рухомих форм елементів живлення у ґрунті.

Сучасна агрохімічна наука свідчить, що при дуже низькій концентрації поживних речовин у ґрунтовому розчині рослини не спроможні поглинути їх у достатньої кількості. У той же час з підвищенням концентрації до деякого рівня поглинання поживних речовин рослинами значно підсилюється. Подальше зростання концентрації супроводжується затриманням у рості та розвитку рослин та зниженням їх продуктивності. Коли концентрація поживних речовин у ґрунтовому розчині підвищується і далі, рослини припиняють свою життєдіяльність.

Сукупність всіх процесів надходження, трансформації і використання елементів живлення рослин, що забезпечує наявність у ґрунті певного кількісного і якісного їх стану, формує **поживний** режим ґрунту в цілому і кожного елемента окремо.

В сучасних умовах підвищення врожайності сільськогосподарських культур у більшості випадків лімітується відсутністю у ґрунті доступних форм азоту. Однієї з причин цього є те, що рослини містять атомів азоту більше, ніж іншого елемента, який поглинається з ґрунту, за виключенням водню. Незважаючи на те, що головним джерелом азоту для рослин є мінеральні сполуки, переважна його частина у ґрунті знаходиться в органічній формі. За своєю природою це у більшості випадків білковий

азот рослинного та тваринного походження, який поступово накопичується у гумусі.

Азот – важливий біогенний елемент, необхідний рослинам.

Накопичення азоту в ґрунті можливе тільки в органічній формі. Тому вміст азоту в ґрунті залежить від вмісту органічної речовини і, перш за все, гумусу. Отже, чим більше гумусу міститься в ґрунті, тим більше в ньому буде й азоту (табл. 23).

Таблиця 23

**Загальний запас гумусу й азоту (т/га) в різних ґрунтах
(за І.В. Тюріним)**

ґрунт	Запас гумусу		Запас азоту	
	0-20 см	0-100 см	0-20 см	0-100 см
Дерново-підзолистий	53	99	3,2	6,6
Сірий лісовий	109	215	6,0	12,0
Чорнозем :				
вилугуваний	192	549	9,4	26,5
типовий	224	709	11,3	35,8
звичайний	137	426	7,0	4,0
Темно-каштановий	99	229	5,6	-

В атмосфері азоту знаходиться майже 79 %. Загальні запаси його в земній корі, за даними В.І. Вернадського, складають 0,023 вагових проценти, у дерново-підзолистих ґрунтах – 0,05-0,2%, у чорноземах – 0,3-0,5 %. Майже 99 % азоту знаходиться в органічній формі, а в мінеральній – 1,0 %.

З атмосферними опадами за рік у ґрунт надходить дуже мала кількість азоту (від 3 до 17 кг/га). При такій кількості азоту не можна одержати

високого врожаю сільськогосподарських культур. Крім того, кількість азоту, що надходить з опадами, змінюється в залежності від різних умов. Недалеко від великих міст і заводів, звичайно, підвищується кількість аміаку, а в деяких субтропіках і тропіках – окисів азоту.

Кудрін О.В. наводить такі кількості азоту, який надходить з опадами в кг на 1 га за рік: у Німеччині – 15,7 кг/га, в тому числі аміачного – 77 %, нітратного – 23 %; в Англії – 4,3 кг/га, в т.ч. аміачного – 70 %, нітратного – 30 %; у Середній Азії – 4,5 кг/га, з них аміачного – 68 %, нітратного – 32 %.

Біологічна фіксація азоту. Велике значення в створенні азотного фонду в ґрунті має діяльність мікроорганізмів-азотофіксаторів, які належать до двох груп:

- 1) вільноживучі в ґрунті;
- 2) симбіотичні, які живуть на коренях деяких вищих рослин, переважно з родини бобових.

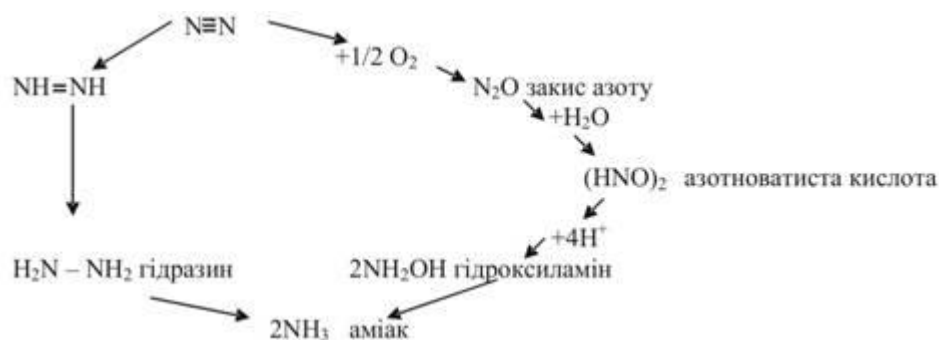
Значення цієї групи мікроорганізмів для фіксації азоту дуже велике. Описано близько 1300 видів бобових рослин, і більшість з них фіксують азот. Початковий процес зараження коренів бобових рослин і утворення бульбочок характеризується тим, що бактерії групуються навколо кореневих волосків і виділяють ростові гормони типу ацетилену. У відповідь на це кінчики кореневих волосків починають завиватися. Потім бактерії впроваджуються в кореневі волоски, а рослина утворює інфекційну нитку. Бактерії розмножуються і через інфекційну нитку проникають у середину клітини кори кореня. Ці клітини й утворюють кореневі бульбочки. Вони сполучаються з рослинами за допомогою судин.

Бульбочки утворюються в усіх випадках, але ефективність

бактеріальних штамів у різних випадках різко відмінна. В одних спостерігається добра фіксація азоту, а в інших – слабка. При складанні азотного балансу Д.М.Прянишников виходив із того, що кількість азоту в розрахунку на 1 га за вегетацію в конюшини складає 250-280 кг, а в люцерни – 300 кг, думаючи при цьому, що дві третини цього азоту рослини взяли з повітря, а решту – із ґрунту. Для розрахунку виносу азоту з надземною частиною урожаю звичайно береться для конюшини 150-160, люпину – 160, люцерни – 200 кг/га азоту за рік.

Для фіксації азоту необхідно розраховувати на велику енергію, яка потрібна для розриву зв'язків у молекулі азоту. Ця енергія складає 225 ккал на моль. Тому при синтезі аміаку ($N_2 + 3H_2 = 2NH_3$) треба створити умови, коли температура складає 500 градусів за С, а тиск – 350 атм (витрачається 5 т вугілля на 1 т аміаку). У бульбочкових бактерій азотфіксація пов'язана з окисно-відновними процесами, в яких бере участь гемоглобін клітин, що утворюється тільки бульбочковими бактеріями. У синьо-зелених водоростей фіксація азоту пов'язана з перетворенням світової енергії: $-H_2PO_4 \text{ АТФ} \leftrightarrow \text{АДФ} + H_2PO_4$

Кінцевим продуктом зв'язування азоту азотофіксаторами є аміак. Можливі шляхи зв'язування азоту показані на схемі:



Встановлено, що гідразин засвоюється клітинами азотфіксаторів. Пронаявність проміжного продукту гідроксиламіну говорив Бах. Але це зустріло заперечення інших біологів, які думали, що OH-NH_2 є отрутою. В невеликих кількостях гідроксиламін неотруйний, тим більше, що OH-NH_2 зв'язаний з кетоновими кислотами, які менш отруйні.

В лабораторних умовах було доведено, що азотфіксатор добре засвоює гідроксиламін у вигляді α -кетоглутарової кислоти ($\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CO-COOH}$).

Одночасно встановлено, що в цьому процесі бере участь фермент гідроксиламінредуктаза, який прискорює відновлення OH-NH_2 до аміаку. Отже, проміжним продуктом є гідроксиламін. Крім того, встановлено, що фіксація азоту безклітинними ферментами можлива тільки в присутності кетокислот, особливо піровиноградної. Кетокислоти є не тільки перехоплювачами OH-NH_2 , але і першими акцепторами NH_3 . Вони є являють собою перехрестя, на якому зустрічаються два найважливіших потоки – обмін енергії і обмін азоту.

Для азотфіксації необхідні залізо, молібден, кобальт.

Аміак токсичний для рослинних клітин, тому він не повинен накопичуватися в них у великих кількостях. Аміак перетворюється в амінокислоти, вступаючи в реакцію з α -кетоглутаровою кислотою, в результаті чого утворюється глутамінова кислота, а при подальшій взаємодії з аміаком – глутамін із глутамінової кислоти. Інші амінокислоти синтезуються в ході процесу переамінування, при якому глутамінова кислота взаємодіє з іншими кетокислотами – попередниками нових амінокислот, переносячи на них свою аміногрупу і перетворюючись знову в α -кетоглутарову кислоту. Аспарагінова кислота

– один із перших продуктів реакції переамінування. В цьому випадку рецептором аміногрупи є щавелевооцтова кислота. При додатковому зв'язуванні аміаку аскорбіновою кислотою утворюється аспарагінамід аспарагінової кислоти. Переважно у формі цих чотирьох компонентів – глутамінової кислоти, глутаміну, аспарагінової кислоти й аспарагіну – і транспортується фіксований азот від кореня по всій рослині.

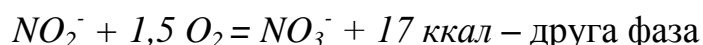
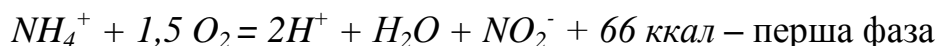
Отже, загальний кругообіг азоту в природі являє собою зворотний перехід його вільної газоподібної форми з атмосфери у фіксовану форму в ґрунті або біологічній системі.

Цикл азоту в ґрунті

Азотфіксація найліпше проходить за таких умов:

- а) рівень зволоження – 60-70 % від повної вологоємності ґрунту;
- б) оптимальна температура – +25-27 °С;
- в) вільне надходження кисню;
- г) реакція середовища – слабокисла або близька до нейтральної;
- д) присутність кальцію.

Органічний азот перетворюється у ґрунті в мінеральні форми. Спочатку білкові форми азоту перетворюються в амінокислоти, які дають аміак. Потім останній окиснюється й утворюються азотиста та азотна кислоти.



Процес нітрифікації іде в декілька етапів:

- а) аміак – гідроксиламін;
- б) гідроксиламін – гіпонітрити;
- в) гіпонітрити – нітрити;
- г) нітрити – нітрати.

Дуже важливим негативним процесом, який відбувається в ґрунті, є денітрифікація.

Це процес втрат азоту із ґрунту у вигляді вільного азоту або аміаку. Він відбувається при невисокому вмісті повітря, дуже уповільненій або зовсім відсутній аерації. Процес пов'язаний з активністю денітрифікуючих мікроорганізмів, які використовують для дихання кисень сполук, що його вміщують, в тому числі нітратів і нітритів.

Основні прийоми регулювання азотного режиму ґрунту полягають у:

- збільшенні вмісту органічної речовини в ґрунті шляхом внесення органічних добрив, широкого використання рослинних решток (стерня, солома і т.ін.), вирощування сидеральних культур і збільшення у структурі посівних площ частки багаторічних бобових трав;

- збільшенні вмісту в ґрунті мінеральних форм азоту, доступних рослинам шляхом внесення мінеральних добрив; створення умов для фіксації атмосферного азоту;

- підвищенні ефективності використання азоту з ґрунту шляхом регулювання реакції ґрунтового розчину внесенням кальцієвмісних сполук, вдосконалення способів внесення азотних добрив і структури посівних площ, поліпшення агрофізичних властивостей ґрунту тощо.

Вміст азоту у гумусі може бути різним та зазвичай підвищується при переході від зони достатнього зволоження до посушливих умов, тобто чим менше гумусу у ґрунті тим більше він збагачений азотом. Цей висновок має дуже важливе значення для характеристики ґрунту у відношенні азотного живлення рослин.

Крім гумусу у ґрунті є і значна кількість негуміфікованої органічної речовини, яка більш доступна, ніж гумус, для бактеріального розкладу

мікроорганізмами та звільнення доступних для рослин мінеральних форм азоту. Початковим етапом мінералізації ґрунтового органічного азоту є гідроліз білкових речовин з утворенням амінокислот та їх амідів. В подальшому, використовуючи свій ферментативний апарат, мікроорганізми здійснюють дезамінування амінокислот та амідів. Амінокислоти при цьому перетворюються у оксикислоти, а аміак відщеплюється та поглинається ґрунтом. Цей процес має назву амоніфікації та здійснюється як при аеробних, так і анаеробних умовах. Наявність в ґрунті аміаку та вологи обумовлює утворення амонійного азоту в катіонній формі, який енергійно поглинається ґрунтом і тому у ґрунтовому розчині його кількість дуже незначна. Що ж стосується поглиненого ґрунтом амонію, то він може знаходитися в адсорбованому стані на поверхні ґрунтових колоїдних часток, тобто в обмінній формі. Крім цього, амоній здатен фіксуватися ґрунтом у недоступному для рослин та мікроорганізмів стані. Така необмінна фіксація амонійного азоту обумовлена, перш за все, здатністю деяких глинистих мінералів (типу смектіту, гідрослюд, вермикуліту, іліту) поглинати та міцно утримувати катіони амонію у міжпрошарковому просторі кристалічних решіток, які мають можливість змінювати свої параметри. Крім того, можлива фіксація амонію в результаті утворення кристалічних сполук за рахунок складних іонів ґрунтового розчину або входження у кристалічну решітку первинних силікатних мінералів.

З поглиненого ґрунтовими колоїдами стану амонійний азот може бути переведений у ґрунтовий розчин за рахунок обмінних реакцій з іншими катіонами. Крім того, в ґрунтовому розчині можливе його окислення в процесі нітрифікації. Нітрифікація – мікробіологічне перетворення амонійного азоту, яке проходить в дві фази та здійснюється спеціалізованими мікроорганізмами, що мають можливість розвиватися на неорганічних субстратах. У якості джерела вуглецю вони використовують

вуглекислоту, відтворюючи цю сполуку до вуглецю за рахунок енергії, що звільнюється при окисленні амонію або нітритів. Для окислення амонійного азоту до нітритів, а потім до нітратів, процес нітрифікації потребує значну кількість кисню і тому не має місця в анаеробних умовах. На відміну від процесу амоніфікації, який здійснюється незалежно від аерації ґрунту та у досить широкому інтервалі кислотності, нітрифікація потребує визначених параметрів ґрунтових умов. Температура ґрунту повинна бути 30-37 градусів за Цельсієм, вологість – 40-80% від повної вологоємності, реакція середовища у межах рН 4,5 – 9,6.

Таким чином, кінцевим продуктом мінералізації азотовмісної органічної речовини є нітратний азот, що знаходиться у ґрунтовому розчині як мобільний іон. Якщо оцінювати процес мінералізації в цілому, то сучасні дослідження свідчать, що регулятором його швидкості є амоніфікація, яка проходить досить повільно. Що ж стосується нітрифікації, тобто окислення амонію у нітрити, а потім нітрати, то ці реакції здійснюються при наявності сприятливих умов відносно швидко і залежать лише від наявності у ґрунті доступного амонійного азоту.

Слід відзначити, що одночасно з мінералізацією азотовмісної органічної речовини, у ґрунті спостерігається протилежний процес – іммобілізація, завдяки якому мінеральні форми азоту стають складовою частиною органічних сполук, що утворюються метаболічним шляхом. Це, перш за все, спостерігається за рахунок діяльності вищих рослин, які поглинають кореневою системою іонний азот та використовують його для синтезу таких важливих сполук як білки, нуклеїнові кислоти, хлорофіл та інші.

Порівняння швидкості та інтенсивності процесів мінералізації та іммобілізації є головним показником стану азотного режиму ґрунту та умов азотного живлення рослин в умовах конкретного ґрунту. Більшість ґрунтів, які знаходяться у ріллі, містять загального (органічного та

мінерального) азоту 0,02- 0,4% від маси ґрунту. Що ж стосується тільки мінеральних форм азоту, тобто головним чином амонійних та нітратних сполук, то їх сумарна кількість складає лише 0,6-3,3% від загального вмісту цього елемента у ґрунті.

В умовах сучасного інтенсивного сільськогосподарського виробництва, яке передбачає значний винос азоту з ґрунту врожайми, виникає гостра необхідність покращення азотного живлення рослин як за рахунок посилення мобілізації ґрунтових ресурсів, так і за рахунок додаткових джерел цього елемента.

Для того, щоб створити у ґрунтовому розчині оптимальну концентрацію доступних форм азоту, у сучасному сільському господарстві використовується велика кількість різноманітних азотних добрив. Успіх їх застосування залежить від кількості у ґрунті таких сполук азоту, які спроможні забезпечити азотне живлення рослин протягом визначеного проміжку часу. Щоб визначити таку можливість, необхідно провести аналіз ґрунту на вміст доступних або потенційно доступних сполук азоту у рухомій формі. По результатах аналізу можливо корегувати кількість азотних добрив для внесення в ґрунт з метою отримання запланованого врожаю.

Поряд з азотом, важливим елементом живлення для рослин є також **фосфор**. Фосфатний режим ґрунту залежить перш за все від материнської породи, ступеня її вивітреності і характеру ґрунтоутворюючого процесу. Одна з найбільш загальних закономірностей залежності фосфатного режиму від ґрунтоутворюючого процесу – тісний зв'язок валового фосфору і його профільного розподілу з вмістом органічної речовини.

Валові запаси фосфору в орному шарі відносно високі. Вони змінюються в ґрунтах різних генетичних типів менш суттєво порівняно з запасами азоту. При цьому в гумусовому горизонті кількість його завжди

більша, ніж у нижчележачих і материнській породі, внаслідок процесів біологічного переносу. Загальний вміст фосфору в ґрунтах збільшується пропорційно збільшенню рівня родючості (табл. 24).

Таблиця 24

**Валові запаси фосфору в орному шарі ґрунтів різних типів
(за В.М.Клечковським і А.В.Петербургським)**

Ґрунт	P ₂ O ₅	
	%	т/га
Дерново-підзолистий піщаний	0,03-0,06	0,9-1,8
Дерново-підзолистий суглинковий	0,04-0,12	1,2-3,6
Чорнозем	0,1-0,3	3-9

Аналогічно змінюється і вміст рухомого фосфору в ґрунті. Це фосфор, який вилучається з ґрунту різними витяжками: 0,2 н розчином HCl (метод Кірсанова), 0,5 н розчином CH₃COOH (метод Чирікова) та ін.

Фосфор у ґрунті знаходиться у двох формах: органічній та мінеральній. Органічні фосфати (нуклеїнові кислоти, нуклеопротейди, фосфатиди, цукрофосфати та ін.), частка яких складає 10-50% від загального вмісту фосфору, недоступні для рослин і беруть участь у їх живленні тільки після гідролізу і відокремлення фосфору. Мінеральні фосфати у ґрунті складаються з багатьох солей, які утворилися з ортофосфорної кислоти і є різними за хімічним складом і ступенем доступності для рослин. Мінеральний фосфор у ґрунтах представлений в основному малорухливими формами. Він може входити до складу мінералів: фторапатиту (Ca₃F(PO₄)₃), гідроксилапатиту (Ca₃(PO₄)₂ · Ca(OH)₂), фосфориту (Ca₃(PO₄)₂) і вівіаніту (Fe₃(PO₄)₂ · 8 H₂O).

Кислі ґрунти містять хімічно активні форми заліза та алюмінію, тому фосфор в них, головним чином, знаходиться у формі фосфатів заліза та алюмінію (FePO_4 , AlPO_4 , $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$, $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$ і ін) або зв'язується півтораоксидами в адсорбційні сполуки, здатні до часткового обміну фосфат-іонами, що входять до їх складу.

Процес переведення водорозчинних фосфатів у нерозчинну форму називається ретроградацією фосфору. Найчастіше цей процес протікає у кислих ґрунтах, особливо у буроземах.

У нейтральних та слаболужних ґрунтах переважають фосфати кальцію. У ґрунтах, багатих кальцієм, фосфати кальцію постійно переходять у найбільш стійку форму гідроксилапатиту ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$), більш основну, ніж трикальцій-фосфат ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$).

У ґрунті можуть знаходитися більш кислі форми фосфорнокислого кальцію – одно- та двозаміщені ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ і CaHPO_4), які більш доступні рослинам. В деяких ґрунтах зустрічаються фосфати магнію або одновалентних металів.

Сполуки фосфору сприятливо впливають на фізичні і біологічні властивості ґрунту. Вони сприяють протіканню в ґрунті колоїдно-хімічних і біологічних процесів, підтриманню водостійкої структури. Структурні агрегати, збагачені іонами фосфору, містять колоїди, які стійкі проти набухання і звертання під впливом зовнішньої дії.

Для багатьох мікроорганізмів, а також вільноживучих азотфіксаторів, характерний високий вміст в їх організмах фосфору. Але фосфорні добрива стимулюють розвиток бульбочкових бактерій, що живуть у симбіозі з бобовими рослинами. Ціла низка мікроорганізмів у результаті своєї життєдіяльності виділяє ферменти, під впливом яких розкладаються фосфороорганічні речовини, в першу чергу фітин, лецитин, нуклеїнові

кислоти. Азотобактер і нітробактер розчиняють важкорозчинні мінеральні форми фосфатів.

Головним способом поліпшення фосфатного режиму ґрунтів є внесення мінеральних і органічних добрив. Не менш важливе значення має і підвищення доступності частини ґрунтових фосфатів для рослин. При вапнуванні кислих ґрунтів важкорозчинні фосфати заліза і алюмінію переходять у легкозасвоювані форми. На багатьох ґрунтах вапнякові добрива часто діють як фосфорні добрива. На лужних ґрунтах, в яких фосфор знаходиться в основному у формі трикальційфосфату, ефективно застосування мінеральних добрив, що підкислюють ґрунтовий розчин.

При внесенні в ґрунт органічних добрив стимулюється активність ґрунтових мікроорганізмів й виділяється більше CO_2 . Під його дією, а також під впливом продуктів життєдіяльності мікроорганізмів розчиняються мінеральні фосфати ґрунту.

Обробіток ґрунту сприяє кращій мобілізації фосфатів, а деякі рослини з глибокою кореневою системою можуть розчинити важкорозчинні фосфати. До культур, які здатні засвоювати фосфор із малорозчинних речовин (фосфоритне борошно, фосфати заліза та алюмінію), належать люпин, горох, буркун і конюшина другого року використання, а з небобових – гречка та гірчиця. Останні, хоч і менше, ніж люпин, але також здатні використовувати фосфор із важкорозчинних фосфатів ґрунту. Проте цієї властивості не мають головні польові культури – зернові, картопля, цукровий буряк, льон, тощо. У зв'язку з цим рекомендується робити мішані посіви або висівати після люпину, гороху – зернові культури, коренеплоди, картоплю.

Хоча у кількісному відношенні по вмісту у рослинній масі фосфор значно поступається азоту, незадовільне живлення рослин цим елементом дуже часто є лімітуючим фактором в процесі отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур. Загальна кількість фосфору в ґрунті коливається у межах 0,1-0,2 % від маси ґрунту (у перерахунку на фосфорний ангідрид). Незважаючи на те, що майже всі ґрунтові фосфати є похідними ортофосфорної кислоти, вони можуть знаходитися як в органічній, так і мінеральній формі.

Органічні форми фосфору існують у ґрунті, як правило, у вигляді сполук, в яких один або більше атомів водню фосфорної кислоти зайняті у ефірному зв'язку, а інші частково або повністю заміщені катіонами металів. Крім цього, поряд з лецитинами та нуклеопротеїдами можливі сполуки фосфору з гумусом, де зв'язок виконують катіони кальцію, заліза та алюмінію.

Мінеральні форми фосфору – це, головним чином, фосфорнокислі солі кальцію, магнію, заліза та алюмінію, де іони водню заміщені катіонами металів.

Органічні сполуки фосфору у ґрунті складають 10-50% від загальної кількості цього елемента та залежать у кількісному відношенні від вмісту мулистій фракції та органічної речовини. У зв'язку з тим, що органічні фосфати у ґрунті практично недоступні для рослин, головним джерелом фосфорного живлення є мінеральні форми цього елемента. Вміст їх дуже малий (5-10% від загального фосфору), але фізична, мінералогічна та хімічна природа дуже складна.

На відміну від мінеральних форм азоту, неорганічні сполуки фосфору малорухомі у ґрунті і тому не схильні до вимивання або випаровування. Дуже низька рухомість мінеральних фосфатів обумовлена, перш за все, їх слабкою розчинністю, яка залежить від дії багатьох факторів, серед яких найважливішими є реакція середовища та ступінь насиченості кальцієм.

Фосфати кальцію та магнію, які найбільш розповсюджені у карбонатних і нейтральних ґрунтах (чорноземи, сіроземи, каштанові ґрунти), значно змінюють свою розчинність в залежності від ступеню насиченості. Однозаміщені солі досить добре розчиняються у воді, двозаміщені – у слабких кислотах, а трьохзаміщені – тільки у сильних кислотах. Фосфати заліза та алюмінію, які найчастіше зустрічаються у кислих та заболочених ґрунтах, існують тільки в умовах кислої реакції середовища. Якщо має місце нейтралізація кислотності (при проведенні хімічної меліорації), ці сполуки фосфору розкладаються, утворюючи малорозчинні сполуки гідроксидів заліза та алюмінію та звільнюючи іонний фосфор. При виникненні необхідності нейтралізації підвищеної кислотності шляхом внесення лужних кальцієвмісних сполук, вільний іонний фосфор утворює важкорозчинні солі типу гідроксіапатиту.

Таким чином, вміст різних форм неорганічного фосфору у значній мірі залежить від значення рН ґрунту. Нейтральна та лужна реакція середовища ґрунту свідчить про наявність фосфатів кальцію, кисла – фосфатів алюмінію та заліза. При визначенні забезпеченості ґрунтів фосфором в аспекті його можливості використання рослинами використовується не загальна кількість цього елемента в ґрунті, а показники вмісту тільки тієї частки фосфору, яка доступна для рослин. Це так звані рухомі форми фосфору, які екстрагуються з ґрунту шляхом використання конкретних хімічних розчинів для різних типів ґрунтів.

Незважаючи на те, що сполуки фосфору у ґрунті значно менш динамічні та рухомі ніж сполуки азоту, існує значна сезонна мінливість показників, які визначають вміст доступного для рослин фосфору. Багаторічні спостереження, які були проведені у Лівобережжі Лісостепу України, показали, що амплітуда сезонних коливань цих значень суттєва та математично вірогідна. Крім того, вона значно вища у верхній частині ґрунтового профілю та особливо на удобрених ґрунтах. При цьому було

також встановлено, що, у свою чергу, сума загальної кількості всіх фракцій мінеральних фосфатів у ґрунті (алюмо-, залізо-, кальцій-фосфати) навпаки дуже стабільна у часі при відсутності будь якої сезонної мінливості. Що ж стосується показників окремих фракцій мінеральних фосфатів, то вони також суттєво динамічні протягом вегетаційного періоду. Цей факт має дуже важливе значення у зв'язку з тим, що існуючі у даний час екстракційні методи визначення рухомих форм фосфору розраховані на звільнення з ґрунту конкретних мінеральних сполук цього елемента. Мінливість цих показників при стабільності загальної кількості мінерального фосфору дозволяє зробити наступний висновок, що сезонна динаміка рухомих сполук фосфору є ніщо інше як якісно-кількісна перебудова різних фракцій мінерального фосфору, що має місце протягом вегетаційного періоду під впливом рослини та незалежних від неї факторів (гідротермічний режим, активність мікрофлори та таке інше). Сезонна мінливість рухомих форм фосфору у ґрунті не тільки значно обмежує застосування екстракційних методів їх визначення, але й обумовлює багато питань, серед яких найважливіше стосується часу відбору ґрунтових зразків для характеристики реальної забезпеченості ґрунту доступним для рослин фосфором.

Дослідження, які були проведені в умовах опідзолених ґрунтів Лісостепу та Полісся України показали, що найбільш висока кореляція між показниками вмісту фосфору у ґрунті та врожайністю і накопиченням фосфору у рослинах отримана при дослідженні зразків ґрунту, що були відібрані навесні. При цьому слід мати на увазі, що сучасні екстракційні методи визначення рухомих фосфатів у ґрунті не спроможні повністю імітувати вимоги культурної рослини до ґрунту у відношенні фосфору внаслідок дуже слабкої схожості систем «рослина - ґрунт» та «рослина – розчин - ґрунт». Більш вагомі результати можуть бути отримані в результаті вивчення ефективності фосфорних добрив з урахуванням

специфіки ґрунтів та культурних рослин в умовах вегетаційних та польових дослідів.

Для оцінки ґрунту як джерела мінерального живлення для рослин дуже важливо мати вірогідну інформацію про вміст в ньому **калію**. Це обумовлено перш за все тим, що культурні рослини містять калію більше, ніж інших елементів, за виключенням азоту. Незважаючи на те, що калій безперервно та у великих кількостях видаляється з ґрунту врожайми сільськогосподарських культур, дуже рідко можна зустріти ґрунт, де нестача цього елемента може лімітувати рівень врожайності. У більшості випадків це пов'язано з тим, що вміст калію у більшості ґрунтів значно вище кількості азоту та фосфору, які дуже часто лімітують отримання високих врожаїв.

Калій – важливий елемент для оптимального росту рослин, а отже, і для отримання високих врожаїв та підтримання високого рівня родючості ґрунту. Аналогічно фосфору, розрахунки вмісту калію роблять у вигляді оксиду K_2O . Вміст і форми калію в ґрунті визначаються гранулометричним складом, природою глинистих мінералів і ступенем їх вивітреності. В ґрунтах важкого гранулометричного складу валовий вміст калію може досягати 2 % і більше (табл. 25).

Таблиця 25

Валові запаси калію в орному шарі ґрунтів різних типів

Ґрунт	K_2O	
	%	т/га
Дерново-підзолистий піщаний	0,5 – 0,7	15-21
Дерново-підзолистий суглинковий	1,5 – 2,5	45 – 75
Чорнозем	2,0 – 2,5	60 – 75

Значно менше його в ґрунтах легкого гранулометричного складу. Основна частина калію в ґрунті входить до складу кристалічної решітки первинних і вторинних мінералів, тобто знаходиться в малодоступній для рослин формі. Деякі з цих мінералів (біотит, мусковіт) віддають калій досить легко і є джерелом мобілізації доступного калію. Ґрунтовий калій поділяють на необмінний, обмінний та калій ґрунтового розчину. Частка обмінного калію складає не більше 5 % його загальних запасів, а в ґрунтовому розчині міститься не більше 1% від усього обмінного калію. Всі форми калію в ґрунті знаходяться у формі рівноваги і зміна кількості будь-якої форми впливає на інші. В умовах нейтральної реакції середовища і збагаченості ґрунту органічною речовиною калій більш інтенсивно закріплюється в необмінній формі. При різкому зниженні вмісту обмінного, частина необмінного калію переходить в обмінний стан. З іншого боку, калій добрив може необмінно закріплюватися в ґрунті, тобто проходить його фіксація. Проходження названих процесів зумовлюється вологозабезпеченістю ґрунту. Так, у вологі роки в ґрунті міститься більше доступного калію, ніж у посушливі, тому що в сухому ґрунті посилюється фіксація калію.

У регулюванні калійного режиму ґрунту першочергове значення мають зміни вмісту доступного для рослин калію і швидкість переведення його загальних запасів у доступну форму. Підвищення вмісту доступного для рослин калію здійснюється внесенням добрив з урахуванням особливостей їх впливу на ґрунт. Більшість ґрунтів важкого гранулометричного складу містять достатню кількість калію. Однак рослини не завжди можуть використати ці запаси через їх низьку доступність. Тому на таких ґрунтах також необхідно вносити калійні добрива.

Калій у ґрунті утримується ґрунтовим вбирним комплексом аналогічно іншим катіонам, тобто відповідно своїй валентності та гідратації, і може еквівалентно обмінюватися на інші катіони.

Вапнування та гіпсування вивільняють відповідну кількість калію і завдяки цьому сприяють мобілізації важкодоступного ґрунтового калію. При нестачі в ґрунті калію його засвоюваність рослинами зменшується, тому що іони калію в ґрунтовому вбирному комплексі не можуть заміщуватися менш рухомими катіонами H^+ і Al^{3+} . Аналогічно іншим катіонам закріплення калію в ґрунті зростає в умовах низького ступеня насиченості ґрунту основами.

Підвищення біологічної активності та родючості ґрунту при використанні калійних добрив незначне, однак воно досить помітне, якщо калійні добрива вносять одночасно з органічними добривами і в ґрунті міститься достатня кількість фосфору та кальцію. Оскільки гній підлюговує реакцію ґрунтового розчину, то тим він сприяє підвищенню поглинання рослинами калію з ґрунту, а також азоту, фосфору, магнію. Оптимальний водний режим ґрунту та відсутність бур'янів – необхідні умови успішного застосування калійних добрив.

Найбільшу кількість калію містять важкі по гранулометричному складу ґрунти – глинисті та суглинкові. У цих ґрунтах його кількість може досягати 2-3 % від маси ґрунту. Значно менше калію в ґрунтах легкого гранулометричного складу – 0,1- 0,2 %.

Забезпеченість рослин калієм в умовах різних ґрунтів визначається не тільки його загальним вмістом в ґрунті, але й співвідношенням між кількістю різних форм (фракцій) цього елемента. Сучасні дослідження свідчать про наявність трьох форм вмісту калію в ґрунті:

1. Водорозчинний калій, що знаходиться у іонній формі в ґрунтовому розчині та безпосередньо поглинається рослинами. Це найбільш доступна та динамічна форма ґрунтового калію, яка значно мінлива протягом

вегетаційного періоду. Відомо, що кількість водорозчинного калію, який знаходиться у ґрунтовому розчині, може змінюватись більш ніж у 20 разів лише за один вегетаційний період.

2. Обмінний (адсорбційний) калій, що знаходиться у поглиненому стані на поверхні ґрунтових колоїдних часток. Максимальний його вміст спостерігається у важких за гранулометричним складом ґрунтах - до 1% від загальної кількості цього елемента. Що ж стосується так званих легких ґрунтів, то у даному випадку вміст обмінного калію по відношенню до загальної забезпеченості становить 0,4-0,5%. Слід окремо відзначити, що кількісний рівень вмісту обмінного калію у конкретному ґрунті настільки стабільний, що важко помітити не тільки сезонні коливання, а й навіть зміни у залежності від виносу калію рослинами. Більш того, виходячи із середнього вмісту обмінного калію у ґрунті, є можливість розрахувати, що протягом 10-15 років ця кількість повинна б була повністю видалена з господарським виносом врожаю. Однак рослини продовжують успішно рости, а обмінний калій у ґрунті знаходиться на тому ж самому рівні протягом багатьох років. Причиною такого явища є особливості взаємодії між обмінною формою калію та його необмінною фракцією.

3. Необмінний (інертний) калій, що знаходиться у складі кристалічної решітки ґрунтових мінералів, складає головну частку калію у ґрунті – до 90% від загального вмісту. Основні джерела необмінного калію – польові шпати та слюди. Можливість вивільнення калію з цих мінералів пов'язана не тільки з різними факторами зовнішнього середовища, але й з особливостями розташування цього елемента у кристалічній структурі мінералу. Незважаючи на те, що як у польових шпатах, так і у слюдах калій входить у склад алюмосилікатної структури, для цих мінералів існує значна різниця у просторовому розташуванні атомів калію. У польових шпатів кожен атом калію міцно пов'язаний структурно з атомами кисню, які знаходяться навкруги його. Можливість взаємодії з субстратом, що

знаходиться навкруги, виникає тільки після повного руйнування алюмосилікатної структури. Що ж стосується калію, який входить до кристалічної решітки слюди, то у даному випадку вивільнення цього елемента проходить значно скоріше за рахунок відокремлення алюмосилікатних шарів, між якими знаходяться атоми калію.

Рівень та інтенсивність калійного живлення рослин залежить головним чином від характеру процесів, які проходять у системі «водорозчинний калій – обмінний калій – необмінний калій». Найбільш стабільним станом в умовах конкретного ґрунту характеризується обмінний калій, який знаходиться у зваженому стані з водорозчинним калієм та поповнюється за рахунок необмінного калію. Зменшення кількості водорозчинного калію в результаті вирощування рослин викликає десорбцію у розчин обмінного калію, вміст якого у ґрунті у той же час залишається постійним. Таку стабільність обмінного калію сучасні дослідники пояснюють наявністю у ґрунтовому розчині критичного рівня концентрації доступного для рослин калію, нижче якого мають місце інтенсивні процеси звільнення цього елемента з необмінної форми. Якщо вказана концентрація зростає до критичного рівня та вище, перехід калію з необмінного стану припиняється.

Таким чином, якщо вміст обмінного калію у ґрунті і не завжди віддзеркалює загальну забезпеченість цим елементом, він достатньо точно показує умови калійного живлення рослин, від яких у значній мірі залежать кількість та якість врожаю.

В останній час значна увага приділяється процесам необмінної фіксації калію глинистими мінералами. Таку здатність мають перш за все вермикуліти, слюди та монтморилоніт. Природа фіксації калію аналогічна особливостям цього процесу відносно амонію та обумовлена зменшенням параметрів кристалічних структур мінералів. Найбільша ступінь фіксації має місце у ґрунтах при їх зневоднюванні та

нагріванні, що дуже часто спостерігається в природних обставинах під час спекотної та посушливої погоди. Причиною такого явища є втрата адсорбованої води з положень між молекулярними прошарками, внаслідок чого вони зближуються та фіксують атоми калію у кристалічній решітці.

Кількість доступного для рослин калію в ґрунті встановлюють по результатах аналізу на вміст калію у витяжці з ґрунту, яка використовується для визначення концентрації рухомих форм фосфору. Відповідно до цього для кислих підзолистих ґрунтів застосовують соляно-кислу витяжку, для безкарбонатних чорноземів – оцтовокислу, для карбонатних ґрунтів – розчин вуглекислого амонію та таке інше. Безумовно, при проведенні аналізу у розчин переходить не тільки обмінна, а й водорозчинна форма калію, яка схильна як до сезонної, так і просторової мінливості.

Дослідження показали, що сезонна динаміка рухомих форм калію найбільш помітна у верхній частині ґрунтового профілю та виражена кривою з мінімумом у середині, якщо ґрунтові зразки відбираються три рази за вегетаційний період. Вищевикладений матеріал свідчить про те, наскільки складні, динамічні та різні по характеру ґрунтові процеси, що визначають стан мінерального живлення рослин у відношенні головних біогенних макроелементів – азоту, фосфору та калію. Тому вивчення питань щодо оптимізації саме азотного, фосфорного та калійного живлення зелених рослин є найважливішим у справі отримання високих, стабільних та якісних врожаїв сільськогосподарських культур.

4.2.1. Розрахунок балансу поживних речовин

Баланс поживних речовин математично являє собою різницю між статтями їх надходження і витрат під культурою, в окремому полі, сівозміні, господарстві і так далі за однаковий проміжок часу. Розрізняють загальний і ефективний баланси. Перший включає надходження поживних

речовин без урахування коефіцієнта засвоєння, а ефективний – включає надходження поживних речовин добрив, з урахуванням коефіцієнта засвоєння. Балансові розрахунки в окремому полі, сівозміні, господарстві, дають змогу здійснювати контроль за станом ґрунтової родючості. Якщо втрати елементів живлення за рахунок виносу з урожаєм не поповнюються за рахунок внесення добрив - відбувається поступове збіднення ґрунту і зниження врожаю. При позитивному балансі родючість ґрунту зростає.

Статтями витрат поживних речовин є винос їх основною і побічною продукцією, вимивання з ґрунту фільтруючими водами, внаслідок вітрової і водної ерозії, а також газоподібні втрати азоту. Статті надходження поживних речовин у ґрунт: з органічними і мінеральними добривами; посівними і посадочним матеріалом; з кореневими і поживними рештками, атмосферними опадами, а для азоту враховується також біологічна фіксація мікроорганізмами і бобовими культурами. Баланс елементів живлення в землеробстві (полі, сівозміні, господарстві і т.п.) характеризується такими показниками: баланс (\pm), ц; баланс (\pm), кг/га; баланс (\pm), % до виносу та інтенсивність балансу, %.

Різниця між втратами елементів живлення (ц) з площі під культурою, сівозміною тощо та надходження цього елемента (ц) на відповідну площу дає баланс (\pm), ц. Баланс (\pm), кг/га по культурі, сівозміні, господарству отримують, поділивши баланс (\pm) центнерів на відповідну площу. Баланс елементів живлення в % до виносу можна визначити для окремої культури чи групи культур, сівозміни і господарства. Для розрахунків використовують дані по виносу елементів живлення врожаєм і їх надходження в ґрунт на всю площу або в кг на 1 га. Обчислення здійснюють за формулою:

$$B = \frac{(He - B) \cdot 100}{B}$$

де He – надходження елемента живлення в ґрунт з добривами та з інших джерел, ц або кг;

B – винос елементів живлення врожаєм по культурі, сівозміні, господарству і т.д., ц або кг;

Даний показник відображає, на скільки відсотків надходження елементів живлення в ґрунт менше або перевищує винос їх урожаєм із ґрунту.

Інтенсивність балансу (ІБ) відображує, на скільки відсотків винос елемента живлення врожаєм забезпечується за рахунок його надходження з добривами. Розрахунки ведуть за формулою:

$$IB = \frac{He \cdot 100}{B}$$

де He – надходження елемента живлення, кг/га;

B – винос елемента врожаєм, кг/га;

100 – коефіцієнт перерахунку у відсотки.

Інтенсивність балансу може бути меншою, ніж 100% - дефіцитний баланс, дорівнювати 100% - баланс зрівноважений або бути більшою, ніж 100% - баланс позитивний. Показник інтенсивності балансу може використовуватись на всі рівнях хімізації.

Для розрахунку балансу поживних речовин по культурі, сівозміні, господарству (кг/га) інститутом ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського запропоновано наступні формули:

$$B_N = \sum(M_N \cdot 0,85 + O_N + P_N + \Phi_N + A_N) - \sum(BO_N + BP_N)$$

де B_N - баланс азоту;

надходження азоту:

O_N - з органічними добривами;

P_N - з посівним матеріалом;

M_N – з мінеральними добривами;

Φ_N – за рахунок біологічної фіксації;

A_N – з атмосферними опадами;

винос азоту:

BO_N – основною продукцією;

BP_N – побічною продукцією;

0.85 – коефіцієнт, враховуючий 15% втрат азоту.

$$B_p = \sum(M_p + O_p + P_p) - \sum(BO_p + BP_p).$$

де B_p – баланс фосфору:

надходження фосфору:

M_p – з мінеральними добривами;

O_p – органічними добривами;

P_p – посівним матеріалом;

винос фосфору:

BO_p – основною продукцією;

BP_p – побічною продукцією.

$$B_k = \sum(M_x + O_x + P_x + A_x) - \sum(BO_x + BP_x),$$

де B_k – баланс калію;

надходження калію:

M_x – з мінеральними добривами;

O_x – органічними добривами;

P_x – посівним матеріалом;

A_x – атмосферними опадами;

винос калію:

BO_x – з основною продукцією;

BP_x – з побічною продукцією.

Для визначення витрат елементів живлення використовують показники виносу поживних речовин урожаєм сільськогосподарських культур на 1 ц основної і відповідну кількість побічної продукції (дод.3). Непродуктивні втрати азоту внаслідок звітнення і вимивання та чорноземних ґрунтах становлять у середньому 15, а на дерново – підзолистих – 20% азоту, внесеного з мінеральними добривами.

Під час визначення складових надходження поживних речовин у ґрунт, у першу чергу враховують їх кількість, внесену з органічними і мінеральними добривами. Розраховуючи кількість поживних речовин, внесених у ґрунт із органічними добривами, використовують дані зональних проектно – пошукових станцій хімізації по вмісту азоту, фосфору і калію в гною або середні довідкові (дод.4), вміст поживних речовин у мінеральних добривах (дод.5).

У балансових розрахунках враховують надходження у ґрунт поживних речовин з насінням і посадковим матеріалом. Розраховують дану статтю надходження на основі норм висіву культури, які застосовуються в господарстві й вмістом азоту, фосфору і калію в насінні (дод.6).

З атмосферними опадами в ґрунт на 1 га в середньому потрапляє: в Поліссі – 5 кг, Лісостепу – 10 і Степу – 4 кг азоту, а за рахунок не симбіотичної фіксації азоту атмосфери: в Поліссі – 5 кг, Лісостепу – 10 і Степу – 8 кг. Для розрахунку кількості азоту, який надійшов у ґрунт за рахунок симбіотичної фіксації бобовим культурами враховують, що багаторічні трави (конюшина, люцерна, еспарцет) використовують атмосферного азоту 70 – 75%, горох 40 – 50, люпин і кормові боби 60 – 65% від загального азоту біомаси, а співвідношення між кількістю азоту у господарській частині урожаю, поживних і корневих і корневих рештках у люцерни 1:1,3, конюшини 1:1,15 – 1:1,25, люпину – 1:0,6 – 0,7, гороху - 1:0,2 – 0,3.

За врожайністю і вмістом азоту (дод.7) розраховують величину його виносу господарською частиною врожаю. Використовуючи відповідні співвідношення, встановлюють вміст азоту в корневих і поживних рештках, далі у біомасі в цілому. Враховуючи процент використання атмосферного азоту, обчислюють, яка його кількість надійшла до ґрунту на рахунок симбіотичної фіксації. За даними інституту ґрунтознавства та

агрохімії ім. О.Н. Соколовського, в Україні темпи виносу поживних речовин порівняно темпами надходження знижуються з півночі до півдня, від зони достатнього зволоження на ґрунтах легкого гранулометричного складу (Полісся) до зони недостатнього зволоження на ґрунтах важкого гранулометричного складу (Степ), в якій внаслідок нестачі вологи і високої місткості вбирання ґрунтів значно знижується доступність поживних речовин для рослин і як наслідок, зменшуються темпи зростання врожаїв культур порівняно з Поліссям та Лісостепом

4.2.2. Прогнозування вмісту поживних речовин у ґрунті

Для управління родючістю і визначенню потреби в добривах важливого значення набуває прогнозування змін вмісту рухомих поживних речовин у ґрунті на запланований період. З цією метою для азоту легкогідролізованих сполук застосовують формулу Шаферана:

$$C_n = C_f + \frac{\sum M_n + \sum \Phi_n + \sum \Phi_{Bn} + \sum A_n - \sum B}{H_n},$$

де C_n – прогнозований вміст азоту легкогідролізованих сполук, мг/кг;

C_f – фактичний вміст азоту легкогідролізованих сполук у рік агрохімічного обстеження, мг/кг;

$\sum M_n \dots \sum A_n$ - кількість азоту, внесеного на даному полі з мінеральними ($\sum M_n$) і органічними ($\sum O_n$) добривами, а також азоту, що потрапив у ґрунт внаслідок азотофіксуючої діяльності бульбочкових бактерій з кореневими і поживними рештками бобових культур ($\sum \Phi_n$), та за рахунок азотфіксації вільноживучими бактеріями ($\sum \Phi_{Bn}$) і атмосферними опадами ($\sum A_n$) кг/га;

$\sum B$ – кількість азоту, який буде внесений запланованим врожаєм вирощуваних культур, кг/га;

H_n – доза азоту (кг/га) для підвищення його вмісту в легкогідролізованих сполуках на 10 мг/кг ґрунту (H_n для дерново – підзолистих ґрунтів 200 – 210 кг/га).

Для рухомих сполук фосфору і калію формула має вигляд:

$$C_n = C_\phi + \frac{\Sigma(P_m + P_o) - \Sigma B}{H},$$

де C_n , C_ϕ – відповідно прогнозований і фактичний вміст рухомих фосфатів і обмінного калію, мг/кг;

P_m – очікуване надходження фосфору або калію з мінеральними добривами за запланований період;

P_o – з органічними добривами, кг/га;

ΣB – очікуваний винос фосфору чи калію із врожаєм культур за запланований період, кг/га;

H – доза поживної речовини добрив (кг/га) для підвищення її вмісту на 10 мг/кг ґрунту (табл. 26).

Таблиця 26

Дози поживних речовин, які забезпечують підвищення вмісту рухомих сполук фосфору і обмінного калію на 10 мг в 1 кг ґрунту

Ґрунти	Гранулометричний склад	Доза, кг/га	
		P_2O_5	K_2O
Дерново-підзолисті	I	50 – 60	40 -60
	II	70 – 80	60 – 80
	III	100 – 120	80 – 100
Дерново-підзолисті глесві	I	90-100	150 – 160
Сірі лісові	II	90 – 110	70 – 80
	III	120 – 140	80 – 90
Чорноземи типові й звичайні	I	90 – 100	80-90
	II	100 – 110	90-100
	III	120 – 130	110-120
Чорноземи південні	II	110 – 130	Те ж саме
Каштанові	II	90 – 110	Те ж саме
Лучні	II	90 - 100	Те ж саме

I – піщані й супіщані; II – легко- і середньо суглинкові;

III – важко суглинкові й глинисті.

За узагальненими даними інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського оптимальним рівнем вмісту азоту легкогідролізованих сполук за Тюрнімом – Кононовою вважається 7 – 10, а азоту лужногідролізованих за Корнфілдом – понад 20 мг/100г ґрунту. Проте, ці

показники мають орієнтовний характер, бо не завжди мають відповідний кореляційний зв'язок з урожайністю культур.

Величина оптимального фосфорного рівня ґрунтів визначається типом ґрунту, попередником, біологічними особливостями культур. Максимальної продуктивності сівозміни можна досягти при вмісті рухомих фосфатів за Чиріковим – 13-16, Мачигінім – 4-6, а за методом Кірсанова – 13-18 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту.

Оптимальний вміст рухомого калію за Чиріковим, залежно від ґрунту і культури, становить 0 – 18, а за методом Мачигіна – 30-40, Кірсанова – 15-22, Маслової – 20-30 мг K_2O на 100 г ґрунту.

Створювати фони вище оптимального рівня не слід, оскільки це призводить до непродуктивних витрат поживних елементів, забруднення навколишнього середовища, зниження врожаю і його якості.

4.2.3. Визначення потреби у мінеральних добривах

Потребу в мінеральних добривах, а також дози їх внесення визначають різними способами. Так, дози фосфору і калію встановлюють, переважно враховуючи диференційовані нормативи витрат P_2O_5 і K_2O на підвищенні їх рухомих сполук на 10 мг в 1 кг ґрунту за формулою:

$$D = 0.1 (C_n - C_{\phi}) \cdot H,$$

де D – доза P_2O_5 або K_2O , необхідна для доведення вмісту поживних речовин у ґрунті до запланованого рівня, кг/га;

C_n – запланований вміст поживних речовин у ґрунті, мг/га;

C_{ϕ} – фактичний вміст поживних речовин, мг/кг;

H – доза поживної речовини добрива (кг/га) для підвищення її вмісту на 10 мг/кг ґрунту.

При окультуренні кислих ґрунтів шляхом внесення фосфору, дозу фосфоритного борошна (D) у перший рік визначають за формулою:

$$D = V_n - C_p + v \cdot H,$$

де V_n – середньозважений винос фосфору по сівозміні, кг/га P_2O_5 ;

C_p – вміст фосфору в гною, кг/га;

v – коефіцієнт, що показує, на яку величину планується підвищити вміст рухомого фосфору в ґрунті ($v = 3$ – для піщаних і супіщаних, $v = 2$ – суглинкових, $v = 1$ – важко суглинкових і глинистих ґрунтів);

N – доза P_2O_5 (кг/га) для підвищення вмісту на 10 мг в 1 кг ґрунту (див. табл. 26).

Фосфоритне борошно слід застосовувати, насамперед, для окультурення дерново – підзолистих, сірих лісових, чорноземів вилугованих і опідзолених, де за ефективністю воно не поступається перед суперфосфатом. Внесення його високими (1-2 т/га) дозами дає можливість забезпечити потребу сільськогосподарських культур у фосфорі протягом 6 – 8 років і поліпшити фосфатний режим ґрунту.

Потребу в азотних добривах визначають за виносом азоту урожаєм, а вносять їх щорічно під кожен культуру сівозміни, як правило роздільно з урахуванням комплексної діагностики.

Обмеженням розрахункових доз азоту, є екологічно безпечний рівень їх внесення. На основі існуючих нормативів, заснованих на дослідних даних, орієнтовані максимальні дози азотних добрив для рівнинних і схилових ґрунтів України приведено у таблиці 27.

Таблиця 27

Максимальні (екологічно безпечні) дози азотних добрив під основні сільськогосподарські культури України, кг/га допустимого рівня

Культура	Полісся	Лісостеп		Степ		Зрошені землі
		Центральний і західний	Східний	Північний	Південний	
Пшениця озима	110 – 140	120 – 140	110 – 130	100 – 120	100 – 120	160
Жито озиме, ячмінь, овес	100 – 110	100 – 120	100	70 – 80	70 – 80	-
Кукурудза на зерно	150	150	120 – 140	100 – 130	90 – 120	150 – 180
Кукурудза на силос, картопля, однорічні трави	120	120 – 140	110	90 – 100	90 – 100	130 -150
Цукровий буряк	160	160	145	145	130	180
Культурні пасовища	250	300	160	160	140	360

Застосування високих доз мінеральних добрив і хімічних меліорантів ґрунтів збільшує потребу в мікроелементах. В умовах України вони ефективні на ґрунтах з низьким і середнім вмістом. Дози внесення мікроелементів при вирощуванні сільськогосподарських культур наведено в таблиці 28.

Таблиця 28

Дози внесення мікроелементів у ґрунт при комплексному інтенсивному окультуренні, кг/га д.р.

Культури	B	Mo	Cu	Zn	Mn	Co
Зернові	-	0,6	0,7 – 1,0	1,2 – 3,0	1,5 – 3,0	-
Кукурудза	-	0,6 – 0,8	3,0	1,0 – 3,0	2,0 – 4,0	-
Соняшник	0,8 – 1,0	-	-	0,7 – 1,2	1,5 – 3,0	-
Зернобобові	0,3 – 0,5	0,2 – 0,3	2,0	1,0 – 3,0	1,5 – 3,0	0,2 – 0,5
Овочеві	0,6 – 0,8	-	1,0 – 1,5	0,7 – 1,2	2,0 – 5,0	0,2 – 0,3
Льон – довгунець	0,4 – 0,5	3,0	1,0 – 6,0	3,0 – 5,0	3,0	-
Коренеплоди	0,7 – 0,9	0,5	0,8 – 1,5	1,2 – 3,0	2,0 – 5,0	0,2 – 0,3
Багаторічні та однорічні трави	0,5 – 0,6	0,2 – 0,4	0,8 – 3,0	0,7 – 3,0	-	0,2 – 0,3
Пасовища	0,5 – 0,6	0,2 – 0,3	0,8 – 1,6	0,7 – 1,2	-	0,2 – 0,3

Проте, застосовувати мікродобрива краще шляхом допосівної обробки насіння солями мікроелементів, використовуючи як наповнювач високодисперсні речовини природного походження.

4.3. Регулювання органічної речовини

Вміст гумусу в ґрунтах України обумовлений зональністю ґрунтоутворення. Його кількість поступово зростає від дерново – підзолистих ґрунтів до чорноземів типових і звичайних, а потім знову зменшується в чорноземах південних і каштанових ґрунтах. У межах зональних таксономічних одиниць вміст і запаси гумусу залежать від

гранулометричного складу ґрунту. Важкі ґрунти більшою мірою збагачені гумусом, ніж легкі.

Фактичний вміст і запаси гумусу в орному шарі основних типів ґрунтів характеризуються значними коливаннями (табл. 29).

Таблиця 29

**Вміст і запаси гумусу в орному шарі основних типів
ґрунтів України**

ґрунти	Глибина орного шару, см	Вміст гумусу, %	Запаси гумусу, т/га
Дерново-підзолисті	20	0,7 – 2,0	21 – 56
Світло-сірі лісові	20	1,0 – 2,5	28 – 65
Сірі лісові	25	1,2 – 3,0	42 – 98
Темно-сірі опідзолені	30	2,5 – 3,6	84 – 140
Чорноземи: опідзолені	30	2,0 – 4,9	84 – 191
типові і звичайні південні	30	4,0 – 6,0	144-216
	30	2,5 – 3,5	97 – 126
Темно-каштанові	30	1,5 – 2,7	59-105

Внаслідок сільськогосподарського використання ґрунтів порушується природне гумусоутворення, змінюється кількість і якість рослинних решток, що впливає на процеси гуміфікації і, в більшості випадків, призводить до зниження вмісту гумусу у ґрунті. Втрати гумусу спостерігають в усіх ґрунтово - кліматичних зонах України. Згідно з літературними даними на не удобрюваних ґрунтах при існуючій структурі посівних площ щорічні втрати гумусу становлять: на Поліссі – 0,7 – 0,8, Лісостепу – 0,6 – 0,7, Степу – 0,5 – 0,6 і в цілому по Україні 0,6 – 0,7 т/га.

Зменшення втрат гумусу в ґрунтах України можна досягти шляхом більш широкого застосування органічних добрив, використання залишків побічної продукції рослинництва, мінімалізацією обробітку ґрунту, збільшенням площі багаторічних трав, оптимізацією співвідношення в сівозмінах просапних культур та культур суцільного посіву, застосуванням хімічних меліорантів тощо [17,18,20,28,39]..

Підвищення вмісту гумусу – першочергова задача для ґрунтів, що мають дуже низьку і низьку гумусованість (дерново-підзолисті, сірі лісові, еродовані). На ґрунтах із великими запасами гумусу (чорноземи типові та звичайні) важливо досягти його стабілізації, передбачивши відповідний рівень повернення органічної речовини в ґрунт.

4.3.1. Розрахунок балансу гумусу

Для контролювання змін вмісту гумусу і запобігання його зниження до рівня погіршення властивостей ґрунтів, необхідно оволодіти методикою прогнозу процесів у трансформації органічної речовини ґрунту. Для оперативного вирішення цього завдання використовують розрахункові методи визначення балансу гумусу в ґрунті [29,39].

Баланс гумусу математично є різницею між статтями його надходження і витратами за однаковий проміжок часу. Розрізняють наступні типи балансу гумусу в ґрунті:

- бездефіцитний – коли втрати гумусу поповнюються його новоутворенням;
- позитивний – новоутворення гумусу перевищує його втрати на мінералізацію;
- негативний (дефіцитний) – втрати гумусу перевищують його новоутворення.

При визначенні величини середнього балансу гумусу в ґрунті розрахунки необхідно проводити за формулою Г.Я. Чесняка:

$$B_c = \frac{\sum \Pi_1 + \sum \Pi_2}{t_p} - \frac{\sum p}{t_p},$$

де B_c – середньорічний баланс гумусу в ґрунті на 1 га за ротацію сівозміни, т/га;

Π_1 – сума новоутвореного гумусу під культиваторами за ротацією сівозміни за рахунок рослинних решток, т/га;

Π_2 – збільшення вмісту гумусу в ґрунті за ротацію сівозміни за рахунок органічних т/га;

P – сумарна кількість гумусу, який мінералізується під культурами за ротацію сівозміни, т/га;

t_p – тривалість ротації, років.

Прибуткова частина гумусового балансу включає облік новоутворення гумусу з пожнивно-корневих решток рослин і органічних добрив, враховуючи коефіцієнти гуміфікації.

Кількість рослинних решток визначають за фактичним (або плановим) урожаєм продукції культур сівозміни. З таблиці 30 беруть коефіцієнт виходу пожнивних і корневих решток для конкретних культур і множать на рівень урожаю головної продукції.

Наприклад, урожайність озимої пшениці в зоні Полісся складає 40 ц/га, коефіцієнт виходу рослинних решток 1,50. Кількість пожнивних і корневих решток буде дорівнювати:

$$40 \times 1.50 = 60 \text{ ц/га} = 6.0 \text{ т/га}$$

Розрахунок кількості новоутворення гумусу із рослинних решток проводять, використовуючи коефіцієнти їх гуміфікації з таблиці 31.

Наприклад, якщо маса рослинних решток озимої пшениці в зоні Полісся 6 т/га, а коефіцієнт гуміфікації 0,23, то кількість новоутвореного гумусу складає $6,0 \times 0.23 = 1,38$ т/га. Аналогічно розраховують кількість

гумусу, що утворилася з гною. Наприклад, якщо в зоні Полісся під картоплю вносять 60 т/га, то утворюється: $60 \times 0,042 = 2,52$ т/га гумусу.

Таблиця 30

**Коефіцієнти виходу поживних і корневих решток від урожаю
основної продукції**

Культура	Ґрунтово - кліматична зона		
	Полісся	Лісостеп	Степ
Озимі зернові	1,50	1,10	1,30
Ячмінь	1,10	0,90	1,00
Овес	1,30	1,10	1,00
Просо	1,10	1,00	1,00
Кукурудза на зерно	1,30	0,80	1,42
Кукурудза на силос	0,18	0,16	0,21
Горох	0,90	0,80	0,85
Цукрові буряки	0,08	0,04	0,03
Картопля	0,14	0,06	0,05
Льон	3,20	-	-
Однорічні трави на сіно	1,00	0,80	0,90
Однорічні та багаторічні трави на зелений корм	0,31	0,20	0,25

Наступним етапом розрахунку є облік витратної частини гумусового балансу, який включає мінералізацію органічної речовини ґрунту в умовах прийнятої технології виробництва.

Кількість гумусу, яка мінералізується визначають для кожної культури сівозміни, використовуючи показники середньорічної мінералізації з таблиці 32.

Таблиця 31

Коефіцієнти гуміфікації рослинних решток і органічних добрив в орному шарі ґрунту

Культура	Ґрунтово - кліматична зона		
	Полісся	Лісостеп	Степ
Озимі на зелений корм	0,15	0,14	0,13
Озимі зернові	0,23	0,25	0,20
Горох, віка, соя	0,24	0,23	0,25
Кукурудза на зерно	0,22	0,20	0,20
Ячмінь, овес, просо, сорго, гречка	0,23	0,22	0,22
Однорічні трави, віко-овес	0,24	0,25	0,22
Люцерна, конюшина, еспарцет	0,23	0,25	0,25
Кукурудза на силос	0,14	0,15	0,15
Буряки цукрові й кормові	0,08	0,10	0,10
Картопля, овочі, баштанні	0,13	0,08	0,10
Льон	0,25	-	-
Солома на добриво	-	-	0,14
Гній підстилковий	0,20	0,22	0,25

Розміри мінералізації корегуються поправкою на гранулометричний склад ґрунту у співвідношенні з коефіцієнтами, приведеними в таблиці 33.

Таблиця 32

**Середньорічна мінералізація гумусу під
сільськогосподарськими культурами, т/га**

Культура	Ґрунтово - кліматична зона		
	Полісся	Лісостеп	Степ
Чорний пар	-	1.50	2.00
Озимі на зелений корм	1.14	1.00	1.24
Озимі на зерно	0.90	0.70	1.35
Цукрові буряки	1.70	1.50	1.59
Кукурудза на зерно	1.40	1.10	1.56
Кукурудза на силос	1.30	1.25	1.47
Ячмінь	1.05	0.70	1.23
Овес	1.27	0.82	1.20
Просо	1.00	0.72	1.10
Гречка	1.12	1.06	1.10
Пшениця яра	-	-	1.10
Овочі	1.34	1.20	1.60
Льон	0.90	-	-
Картопля	1.50	1.20	1.61
Соняшник	-	1.00	1.39
Однорічні трави	0.80	0.80	1.10
Багаторічні трави	0.55	0.30	0.60

Таблиця 33

**Коефіцієнти мінералізації гумусу залежно від
гранулометричного складу ґрунту**

Група ґрунтів за гранулометричним складом	Коефіцієнт мінералізації
Піщані	1,8
Супіщані	1,4
Легкосуглинкові	1,2
Середньосуглинкові	1,0
Важкосуглинкові та глинисті	0,8

Наприклад, під кукурудзу на силос, яка вирощується в зоні Лісостепу, мінералізація гумусу за рік складає 1,25 т/га, а для чорноземів типових легкосуглинкових з врахуванням коефіцієнту (1,2) складає $1,25 \times 1,2 = 1,5$ т/га.

Розрахунок балансу в ґрунті по полях сівозміни та на 1 га сівозмінної площі проводиться за формулою середньорічного балансу гумусу.

4.3.2. Визначення потреби в органічних добривах

Потребу в органічних добривах встановлюють, виходячи з конкретних умов і завдання по досягненню бездефіцитного або позитивного балансу гумусу. Середні дози гною, які забезпечують підтримання гумусу на такому рівні наведено в таблиці 34.

Таблиця 34.

Дози гною для підтримання бездефіцитного балансу гумусу в землеробстві України, т/га сівозмінної площі

Ґрунтово-кліматична зона	Балансу гумусу	
	бездефіцитний	позитивний
Полісся	10 – 12	15 – 18
Лісостеп	6 – 8	11 – 12
Степ	4 - 6	8 - 9

Ці нормативи уточнюють за відомими формулами. Для підтримання бездефіцитного балансу гумусу, норму гною можна розрахувати за формулою Г.Я. Чесняка:

$$N_m = N_1 + \frac{B_g}{K_g},$$

де N_m – мінімальна норма гною на 1 га сівозмінної площі, яка забезпечує бездефіцитний баланс гумусу, т;

N_1 - норма гною, яка використовується у сівозміні, т;

B_g – баланс гумусу в сівозміні;

K_g – кількість гумусу, що утворюється з 1 т гною (в умовах Полісся – 0.042, Лісостепу – 0.054, Степу – 0.059 т/га).

На практиці дози органічних добрив визначають диференційовано залежно від вмісту гумусу, гранулометричного складу ґрунту та місця внесення гною в сівозміні (табл. 35)

Таблиця 35

Дози внесення підстилкового гною в полях комплексного інтенсивного окультурення, т/га

Ґрунти, періодичність внесення гною	Вміст гумусу, %	Під озими зернові	Під картоплю, силосні, коренеплоди, овочі
Дерново-підзолисті: Піщані (1 раз на 3 роки)	<1,0	60	80
	1,0-1,5	50	70
	1,5-2,0	50	60
Супіщані (1 раз на 4 роки)	<1,2	60	80
	1,2-1,8	55	70
	1,8-2,5	50	60
	>2,5	40	50
Легко- і середньо суглинкові (1 раз на 5 років)	<1,5	60	80
	1,5-2,0	55	70
	2,0-2,8	50	60
Сірі лісові: Піщані і супіщані (1 раз на 4 роки)	<1,5	60	70
	1,5-2,5	50	60
	2,5-3,0	50	50
	>3,0	40	50
Суглинкові й глинисті (1 раз на 5 років)	<2,0	60	70
	2,0-2,5	55	60
	2,5-3,5	50	60
	>3,5	40	50
Чорноземи опідзолені, вилугувані, типові (1 раз на 5 років)	-	40	60
Чорноземи звичайні, південні (1 раз на 4 роки)	-	30	40
Каштанові (1 раз на 4 роки)	-	30	50

На еродованих і ерозійно небезпечних ґрунтах, доцільні підвищені дози органічних добрив, які розраховують для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу й відновленні родючості. За узагальненими даними на 1 га сівозмінної площі, гній слід відносити в дозах, наведених у таблиці 36.

Таблиця 36

Дози органічних добрив для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу на еродованих ґрунтах України

Ґрунтово-кліматична зона	Дози гною, т на 1 га сівозмінної площі		
	Слабо еродовані ґрунти	Середньо еродовані ґрунти	Сильно еродовані ґрунти
Полісся	20	22	24
Лісостеп	13	15	17
Степ	10	12	14

Застосування багаторічних трав, післяжнивних та післяукісних посівів дає можливість зменшити ці дози на 20 – 50%.

При використанні інших видів органічних добрив (у разі недостатнього виробництва гною), потреба в них для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу встановлюється за відповідними коефіцієнтами перерахунку на підстилковий гній (табл. 37).

**Коефіцієнти перерахунку різних видів органічних добрив
на підстилковий гній**

Органічне добриво	Коефіцієнт
Підстилковий гній (вологість до 77%)	1,00
Тверда фракція безпідстилкового гною	1,00
Безпідстилковий напіврідкий гній (вологість 90-93%)	0,50
Рідкий гній (вологість 93-97%)	0,25
Гноєві стоки (вологість понад 97%)	0,10
Торфогноєвий компост	1,20
Торфопослідний компост	1,30
Пташиний послід підстилковий	0,65
Солома (з додаванням 8-12 кг/т азоту)	3,40
Сапропель (вологість 60%)	0,25
Сидеральні добрива (природна вологість)	0,25

На схилі землях ґрунт доцільно мульчувати подрібненою соломомою, яку залишають на полі під час збирання врожаю зернових колосових культур. Підрахунки свідчать, що на Україні кількість соломи становить 23.8 млн. т, це еквівалентно 83.3 млн. т стандартного гною (1 т соломи по вуглецю дорівнює 3 – 4 т підстилкового гною).

Солому рекомендується вносити під час збирання врожаю [17,22,28,35].. Її подрібнюють до 8 – 10 см і рівномірно розстилають по поверхні схилу. Мульчування знижує змивання ґрунту, сприяє нагромадженню вологи, запобігає витратам поживних речовин. Проте, застосування соломи призводить до іммобілізації азоту, в результаті чого культури (за винятком бобових), які будуть вирощувати наступного року

після проведення мульчування, відчуватимуть азотне голодування. Для запобігання цьому необхідно вносити азотні добрива з розрахунку 8 -12 кг азоту на кожну тонну соломи надаючи перевагу аміачним та амідним формам.

Подрібнену масу соломи рівномірно розкидають по полю і перемішують з верхнім шаром ґрунту дисковими знаряддями. При цьому створюється розпушений мульчуючий шар, який поліпшує повітрообмін, запобігає утворенню кірки. На сірих лісових ґрунтах і чорноземах опідзолених, здатних до підкислення, необхідно вносити вапно для нейтралізації фізіологічно кислих форм азотних добрив. Отже, мульчування соломкою зумовлює застосування комплексної хімізації, яка включає три компоненти: органічні добрива + мінеральний азот + вапно.

У разі застосування мульчування, до початку збирання врожаю необхідно визначити, скільки потрібно соломи на годівлю худоби, для підстилки та інших господарських потреб і яку кількість можна використати для мульчування.

Доцільно залишити на полі солону озимої пшениці, стебла соняшнику, кукурудзи, зібраної на зерно.

На полях, де буде залишена солома, комбайни під час збирання повинні працювати з подрібнювачами. Солону повітряним потоком рівномірно розподіляють по стерні і за допомогою дискових знарядь, перемішують з 0 – 8 см шаром ґрунту для компостування.

На 1 тонну рослинних решток додатково додають 8 – 12 кг мінерального азоту. Вносять аміачну селітру або аміачну воду і безводний аміак культиватором – рослинопідживлювачем.

Стебла соняшнику подрібнюють дисковою бороною, після чого проводять полицевий обробіток ґрунту.

Напівкарликові сорти озимої пшениці залишають мало соломи, тому на таких полях необхідно вносити гній.

Часткове залишення соломи можна регулювати висотою зрізу: при роздільному збиранні – 18-20 см, при прямому комбайнуванні – 30 і навіть 40 см. Після збирання врожаю, поле обробляють важкою дисковою бороною, солому перемішують з верхнім 0 – 8 см шаром для компостування. Перед обробіткою вносять 8 – 12 кг азоту на кожні 10 см висоти стерні.

На схилах з крутизною понад 3°, солому залишають обов'язково. Використання її як органічного добрива рекомендується і при нестачі гною.

Отже, методика визначення потреби в органічних добривах для комплексного інтенсивного окультурення земель ґрунтується на врахуванні балансу гумусу по кожному полю сівозміни з використанням даних про мінералізацію органічної речовини і поповнення його втрат за рахунок гною, інших органічних добрив, корневих і післяжнивних решток.

Розрахунки доз гною пропонується вести за формулою:

$$D_n = \frac{100000 \cdot (M_g - P_g)}{P_g \cdot (100 - W)}$$

де D_n - доза гною (компостів) на 1 га сівозмінної площі, т;

M_g – мінералізація гумусу, т/га за рік;

P_g – поповнення гумусу за рахунок соломи, корневих та післяжнивних решток, т/га;

K_g – коефіцієнт гуміфікації органічних добрив, %;

W – вологість органічних добрив, %.

Нестачу основних видів органічних добрив (гною, компостів, соломи) поповнюють післяжнивними та післяукісними посівами сидератів, при можливості – за рахунок площ під багаторічні бобові трави, під впливом яких у перший рік використання в орному шарі ґрунту утворюється 1 т/га гумусу, що еквівалентно 20 т підстилкового гною.

Слід завжди пам'ятати, що надмірна кількість мінеральних добрив прискорює мінералізацію гумусу, тому при збільшенні норми вище оптимальної $N_{78}P_{68}K_{68}$ вміст гумусу зменшується. Найоптимальніше співвідношення органічних і мінеральних добрив у сівозміні 1 : 15-20, коли на 1 тону органіки вноситься 15 кг діючої речовини мінеральних добрив (Шикула М.К., 1998).

4.3.3. Застосування математичного моделювання для прогнозування динаміки органічного вуглецю (гумусу) в агрофітоценозах

Жоден з існуючих методів розрахунку балансу гумусу в сівозмінах не враховує того факту, що досягнутий рівень запасу гумусу у ґрунті визначає скільки засобів потрібно для забезпечення бездефіцитного балансу. Одних лише статей надходження та витрат гумусу недостатньо, потрібно знати на якому рівні запасу гумусу (чи вуглецю гумусу) треба зберегти рівновагу чи забезпечити навіть розширене відтворення органічної речовини ґрунту. Запаси гумусу в кореневмісному шарі ґрунту не завжди тісно корелюють з врожайністю, а значить і кількістю решток, котрі залишає після себе культура. Середньорічні втрати гумусу через мінералізацію залежать не лише від виду культури, як це враховується в методі Г.Я. Чесняка. Через те для прогнозування динаміки органічного вуглецю (гумусу) в агрофіто- і природних ценозах інколи вдаються до математичного моделювання системи «гумус ґрунту – рослинний покрив», застосовуючи лінійні та нелінійні моделі кругообігу вуглецю. Така система є саморегулюючою зі зворотним зв'язком. Д.С. Орлов (1930) звертає увагу на те, що такі зв'язки було сформовано у ході еволюції системи.

Одну з відносно простих (огрублених за термінологією авторів) моделей було запропоновано І.М. Рижовою (МДУ, 1992). У моделі І.М. Рижової враховується те, що не лише кількість рослинних решток впливає на рівень гумусонакопичення в ґрунті, а й загальна

продуктивність фітоценозу. Аналітичною структурою моделі є система двох диференціальних рівнянь:

$$dx_1/dt = k_{21}x_2 - k_1x_1 + c$$

$$dx_2/dt = k_0 \cdot P_0 k_1 / a + x_1 - k_3 x_2,$$

де x_1 – запас вуглецю гумусу у ґрунті;

x_2 – запас вуглецю у мортмасі;

P_0 – потенціальна продуктивність фітоценозу;

a – параметр, що чисельно дорівнює запасу вуглецю гумусу в ґрунті, за якого досягається $1/2 P_0$. Цей параметр, як зазначають автори, залежить від властивостей материнських порід.

k_0 – частка продукції фітоценозу, яка щорічно включається у деструкційний цикл;

k_1 – коефіцієнт мінералізації гумусу;

k_2 – коефіцієнт мінералізації мортмаси;

k_{21} – коефіцієнт гуміфікації рослинних решток;

c – сума швидкостей абіотичного надходження (А) та витрат (В) органічного вуглецю.

Позначивши $k_0 \cdot P_0$ через k , а суму $k_2 + k_{21}$ через k_3 , назвавши k_3 коефіцієнтом розкладу рослинних решток, а також виключаючи змінну x_2 автори зводять систему двох диференціальних рівнянь до одного рівняння другого порядку відносно x_1 :

$$d^2 x_1 / dt^2 = k \cdot k_{21} \cdot x_1 / a + x_1 - (k_1 + k_3) \cdot dx_1 / dt - k_3 k_1 x_1 + k_3 C$$

Для полегшення аналітичного дослідження даного рівняння, автори вводять потенціал $u(x_1)$:

$$u(x_1) = k_1 k_3 x_1^2 / 2 - k_3 C x_1 - \int_0^{x_1} (k_2 k x_1 / a + x_1) dx_1 =$$

$$k_1 k_3 x_1^2 / 2 - k_3 C x_1 - k_2 k [x_1 - a \ln(a + x_1) + a \ln a]$$

Стійкою точкою рівноваги системи буде точка локального мінімуму потенціалу $u(x_1)$. При $C=0$ (абіотичні потоки вуглецю незначні, як це найчастіше і буває), $u(x_1)$ набуває вигляду:

$$u(x_1) = k_1 k_3 x_1^2 / 2 - k_2 k [x_1 - a \ln(a + x_1) + a \ln a]$$

Мінімум потенціалу $u(x_1)$ може досягатися при стаціонарному значенні $x_1=0$. Такий випадок реалізується за умови, коли ефективний

параметр системи $q = k \cdot k_{21}/a - k_1 k_3 < 0$. Ефективний параметр q дорівнює другій похідній потенціалу в точці $x_1=0$, взятій зі знаком (-). Параметр q відповідає за перехід системи із сталого стаціонарного стану в інший.

При $q > 0$, стаціонарний стан системи $x_1=0$ нестійкий; в системі виникає новий стаціонарний стан:

$$x_1 = k \cdot k_{21}/k_1 k_3 - a,$$

котрий відповідає мінімуму потенціалу $u(x_1)$.

Умова $q = 0$ відповідає точці біфуркації системи. У цій точці від тривіального стаціонарного розв'язку, стійкого при $q < 0$, безперервно відгалуджується ненульовий розв'язок, стійкий при $q > 0$. Для $q < 0$, мінімум потенціалу відповідає умові $x_1=0$. При $q = 0$, настає нестійкість, після чого при $q > 0$ виникає мінімум з $x_1 > 0$. Із аналізу випливає, що при $q < 0$, гумусонакопичення у системі не відбувається. При $q = 0$, система перебуває у стані нестійкості. При $q > 0$, в системі починається гумусонакопичення. При цьому величина стаціонарного запасу гумусу буде зростати зі зростанням q .

Використовуючи ідеї І.М. Рижової, П.П. Надточій та Ф.В. Вольвач [26], розробили модель кругообігу діоксину вуглецю в системі «фітоценоз – гумусові речовини ґрунту». Математична структура цієї моделі описує балансовий тип кругообігу вуглецю в системі і складається з чотирьох диференціальних рівнянь:

$$dx_2/dt = k_{32}x_3 - k_2x_2 + C_g$$

$$dx_1/dt = P_0 K_0 \cdot x_2 / (A_2 + x_2) - (k_3 + k_{31} + k_{32})x_2$$

$$d(x_1 + x_2)/dt = (k_{31} + k_{32})x_2 - k_1 x_1 - k_2 x_2 + C_t$$

$$dx_3/dt = P_0 K_0 \cdot (x_1 + x_2) / (A_r + x_1 + x_2) - (k_3 + k_{31} + k_{32})x_3$$

де x_1, x_2, x_3 – відповідно вуглець гумусових речовин, детритної частини гумус і мортмаси ґрунту;

$x_2 = x_1 + x_2$ – вуглець гумусу;

k_1, k_2, k_3 – коефіцієнт мінералізації відповідно гумусових речовин, детритної частини гумус і мортмаси;

P_0 – продуктивність фотосинтезу;
 K_0 – частка органічної продукції, яка щороку включається в деструкційний цикл;
 C_q, C_t – сума швидкостей відповідно абіотичного надходження (А) і виносу (В) органічного вуглецю детритної частини гумусу і вуглецю гумусу;
 A_g, A_r – константи Міхаеліса – параметр, що дорівнював запасу вуглецю детритної частини гумусу і вуглецю гумусу ґрунту при якому досягається $\frac{1}{2} P_0$;
 k_{21} – коефіцієнт гуміфікації детритної частини гумусу в гумусові речовини;
 k_{31} – коефіцієнт гуміфікації мортмаси ;
 k_{32} – коефіцієнт гуміфікації мортмаси в детритну частину гумусу;
 $k_2 = k_{31} + k_{32}$ – загальний коефіцієнт гуміфікації мортмаси;
 $k_{pg} = k_2 + k_{21}$ – коефіцієнт розкладення (трансформації) детритної частини гумусу;
 $k_{pm} = k_3 + k_{31} + k_{32}$ – коефіцієнт розкладення (трансформації) мортмаси.

Використовуючи запропоновану модель, а також ввівши потенціал трансформації органічного вуглецю ($u(x)$) та ефективний параметр q , який чисельно дорівнює другій похідній потенціалу в точці $x=0$, взятій зі знаком мінус (q характеризує стійкість функціонування системи) автори встановили критерії стійкості за яких ґрунтово-екологічна система «фітоценоз-гумусові речовини», може функціонувати у режимі як стабілізації втрат гумусу, так і його накопичення. Таких критеріїв є вісім. Для ознайомлення з ними, відсилаємо до двох публікацій:

- Надточій П.П., Вольвач Ф.В. Модель круговорота углерода и критерии устойчивости системы фитоценоз-гумусовые вещества почвы // Доклады АН Украины, 1993, - №8.- с. 165-171.

- Надточій П.П., Гермашенко В.Г., Вольвач Ф.В. Екологія ґрунту та його забруднення. Аграрна наука. Київ. 1998.- с. 257-261.

Недоліком описаних моделей є їхня відірваність від практичних реалій агрогрунтознавства і відносна складність математичного апарату. Одним із авторів даної розробки було запропоновано математичну модель НАУ, наближену до практики та інформаційних можливостей сучасного українського агрогрунтознавства, особливо до нормативів Г.Я. Чесняка, О.М. Ликова, Ф.І. Левіна та інших, котрі широко використовуються у ряді методів розрахунку балансу гумусу (вуглецю гумусу) в сівозміні (М.К. Шикуча, Л.Р. Петренко, 2000; L. Petrenko, 2010). Наближена до неї модель була опублікована і перевірена на дослідних даних (А.Д. Балаєв, Л.Р. Петренко, 1999), але модель, що тут розглядається, більш досконала і універсальна; вона дає можливість її авторам вивести конкретні прогностичні рівняння і скласти алгоритм можливих комп'ютерних програм. Математична структура моделі описує балансовий тип кругообігу органічного вуглецю в системі «грунт-органічні рештки культур-органічні добрива в сівозміні (агрофітоценозі)» і є системою двох диференціальних рівнянь першого порядку:

$$dx/dt = k_{21}y - k_1x$$

$$dy/dt = \Pi - k_{21}y - k_2y,$$

де x – запас вуглецю гумусу в певному шарі ґрунту (т/га);

y – вміст у ґрунті органічного вуглецю не гумусової природи (органічних решток, органічних добрив, тощо), т/га;

Π – кількість органічного вуглецю не гумусової природи, котрий щорічно надходить у ґрунт з пожнивними рештками, органічними добривами, тощо, т/га;

k_{21} – коефіцієнт середньої щорічної гуміфікації органічного вуглецю не гумусової природи (решток, гною, тощо), в частках одиниці від загальної маси вуглецю;

k_1 – коефіцієнт щорічних середніх втрат вуглецю гумусу через мінералізацію, ерозію, тощо, в частках одиниці від його загального запасу в досліджуваному шарі ґрунту;

k_2 – коефіцієнт щорічної середньої мінералізації у ґрунті органічного вуглецю не гумусової природи, в частках одиниці від його загального вмісту;

$k_2 + k_{21} = k_3$, де k_3 – коефіцієнт середньої щорічної трансформації органічного вуглецю не гумусової природи (y), в частках одиниці від його загального вмісту;

t – час, років.

Розв'язуючи систему рівнянь, що складає математичну структуру моделі, відносно x , отримаємо неоднорідне диференціальне рівняння другого порядку зі сталими коефіцієнтами:

$$d^2x/dt^2 + (k_1+k_3) dx/dt + k_1k_3x = k_{21}\Pi$$

Загальний розв'язок такого рівняння дорівнює сумі одного з його частинних розв'язків та загального розв'язку відповідного йому однорідного диференціального рівняння.

Якщо уявити собі стаціонарний рівноважний стан системи при якому

$dx/dt = const$; $d^2x/dt^2 = 0$, то можна відшукати один із частинних розв'язків рівняння:

$$k_1k_3x = k_{21}\Pi$$

$$x = k_{21}\Pi / k_1k_3$$

Замінивши для зручності d^2x/dt^2 та dx/dt відповідно на x^{**} та x^* , напишемо однорідне диференціальне рівняння другого порядку:

$$x^{**} + (k_1+k_3) x^* + k_1k_3x = 0$$

Відповідне цьому рівнянню характеристичне квадратне рівняння має вигляд:

$$p^2 + (k_1+k_3) p + k_1k_3 = 0$$

Знайдемо корені характеристичного рівняння:

$$P_{1,2} = [-k_1 - k_3 \pm \sqrt{(k_1+k_3)^2 - 4k_1k_3}] / 2,$$

$$P_{1,2} = [-k_1 - k_3 \pm \sqrt{k_1^2 + 2k_1k_3 + k_3^2 - 4k_1k_3}] / 2,$$

$$P_{1,2} = [-k_1 - k_3 \pm \sqrt{(k_1 - k_3)^2}] / 2 = -k_1 - k_3 \pm (k_1 - k_3) / 2,$$

$$P_1 = -k_1 ; P_2 = -k_3$$

Загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння другого порядку має вигляд:

$$x = c_1 e^{-kt} + c_2 e^{-k_3 t};$$

Загальний розв'язок неоднорідного (вихідного) диференціального рівняння другого порядку має вигляд:

$$x_t = c_1 e^{-k_1 t} + c_2 e^{-k_3 t} + k_{21} \Pi / k_1 k_3$$

При $t = 0$; $x_0 = c_1 + c_2$

$$x_t = c_1 e^{-k_1 t} + (x_0 - c_1) e^{-k_3 t} + k_{21} \Pi / k_1 k_3$$

Далі математика нас не веде. А це значить, що для того, щоб відшукати конкретне значення константи c , тобто знайти частинний розв'язок вихідного диференціального рівняння, потрібно мати так звані граничні умови, тобто конкретні результати спостереження чи експерименту: наприклад при $t = n$; $x_t = x_n$, де n та x_n – цілком конкретні числові величини. Від того, якою мірою ці величини відповідають дійсності, залежатиме і якість робочого рівняння моделі. Вважатимемо x_0 (початок спостереження) та x_n відомими величинами і спробуємо через них виразити значення невідомої константи C_1 :

$$x_n = c_1 e^{-k_1 n} + (x_0 - c_1) e^{-k_3 n} + k_{21} \Pi / k_1 k_3$$

$$x_n = c_1 e^{-k_1 n} + x_0 e^{-k_3 n} - c_1 e^{-k_3 n} + k_{21} \Pi / k_1 k_3$$

$$x_n - x_0 e^{-k_3 n} - k_{21} \Pi / k_1 k_3 = C_1 (e^{-k_1 n} - e^{-k_3 n})$$

$$C_1 = (x_n - x_0 e^{-k_3 n} - k_{21} \Pi / k_1 k_3) / (e^{-k_1 n} - e^{-k_3 n})$$

$$x_t = [(x_n - x_0 e^{-k_3 n} - k_{21} \Pi / k_1 k_3) / (e^{-k_1 n} - e^{-k_3 n})] (e^{-k_1 t} - e^{-k_3 t}) + x_0 e^{-k_3 t} + k_{21} \Pi / k_1 k_3$$

Останнє рівняння і є частинним розв'язком вихідного неоднорідного диференціального рівняння. Воно описує систему, що моделюється, може служити робочим прогнозним рівнянням математичної моделі. Це рівняння можна спростити, якщо виключити ті його члени, що є для x (запас S гумусу) дуже малими величинами. Це експоненти $z - k_3 t$:

$$x_t = (x_n - k_{21} \Pi / k_1 k_3) e^{k_3(n-t)} + k_{21} \Pi / k_1 k_3$$

І хоча отримане рівняння описує модельовану систему менш точно, це не головний його недолік. Проблема застосування моделі на практиці виникає тоді, коли у користувача немає даних про запаси вуглецю гумусу в досліджуваному шарі ґрунту через відомий проміжок часу ($t = n$) після початку спостереження ($t = 0; x = x_0$), тобто немає x_n . Щоб отримати таке (безумовно зручне) прогнозне рівняння, скористаємось методом математичної індукції.

$$n = 0; x_n = x_0:$$

$$x_t = (x_0 - k_{21}\Pi/k_1k_3)e^{k_1t} + k_{21}\Pi/k_1k_3$$

Останнє рівняння, хоча воно приблизне і спрощене, матиме реальне практичне застосування. Успіх такого застосування залежатиме лише від достовірності, надійності спеціальних (агроґрунтознавчих, агрономічних) параметрів k_1, k_3, k_{21}, Π . Якщо відомим параметром є x_t , то отримане рівняння доцільно застосувати для визначення інших параметрів функціонування системи, зокрема:

$$k_{21} = [k_1k_3(x_t - x_0e^{-k_1t})]/\Pi(1 - e^{-k_1t}),$$

$$\Pi = [k_1k_3(x_t - x_0e^{-k_1t})]/k_{21}(1 - e^{-k_1t})$$

Для параметра k_1 – коефіцієнт щорічних втрат С гумусу з різних причин (мінералізація, ерозія, тощо) прогнозне рівняння перетворюється на трансцендентне, тобто не розв'язуване алгебраїчно. Треба скористатися методом послідовних наближень або, знаючи в яких межах може змінюватись значення k_1 , вдатися до послідовних підстановки імовірного значення k_1 та повторних розв'язувань прогнозного рівняння.

Щоб перевірити як діє приблизна прогнозна функція

$$x_t = (x_n - k_{21}\Pi/k_1k_3)e^{k_1(n-t)} + k_{21}\Pi/k_1k_3,$$

ми використали дані Михайлівського стаціонару (Заповідник «Михайлівська цілина», Лебединський район Сумської області), опубліковані Г.Я. Чесняком про зміну запасів гумусу в метровій товщі типового чорнозему у часі, що пройшов після розорювання цілини, для двох варіантів дослідної сівозміни: з багаторічними травами та без них (табл. 37). Дані Г.Я. Чесняка [29,39], свідчать про те, що дегуміфікація ґрунту не припиняється у жодній з дослідних сівозмін.

Таблиця 38

Перевірка математичної моделі даними польового стаціонарного дослідження на чорноземі типовому розораній Михайлівській цілини (шар ґрунту 0-100 см)

Час, що пройшов після розорювання цілини (t, років)	Запаси гумусу в шарі 0-100 см (дані Г.Я. Чесняка)	Запаси С гумусу, т/га		Відхилення розрахункових даних від дослідних	
		Дані Г.Я. Чесняка	Дані розраховані за робочими рівняннями математичної моделі	Абсолютне, т/га	Відносне, %

Сівозміна з багаторічними травами:

$$П=3,12 \text{ т/га}; k_2=0,2; k_1=0,004; n=37 \text{ років}; k_3=1$$

Робоча формула $x_t = 146e^{0,004(37-t)} + 156 \text{ (} t \neq 0 \text{)}$

0	548	318	318	0	0,00
37	521	302	302	0	0,00
52	430	284	293	+9	3,17
100	466	270	269	-1	0,37
					m%=0,88

Сівозміна без багаторічних трав:

$$П=2,52 \text{ т/га}; k_{21}=0,18; k_1=0,005; n=37 \text{ років}; k_3=1$$

Робоча формула $x_t = 209e^{0,005(37-t)} + 91 \text{ (} t \neq 0 \text{)}$

0	548	318	318	0	0,00
37	518	300	300	0	0,00
52	465	270	285	+15	5,55
100	423	248	244	-4	1,61
					m%=1,79

Перевіримо ефективність (достовірність) математичної моделі (табл.39) при використанні робочого прогнозного рівняння, що не потребує проміжних (у часі) експериментальних даних:

$$x_t = (x_n - k_{21}П/k_1k_3)^{e-kt} + k_{21}П/k_1k_3,$$

Таблиця 39

Перевірка математичної моделі з використанням прогнозного рівняння: $x_t = (x_n - k_{21}П/k_1k_3)^{e-kt} + k_{21}П/k_1k_3$, Михайлівська цілина ,шар ґрунту (0-100 см), параметри моделі ті ж , що і в попередній таблиці

Час, що пройшов після розорювання цілини (t, років)	Запаси гумусу в шарі 0-100 см (дані Г.Я. Чесняка)	Запаси С гумусу, т/га		Відхилення розрахункових даних від дослідних	
		Дані Г.Я. Чесняка	Дані розраховані за робочими рівняннями математичної моделі	Абсолютне, т/га	Відносне, %

Сівозміна з багаторічними травами:

$$x_t = 162e^{0,004t} + 156$$

0	548	318	318	0	0,00
37	521	302	296	-6	1,98
52	490	284	287	+3	1,06
100	466	270	265	-5	1,85

Сівозміна без багаторічних трав:

$$x_t = 227,3e^{0,005t} + 91$$

0	548	318	318	0	0,00
37	518	300	280	-20	6,67
52	465	270	266	-4	1,48
100	423	248	229	-19	7,66

Приблизне прогнозне рівняння, що не виключає проміжних у часі дослідних даних для сівозміни з багаторічними травами виявилось не менш ефективним, ніж рівняння, що такі дані містить. Для сівозміни без

багаторічних трав відхилення від експериментальних даних більші, але в один бік – бік зменшення прогнозних запасів С гумусу порівняно з дослідними. Навряд, щоб це була вина моделі. Швидше всього параметри, що вводяться в модель не достатньо вивірені. Як би там не було, дана математична модель з її прогнозними робочими рівняннями сама по собі в цілому досить ефективна. Можна запропонувати для практичного користування критерій спрямованості балансу вуглецю гумусу в ґрунтах природних чи агроценозів - λ :

$$\lambda = P/x - k_1 k_3 / k_{21}$$

Якщо $\lambda < 0$, то баланс гумусу в системі «ґрунт - рослинний покрив (органічні добрива)» буде від'ємним; $\lambda = 0$ є умовою бездефіцитного балансу гумусу в цій системі, а при $\lambda > 0$ є підстава сподіватися на додатній баланс. Для визначення величини параметра P потрібно знати кількість вуглецю, котра щорічно надходить у ґрунт з рослинними рештками та органічними добривами. Для дуже приблизних прогнозувань можна брати вміст С в сухих пожнивних рештках 40%, а сирій масі підстилкового гною 9%, як це у свій час запропонував О.М. Ликов. Для пошуку інших параметрів, як цієї, так і інших моделей доведеться скористатися численними нормативами Г.Я. Чесняка, викладених в науковій та навчально-методичній літературі. Світлої пам'яті Г.Я. Чесняк зробив у цій царині дуже багато. Наприклад, для пошуку параметра k_1 можна скористатися величинами середньорічної мінералізації гумусу під різними сільськогосподарськими культурами та у полі чорного пару. Коефіцієнти гуміфікації Г.Я. Чесняка ($K_{гум}$) можна перетворити на відповідні k_{21} за формулою:

$$k_{21} = 1,45 \cdot K_{гум},$$

котра виводиться з тих міркувань, що середній вміст С в рослинах складає 40%, а умовний вміст С в гумусі – 58%. Втрати гумусу через можливі втрати ґрунту внаслідок ерозії можна визначити, користуючись

нормативами В.Ф. Гахова та Г.О. Можейка, залежно від зони та крутості схилу. Ці втрати потрібно враховувати при встановленні параметра k_1 .

Для більшого наближення побудованої математичної моделі до практики агрогрунтознавства, землеробства та інших галузей агробіології і ще більшої зручності у користуванні нею, пропонуємо тут алгоритм її остаточного прогнозного рівняння, котрий можна включити у відповідну комп'ютерну програму:

$$Vt = 1.724([0.58Vo - (0,58K_{гум} \cdot M_{решт} + 0,027H_{гн})Vo] \cdot \exp(-K_{мінер}/Vo) + (0,58K_{гум} \cdot M_{решт} + 0,027H_{гн}) \cdot Vo/K_{мінер}),$$

де Vt – запас гумусу (т/га) у потрібному шарі ґрунту через t років прогнозування;

Vo – запас гумусу (т/га) у потрібному шарі ґрунту на початку періоду спостережень (прогнозувань);

$K_{гум}$ – коефіцієнт гуміфікації рослинних решток за Г.Я. Чесняком (середньорічний у сівозміні);

$M_{решт}$ – маса (сумарна) поверхневих і корневих решток вирощуваних культур (середньорічна у сівозміні), т/га;

$K_{гн}$ – норма підстилкового гною, що вноситься в середньому на 1 га площі сівозміни щороку, т;

$K_{мінер}$ – середньорічні втрати гумусу через мінералізацію, т/га – норматив Г.Я. Чесняка.

Саме забезпечення бездефіцитного балансу гумусу при сільськогосподарському використанні ґрунтів є важливою передумовою ефективного регулювання ґрунтовими режимами.

При втратах гумусу, які не компенсуються природним шляхом, його запаси поповнюються за рахунок усіх наявних органічних добрив і відходів рослинної продукції. При невиконанні цієї умови, змінюється набір культур у сівозміні в напрямку зменшення питомої ваги просапних культур і збільшення багаторічних трав. Цей принцип, на думку О.Г. Тараріко та М.Г. Лобаса (1998), дає можливість запобігати деградації ґрунтів і повинен розповсюджуватись на всіх рівнях систем землеробства при будь-якій формі землекористування – від окремого поля, сівозміни до

району, області і держави. Не може бути рентабельним і екологічно збалансованим виробництво, якщо деградують ґрунти. Так само не можна говорити і про будь-яке ефективне управління системою ґрунтових режимів за таких умов.

Гумус, або органічна речовина (soil organic matter, SOM) – інтегральний показник родючості ґрунту. Від його загального вмісту залежать запаси основних поживних речовин. Запаси гумусу визначають агрофізичні властивості ґрунту, в т.ч. його щільність, вологоємність, структурний стан, протиерозійну стійкість, ефективність засобів хімізації, тощо. За 100 років (1882 – 1981) вміст гумусу в ґрунтах України знизився на 0,92%, при цьому майже половину його (0,44%) втрачено за 1960-1970 рр, що співпадає з початком інтенсифікації землеробства. Баланс гумусу в землеробстві України залишається дефіцитним. Опубліковані дані про його втрати часто не узгоджуються між собою. О.Г. Тараріко та М.Г. Лобас (1998) вказують, що на 1995 рік в усіх зонах України спостерігався дефіцитний баланс гумусу (- 0,15 т/га в середньому по Україні). С.Ю. Булигін (1994) вказує, що щороку з української ріллі втрачається 24 млн. т гумусу, при середньорічних ерозійних втратах гумусу 15-18 т/га ріллі. За даними I-го туру ґрунтового моніторинга в Україні втрати гумусу в зоні Полісся складають лише 0,1 т/га в рік, в зоні Лісостепу вони сягають 0,8 т/га в рік.

Один з авторів даної розробки – Петренко Л.Р. пропонує прогнозне рівняння:

$$\% \text{ гумусу у верхньому шарі ріллі в Україні} = 4,17 \exp[-2,33 \cdot 10^{-5} (T-1882)^2],$$

де T – рік , на який треба зробити прогноз.

Наприклад, на 2013 рік:

$$\% \text{ гумусу} = 4,17 \exp[-2,33 \cdot 10^{-5} (2013-1882)^2] = 2,80\%.$$

Тобто за 131 рік вміст гумусу в ріллі зменшився з 4,17 до 2,80% - рівно на третину, втрачаючись в середньому щороку на 0,2-0,3 т/га лише в шарі 0-20 см (умовному орному шарі).

На дослідному полі ВСП НУБіП України АДС «Митниця» за 40 років – з 1968 по 2008 рік вміст гумусу в олучнілому (періодично напівгідроморфному) типовому чорноземі знизився в шарі 0-30 см (орний шар сівозміни з цукровим буряком) з 5,16 до 3,88%. При середній щільності складення ґрунту $1,20 \text{ г/см}^3$, втрати гумусу у цьому шарі за 40 років склали:

$$(5,16 - 3,88) \cdot 30 \cdot 1,20 = 46 \text{ т/га},$$

а середньорічний баланс гумусу мусив складати – 1,25 т/га, а це не що інше, як щорічна недостача майже 20 т/га підстилкового гною чи 5,5 т/га пшеничної соломи+N₅₅.

Переважаюча ґрунтова відміна дослідної ділянки в АДС «Митниця» - чорнозем типовий глибокий. Оглеєння спостерігається лише в горизонті материнської породи (лесу) на глибині 130-150 см. Але умови забезпечення ґрунту вологою значно кращі, ніж типового чорнозему з рівнем з рівнем ґрунтових вод понад 6м глибини. Обробіток такого ґрунту спричиняє і більші втрати гумусу з нього. Передбачити це неможливо, якщо вдаватися лише до методів розрахунку балансу гумусу в сівозміні, котрі, хоча і ґрунтуються на польових дослідках, все ж не позбавлені цілком штучного (бухгалтерського) підходу.

І все ж таки, до даного часу, визначення балансу гумусу і потреб в органічних та мінеральних добривах проводиться співставленням приходних і витратних частин. Баланс гумусу розраховується за різницею між сумарною середньозваженою величиною новоутвореного внаслідок гуміфікації рослинних решток гумусу та мінералізованого з урахуванням втрат через ерозію в межах її допустимої величини. Для цього використовується формула (О.Г. Тараріко, М.Г. Лобас, 1998):

$$B_g = [\sum_{i=1}^n (M_p \cdot K_g - G_m) \cdot S_i] / \sum_{i=1}^n S_i - \text{Пер},$$

де B_g – баланс гумусу, т/га в рік;

n – кількість культур в сівозміні;

M_p – маса рослинних решток кожної культури (i), розрахованих за рівняннями регресії або взяті з довідників;

K_g – коефіцієнт гуміфікації рослинних решток для кожної культури;

G_m – мінералізація гумусу (т/га) за довідковими даними;

S_i – площа кожної культури в сівозміні;

Пер – втрати гумусу від ерозії.

Після досягнення бездефіцитного балансу гумусу в сівозмінах можна ставити завдання підвищення його до оптимальних чи максимальних значень, характерних для відповідних аналогів нееродованих ґрунтів. З цією метою розраховують додаткову норму внесення органічних добрив чи збільшують площі посіву багаторічних трав. При розрахунку балансу гумусу використовують додаткові дані, які уточнюються відповідно до зональних рекомендацій.

Для того, щоб оцінити спрямованість та інтенсивність змін вмісту гумусу, необхідно знати його баланс, який визначають як різницю між прибутком і витратами гумусу в ґрунті за певний період часу, наприклад, за період ротації сівозміни. Звичайно, що в агроґрунтознавстві його розраховують для умов окремої сівозміни, але дуже важливо, щоб сівозміни відповідали еколого-технологічним групам земель, на яких вони розміщені. Ця обставина мусить спрямовувати подальшу діяльність спеціалістів на розробку та впровадження програмних комплексів (комп'ютерних моделей) для оцінки балансу гумусу, а точніше – усієї динаміки гумусного стану ґрунтів при тривалому (постійному) залуженні та залісненні, але для таких ґрунтів ще не розроблено нормативів, таких, як наприклад для чорноземних ґрунтів України (Г.Я. Чесняк) чи нечорноземної зони Росії (О.М. Ликов).

При застосуванні нормативів Г.Я. Чесняка користуються коефіцієнтами гуміфікації рослинних решток ($K_{гум}$) і гною (0,058) у ґрунті та коефіцієнтами мінералізації ($K_{мінер}$) гумусу під окремими культурами чи у полі чорного пару. Розрахунок кількості рослинних решток під окремими культурами проводять за рівняннями регресії. Множенням кількості рослинних решток кожної культур сівозміни на відповідний коефіцієнт гуміфікації знаходять загальну кількість новоутвореного гумусу з рослинних решток. Кількість новоутвореного гумусу за рахунок гною знаходять множенням його норми внесення на 0,058 (для дерново-підзолистих ґрунтів Полісся цей коефіцієнт складає 0,042). Втрати гумусу визначають на основі мінералізації його під окремими культурами. Враховують також втрати гумусу в процесі ерозії ґрунту. Програму для розрахунку балансу гумусу у сівозміні за методом Г.Я. Чесняка можна скласти на основі досить простого алгоритму, що передбачає використання таких довідкових і оперативних показників бази даних:

- Врож – врожайність культури сівозміни, ц/га;
- A, B, A_1, B_1 – коефіцієнти рівня регресії для визначення маси (ц/га) поверхневих і корневих пожнивних решток культури;
- $K_{гум}$ – коефіцієнт гуміфікації рослинних решток культури;
- $K_{гум. гн}$ – коефіцієнт гуміфікації підстилкового гною (0,058 для чорноземів Лісостепу за Г.Я. Чесняком);
- $N_{гн}$ – норма підстилкового гною (т/га), що вноситься під дану культуру сівозміни;
- $K_{мінер}$ – величина (т/га в рік) мінералізації гумусу під даною культурою сівозміни;
- ЕВГ – ерозійні втрати гумусу (середні щорічні за нормативами Гахова-Можейка), т/га, даний параметр стосується лише силових земель;
- n – кількість полів у сівозміні;
- $\%_{гум}$ – вміст гумусу в орному шарі ґрунту сівозміни, %;

З використанням цієї системи параметрів, алгоритм методу Г.Я. Чесняка набуває вигляду:

$$B, \text{ гум.т/га·рік} = 1/n \sum_{i=1}^n 0.1 (A \cdot \text{Врож} \pm B + A_1 \cdot \text{Врож} \pm B_1) \cdot K_{\text{гум}} + \\ K_{\text{гум. зн}} \cdot H_{\text{зн}} - K_{\text{мінер}} - 0,01 (\% \text{гум} \cdot EBG),$$

де B гум.т/га·рік – баланс гумусу на 1 га площі сівозміни в середньому за рік, т/га.

Методика розрахунку балансу гумусу в дерново-підзолистих ґрунтах поліських сівозмін набагато складніша за методику Г.Я. Чесняка. За основу в даному методі взято баланс азоту в системі «рослина – ґрунт - добрива». З балансу азоту переходять на баланс вуглецю (карбону) гумусу, кг С·га⁻¹, беручи до уваги співвідношення між карбоном і азотом у гумусі як 10:1. Дефіцит азоту в ґрунті для рослин та мікроорганізмів поповнюється за рахунок азоту гумусу ґрунту при його повільній мінералізації. Стаття надходження гумусового балансу складається з надходження органічних речовин з кореневими і поверхневими рештками польових культур, гноєм та іншими органічними добривами, насінням і садивним матеріалом та зв'язуванням вуглекислого газу атмосфери синьо-зеленими водоростями. Стаття витрат складається з мінералізації органічних речовин ґрунту в умовах прийнятої технології вирощування сільськогосподарських культур і виносу азоту з корененасиченого шару з вертикальним і поверхневим стоком. Ми тут не будемо зупинятися на деталях запропонованої методики, а побудуємо алгоритм програми для розрахунку балансу, виходячи з такої системи довідкових та оперативних показників:

- Врож – врожайність культури сівозміни, ц/га;
- А, В – параметри рівняння регресії для розрахунку сумарної маси органічних решток (ц/га) за врожаєм даної культури (ц/га);
- K_{21} – коефіцієнт гуміфікації карбону пожнивних решток культури;

- Нгн – норма гною (т/га), що вноситься під дану культуру сівозміни;
- Дн – доза азоту (кг/га) мінеральних добрив, що вноситься під дану культуру сівозміни;
- Винос N – винос азоту (кг/ц) основною та побічною продукцією даної культури сівозміни;
- Кмех – поправковий коефіцієнт на винос азоту з ґрунту, що враховує гранулометричний (механічний) склад (для важкого суглинку і глини – 0,8; середнього суглинку – 1,0; легкого суглинку – 1,2; супіщаного ґрунту – 1,4; піщаного – 1,8);
- Ккульт – поправковий коефіцієнт на винос азоту з ґрунту даною культурою, що враховує особливості культури (для багаторічних трав – 1,0; просапних культур – 1,8; зернових та інших однорічних культур суцільного висіву – 1,2);
- n – кількість полів у сівозміні.

З врахуванням вищезначеної системи параметрів, алгоритм методу О.М. Ликова набирає вигляд:

$$B, \text{ кгС/га}\cdot\text{рік} = 1/n \sum_{i=1}^n \{ [0.4 (A \cdot \text{Врож} \pm B) K_{21} + 0,027 N_{гн}] - [5(A \cdot \text{Врож} \pm B) + 0,0225 N_{гн} + 5 D_n - \text{Врож} \cdot \text{Винос N} \cdot K_{мех} \cdot K_{култ}] \},$$

де B кгС/га·рік – баланс карбону гумусу на 1 га площі сівозміни в середньому за рік, кг/га.

Користуючись балансовими розрахунками при аналізуванні гумусного стану ґрунту слід завжди пам'ятати, що головний недолік такого підходу – не врахування існуючого рівня цього стану, чи на якому рівні запасу гумусу у певному шарі ґрунту треба забезпечити бездефіцитний баланс. Щоб їх врахувати треба вдатися до моделювання системи. Найпростіші математичні моделі системи органічного вуглецю ґрунт у в агро- чи біоценозах розглянуто у даному підручнику.

Нормативно-довідкову і оперативну інформацію заносять на машинні носії і вносять у базу даних. Інформацію обробляють на комп'ютері і розраховують баланс гумусу і норми органічних добрив для

бездефіцитності цього балансу чи забезпечення певної його додатковості, наскільки це реально можливо.

Моделі управління екологічними процесами гумусоутворення

Сучасне землеробство з інтенсивним використанням мінеральних добрив, застосуванням різних способів обробітку ґрунту та інших агротехнічних заходів відіграє вирішальну роль у формуванні екологічного стану в ґрунтах, який обумовлює інтенсивність і направленість біохімічної діяльності мікрофлори. Суттєвим змінам піддається швидкість і направленість таких важливих для родючості і продуктивності ґрунту процесів як мікробіологічна трансформація свіжої органічної речовини в гумусоутворенні, трансформація органічних сполук та ін.. В останній час все частіше відзначається негативний характер таких змін.

Несприятливий розвиток мікробіологічних процесів посилює деградацію гумусу в ґрунті. В результаті продовжується втрата ґрунтами багатьох цінних властивостей, пов'язаних з певним рівнем гумусованості - водно-фізичних, фізико-хімічних. Знижується стійкість землеробства.

В той же час наукою і практикою нагромаджено багато даних про можливість направленою регулювання мікробіологічних процесів в ґрунті. Виникає гостра необхідність об'єднати ці дані, систематизувати їх для того, щоб керувати життєдіяльністю мікроорганізмів з метою підвищення родючості і продуктивності ґрунтів. Як це зробити, якщо взяти до уваги те, що об'єкт, в якому протікають мікробіологічні процеси – ґрунт, дуже складний? В ньому діють багато факторів, які мало охарактеризовані кількісно і відбуваються різні процеси, багато з яких мало вивчені.

Складність об'єкта управління (грунт, біологічні процеси в ньому) викликає необхідність системного підходу до побудови моделі управління, тобто до формалізованого опису процесів управління.

На думку Туєва М.А. (1989) системний підхід включає:

- виокремлення об'єкта управління і побудова його моделі;
- побудову моделі зовнішніх некерованих факторів;
- розробку моделей управляючих впливів;
- постановку задачі управління як оптимізуючої;
- розробку методів оптимізації технологічних рішень.

Враховуючи необхідність використання обчислювальної техніки, вищевказані етапи в подальшому необхідно доповнити наступними розробками;

- принципів автоматизованого способу управління;
- діалогових процедур спілкування користувача-непрограміста з ЕОМ;
- інформаційного і програмного забезпечення.

Необхідність в обчислювальній техніці обумовлена наступними причинами:

- потребою доведення рекомендацій до кожного конкретного поля;
- вирішенням задач розподілу ресурсів;
- необхідністю обліку все більшої кількості факторів для більш ефективного управління.

Таким чином, з однієї сторони, різко зростають обсяги циркулюючої в системі управління інформації, з іншої сторони – якісно змінюється і сама інформація; потрібні більш складні моделі процесів: схеми прийняття рішень включають все більшу кількість факторів: необхідно застосовувати все більш витончені методи оптимізації. Іншими словами, спеціаліст опиняється в надзвичайно важкій інформаційній обстановці при якій недоліки існуючої системи управління (неоперативність

отримання і обробки даних, неадекватність інформації умовам, що складаються та ін..) викликають великі втрати часу, які зростають по мірі інтенсифікації землеробства.

Дослідженнями багатьох вчених, як теоретиків так і практиків – біологів, ґрунтознавців, математиків, спеціалістів по моделюванню і управлінню – на сьогоднішній час створена велика кількість цінних теорій, методик, які охоплюють більшість сторін управління. Послідовне застосування цих матеріалів дає суттєвий ефект, який був би ще вищим, коли б вищезгадані матеріали були б легкодоступними для кожного і мали б таку форму, яка б дозволила оперативно оцінювати ситуацію і прогнозувати результати управління з метою вибору найкращого з них. Перспективним шляхом у цьому напрямі є використання інтегрованих автоматизованих систем управління (АСУ) , які дають можливість на основі залучення математичних методів і засобів обробітку інформації складати рекомендації спеціалістам, адекватні реальній ситуації, своєчасно і в необхідному об'ємі.

Модель процесів у кореневмісному шарі

Нереально і невірно по суті справи для всіх задач управління розробляти одну (універсальну) модель, яка б враховувала всі процеси і зв'язки . Така модель, побудована (при різному об'ємі знань про окремі сторони об'єкта) на вхідній інформації різної точності, була б практично неосяжною для експертів, а її створення розтяглося б на багато років. Але навіть якщо вона була б і створена, то через високий порядок рівняння і великої кількості коефіцієнтів більш менш детально дослідити можливу поведінку системи при різних поєднаннях факторів і управлінь було б практично неможливо. Тому синтезувати систему управління на шляху використання складних моделей є недоцільним.

Більше того, навіть якщо і вийде вирішити поставлену задачу, то система управління виявиться практично непрацездатною (неробочою); засоби вимірювань зазвичай не дозволяють отримувати необхідну інформацію про параметри об'єкта з необхідною точністю.

Кардинальним шляхом подолання вказаних труднощів є спрощення складних вихідних моделей: в результаті можна швидше отримати практично цінну систему управління.

Таким чином, кожному завданню управління відповідає своя «оптимальна» модель, яка відповідає необхідній точності вирішення задачі, якості прогнозу некерованих зовнішніх впливів та ін..

У зв'язку зі складністю об'єкта необхідно орієнтуватись на методи імітаційного моделювання, які дозволяють досліджувати більш складні моделі, ніж аналітичні методи.

Складність ґрунту як об'єкта управління, недостатня вивченість процесів, які в ньому протікають викликають необхідність включення і розгляду якомога більшого об'єму знань, незалежно від того, мають вони кількісний чи тільки якісний характер, а також незалежно від того до якої конкретної області агроґрунтознавства вони відносяться.

Якщо практично цінні динамічні моделі родючості відсутні, то при побудові моделей управління біологічними процесами в ґрунті на виробничих посівах необхідно орієнтуватись на використання параметрів стану ґрунту, які прийняті в агрохімслужбі та агрометеорології.

Вплив окремих агрохімічних показників, які мають безпосереднє агрономічне значення (кислотність, вміст гумусу, вміст рухомих форм елементів живлення), які традиційно включаються в моделі родючості, повинен бути доповнений обліком впливу параметрів, що визначають хід біохімічних процесів при інтенсивному господарюванні.

Біологічні аспекти моделювання.

Трансформація свіжої органічної речовини і процеси її гуміфікації в ґрунті відбуваються головним чином під впливом біохімічної діяльності мікроорганізмів. У зв'язку з цим в основу управління процесами гумусоутворення в ґрунтах повинно бути покладено формування таксономічної структури мікробних асоціацій і спрямоване регулювання їх функціональної діяльності. Узагальненою характеристикою рівня мікробіологічних і біохімічних процесів є біологічна активність ґрунту. Вона характеризується складним комплексом показників: кількісним і якісним складом мікроорганізмів, активністю ферментів ґрунту, інтенсивністю розкладу целюлози, виділенням із ґрунту CO_2 та ін.. Різноманітність процесів, їх складність та слабка вивченість, велика кількість методичних підходів до вивчення процесів і пов'язана з цим неспівставність отриманих даних ускладнюють їх використання для вирішення практичних завдань землеробства. Тому при розробці методики побудови моделі управління біологічними процесами М.А. Туєвим (1989) був введений показник – біологічний індекс ґрунту, призначений для узагальнення оцінки рівня інтенсивності біологічних процесів у ґрунті. Експериментальні дані свідчать про чітку залежність інтенсивності трансформації свіжої органічної речовини, процесів її гуміфікації і величини біологічного індексу ґрунту. Із зростанням останнього збільшується і інтенсивність трансформації свіжої органічної речовини. До певного рівня така закономірність простежується і для процесів гуміфікації. Подальший ріст величини біологічного індекса ґрунту супроводжується прискореною мінералізацією свіжої органічної речовини переважно до CO_2 і H_2O , а коефіцієнти гуміфікації суттєво зменшуються. Таким чином, з одного боку, при високому рівні біологічного індексу має місце нераціональне використання свіжої органічної речовини, так як

процеси її трансформації спрямовуються на шлях «біологічного згорання» , з другого боку, біологічний індекс ґрунту знаходиться в прямій залежності від наявності, надходження в ґрунт доступного мікроорганізмам енергетичного матеріалу. Внесення свіжої органічної речовини супроводжується зростанням біологічного індексу ґрунту, посиленням виділення CO_2 з його поверхні. По мірі мінералізації внесеного органічного матеріалу і виникнення його дефіциту в ґрунті мікроорганізми перемикаються на розклад гумусу. На перших стадіях мінералізації піддається лабільна частина гумусових речовин, які добре доступні мікроорганізмам. При цьому величина біологічного індексу ґрунту продовжує залишатись на високому рівні. Вона помітно зменшується при тривалій відсутності свіжої органічної речовини і зникненні лабільного гумусу в ґрунті та досягає мінімального значення коли розкладу піддається стабільний гумус. Мінералізація останнього викликає втрату ґрунтами цінних агрономічних властивостей.

Для управління трансформацією органічної речовини в ґрунті будують модель процесу і модель біологічної активності ґрунту.

Модель трансформації органічної речовини в ґрунті. Попередньо необхідно зазначити, що про процеси трансформації органічної речовини в ґрунті, його гуміфікацію можна судити по зміні вмісту вуглецю. З одного боку, це найбільш повно відповідає сучасним уявленням про механізм трансформації органічної речовини, з другого – не протирічить також розрахункам балансу гумусу по азоту, так як трансформація сполук вуглецю знаходиться в прямому тісному кореляційному зв'язку з трансформацією органічного азоту.

Необхідно виділити три групи органічних сполук в ґрунті: стабільний гумус (G), лабільний гумусу (L) і свіжу органічну речовину (S). Маючи на

увазі процеси мінералізації і гуміфікації органічної речовини в ґрунті, динаміку вуглецю у вказаних групах можна описати у вигляді системи трьох рівнянь:

$$\frac{dG}{dt} = -n_1 \cdot G + y_1 \cdot L + y_2 \cdot S;$$

$$\frac{dL}{dt} = -n_2 \cdot L - y_1 \cdot L + n_3 \cdot S;$$

$$\frac{dS}{dt} = -n_4 \cdot S - n_3 \cdot S - y_2 \cdot S;$$

де n_1 - n_4 – коефіцієнти мінералізації;

y_1 - y_4 - коефіцієнти гуміфікації.

Розв'язок цієї системи і дає динаміку вмісту органічних речовин в ґрунті.

При традиційних методах управління режимом органічної речовини в ґрунті і методах балансових розрахунків умовно прийняті постійні коефіцієнти гуміфікації поверхневих і корневих решток для груп культур (бобові, небобові) і органічних добрив. Завдання управління біологічними процесами спрямовані на регулювання цих коефіцієнтів. В результаті зростає ефективність рішень щодо управління режимом органічної речовини в ґрунті для підвищення його родючості і забезпечення заданого рівня продуктивності.

Для комплексної оцінки рівня активності біологічних процесів у ґрунті, як вже відзначалось, за методикою Туєва М.А. вводиться узагальнений показник – індекс біологічної активності (*Ба*), який характеризує ступінь сприятливості умов у кореневмісному шарі ґрунту для мікробіологічної діяльності. Зручно пов'язати величину *Ба* з основними комплексами впливаючих факторів середовища – агрохімічних, агрофізичних, агрометеорологічних та агротехнічних:

$$Ba = Ba(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Залежність від впливаючих факторів повинна задовольняти наступні вимоги:

- параметри впливаючих факторів не повинні дорівнювати нулю
 $(x_1, x_2, \dots, x_n) \neq 0$

- не повинні бути з від'ємним знаком

$$(x_1, x_2, \dots, x_n) > 0$$

- параметри, які описують стан об'єкта повинні бути пов'язані із впливаючими факторами (тобто при проведенні управління змінюється хоча б один параметр об'єкта).

Перераховані вимоги задовольняє наступна модель біологічної активності:

$$Ba = \prod_{i=1}^N f_i(x_i),$$

де $\prod_{i=1}^N$ - загальна кількість врахованих узагальнених комплексних показників.

В якості останніх доцільно вибрати:

x_1 - комплекс факторів які визначають родючість ґрунту. Їх узагальненою характеристикою є бонітет, який розраховується за прийнятою в даних умовах методикою наступним чином:

$$f_i(x_1) = f_1(B),$$

де B - бонітет;

x_2 - агрометеорологічний комплекс факторів, найважливішими з яких є показники, що характеризують тепло- і вологозабезпеченість поля, зокрема, в першому випадку можна використовувати суму температур вищу певної межі (наприклад, 10°C);

x_3 - вологозабезпеченість. При її оцінці необхідно враховувати можливість регулювання водного режиму (зрошення, осушення);

x_4 - комплекс агрофізичних факторів, насамперед щільність ґрунту із врахуванням можливості регулювання щільності;

x_5 - комплекс факторів, які характеризують нагромадження свіжої органічної речовини, включаючи якісні показники;

x_6 - комплекс факторів, які характеризують внесення мінеральних добрив;

x_7 - комплекс факторів, пов'язаних зі способами основного обробітку ґрунту. Тут необхідно використовувати «узагальнені» показники

управління, які дозволяють оцінити технологічні процеси по їх сукупній дії на ґрунт і процеси в ньому. Це дозволить запобігти непотрібній на цьому етапі задачі деталізації агротехнологій.

Конкретний вигляд і параметри функцій впливу f , кількість і набір факторів x_i повинні бути визначені для різних ґрунтово-кліматичних умов країни, враховуючи місцеві умови і використовуючи експериментальні дані отримані у виробничих умовах.

Запропонована модель має універсальний характер з точки зору кроку моделювання, проте значення параметрів моделі, звісно, пов'язані з величиною цього кроку.

Модель зовнішніх умов

У зв'язку із суттєвим впливом погодних умов на біологічну активність ґрунту управлінські рішення необхідно приймати враховуючи насамперед температуру і опади. Тому повинні бути визначені, зокрема, наступні значення: середні багаторічні, екстремальні (максимальні і мінімальні), типові (по тим чи іншим критеріям), а для розрахунків по статистичним критеріям – щільність чи функції розподілу.

Для врахування неоднорідності ґрунтового вкриття необхідно мати параметри неоднорідності.

Завдання управління

На основі використання запропонованих моделей можуть бути поставлені і вирішені наступні завдання управління в тривалому часі (зокрема, за ротацію сівозміни) :

- $G_n \geq G_1$ – позитивний баланс гумусу через n років;
- $G_{i+1} \geq G_i$ - щорічний позитивний баланс гумусу (за i років);
- $G_n^{\Delta} \geq G_1 + \Delta$ - досягнення заданої прибавки Δ рівня гумусу.

В рамках даного завдання можуть бути вирішені часткові питання управління, наприклад, вапнування кислих ґрунтів, внесення повільно діючих мінеральних добрив та ін..

Надалі може бути поставлене і вирішене завдання оптимізації управління по економічному критерію.

Можна розглянути ряд варіантів завдання вапнування, наприклад, поза сівозміною та в її межах, без обмеження і при їх наявності на сумарну кількість вапна в багаторічному розрізі, по критерію одержання максимального врожаю (і відповідного рівня біологічної активності ґрунту) чи по економічному критерію і т.д. Зупинимось на найпростішому завданні (не враховуючи динаміки змін кислотності та чергування культур в сівозміні): розрахувати дозу вапна, яка забезпечує одержання максимально можливого (при фіксованих решті факторів) врожаю. Наведемо алгоритм вирішення завдання:

1. Будується регресивна модель залежності бонітету B поля від впливаючих факторів x_i . Зазвичай така модель є поліномом другого ступеня з попарними взаємодіями:

$$B = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j \quad i \geq j$$

2. Для виразу $dB/dx_i = 0$ визначають значення кислотності (x_i), рівне x_i^p , яке забезпечує максимум бонітету.

3. Із виразу $\Delta x_i = x_i^p - x^b$ розраховують необхідну зміну кислотності Δx_i

4. Визначають дозу вапна, яка забезпечує Δx_i :

$$D = f(\Delta x_i)$$

При необхідності врахування динаміки підкислення можна використати ту чи іншу модель підкислення $x_i(t) = f(x_i, a, t)$ (a – параметри, що залежать від властивостей ґрунту і культури) і вирішувати завдання оптимізації в тривалому стаціонарному досліді.

Масштаби накопичення гумусу визначає коефіцієнт гуміфікації, величина якого залежить від багатьох факторів, що впливають на інтенсивність процесів трансформації органічних решток: кількості і якості органічного матеріалу, часу, дози і характеру його локалізації в орному

шарі, режиму вологості, температури і аерації, рівня гумусованості та біологічної активності ґрунту, доз і форм мінеральних добрив та ін. (Андрєєва, 1970; Ликов, 1984).

Кількість кореневих і пожнивних решток, які поступають в ґрунт, залежить від багатьох факторів і в першу чергу від біології культури, ґрунтово- кліматичних умов, рівня урожайності та агротехніки (Роскошанський, 1976; Александрова, 1980).

С.Н.Воробйов (1982) приводить ряд культур в порядку зменшення кількості органічної речовини, яка лишається в ґрунті: багаторічні бобові трави, озимі зернові культури, кукурудза, ярові зернові та зернобобові, льон, картопля та коренеплоди.

Велика роль в регулюванні кількості рослинних решток належить добривам. За даними М.Н.Думитрашку (1969), внесення 20 т/га гною в середньому за сівозміну сприяє формуванню додатково 2,6 ц/га поживно-корневих решток, внесення 60 т/га - 6,0 ц/га.

Рослинні рештки, які мають вузьке співвідношення С:N, слабо збагачені ароматичними сполуками і містять значну кількість вуглеводів, переважно мінералізуються до простих сполук. Навпаки, рослинні рештки, з широким співвідношенням С:N, збагачені лігніном та іншими ароматичними сполуками, більше трансформуються в гумусові речовини ґрунту. Так, коефіцієнт гуміфікації рослинних решток цукрових буряків рівний 0,10, картоплі - 0,13, озимої пшениці та кукурудзи - 0,20, ячменю - 0,22, люцерни - 0,23 (Чесняк, 1986).

На посилення процесів гуміфікації рослинних решток в умовах деякої загальмованості їх розкладу вказують І.С.Кауричев (1980), Т.В.Арістовська (1980). Уповільнення процесів розкладу рослинних решток, яке може бути викликане як їх хімічним складом, так і

надлишковим зволоженням, призводить до збільшення коефіцієнтів гуміфікації (Берестецький, 1983; Туєв, 1989). Проте в анаеробних умовах збільшення коефіцієнтів гуміфікації відбувалось за рахунок менш цінних фракцій гумусу - фульворечовин (Люжин, 1968; Sinha, 1972).

При підсиханні ґрунтів темпи мікробіологічного розкладу та гуміфікації органічних решток поступово зменшуються. Оптимальна вологість сприяє не тільки інтенсивному розвитку процесів гуміфікації, але й одночасно посилює мінералізацію новоутворених гумусових сполук. В зв'язку з цим періодична зміна умов зволоження і деякого підсихання ґрунтів, яке гальмує мінералізаційні процеси, сприяє закріпленню гумусу мінеральною частиною ґрунту (Кононова, 1963; Самойлова, Яковченко, 1988).

На фоні мінімального обробітку ґрунту різко зростає кількість мікроорганізмів, що обумовлено як збільшенням маси органічних решток у верхніх шарах, так і підвищеною тут насиченістю ґрунту коренями. Плоскорізний обробіток ґрунту із збереженням стерні на поверхні обумовлює збільшення чисельності грибів, целюлозоруйнуючих бактерій, а також мікроорганізмів, які беруть участь у початковій мінералізації рослинних решток (Кашинська, 1982).

Не менш важлива роль в направленій трансформації органічної речовини верхніх шарів ґрунту належить дощовим черв'якам, загальна біомаса яких сягає 85-90 % біомаси ґрунтової фауни (Царик, 1985). Встановлено, (Шикула, Назаренко, Ломакин, 1977; Barnes, Ellis, 1979; Bucher, 1982), що при обробітку без обертання скиби в ґрунті різко зростає кількість дощових черв'яків, які сприяють гуміфікації рослинних решток і скорочують час їх трансформації.

Великий вплив на процеси гуміфікації рослинних решток мають органічні та мінеральні добрива. Їх застосування сприяло збільшенню коефіцієнтів гуміфікації на 14-15 % порівняно з неудобреним ґрунтом. У чорноземах інтенсивність гумусоутворення значно зростає (на 36 %) при внесенні органічних добрив і особливо (на 47 %) при їх сукупному застосуванні з мінеральними (Туєв, 1989).

Суттєву роль в регулюванні процесів гуміфікації відіграють форми азотних добрив. Результати досліджень, виконаних у ВНДІСГМ (Туєв, Черняєва, 1982), виявили чітку залежність ступеня гуміфікації рослинних решток ячменю та люпину, мічених ^{14}C , від форм азотних добрив. Найвищі значення коефіцієнтів гуміфікації відзначені для повільно діючих добрив, синтезованих на основі сечовини.

Як відзначають В. Novak (1970), R.A. Khalil (1989), позитивний вплив на процеси гуміфікації мають і фосфорні добрива, особливо в сукупності з азотними.

Велике значення для гумусоутворення має ступінь збагачення ґрунтів кальцієм. В оптимальні за гідротермальним режимом роки приріст коефіцієнтів гуміфікації від вапнування ґрунтів досягає 30–45 %. Причому гумусоутворення в присутності вапна зміщується в сторону переважно синтезу гумінових кислот, зв'язаних з кальцієм (Туєв, 1989).

Одним з найбільш важливих агротехнічних прийомів, які впливають на гумусоутворення, є обробіток ґрунту. Н.А. Туєв (1989) відзначає, що плоскорізний та поверхневий обробіток чорнозему глибокого малогумусного сприяв збільшенню коефіцієнтів гуміфікації відповідно на 9-14 % у порівнянні з оранкою. Аналогічну закономірність виявив J. Yuerif (1982). Розрахунковий коефіцієнт гуміфікації органічної

речовини у випадку поверхневого обробітку становив 0,20, нульового - 0,32, тоді як при оранці - 0,13.

За даними Л.Р.Петренко (1983), заробка органічних добрив та поживних решток у верхній 10 см шар чорнозему типового посилювала процес гуміфікації, що виражається у збільшенні коефіцієнта нагромадження гумусу в шарі 0-5 см на 51, 5-15 см - на 24, 15-20 см - на 16 та в шарі 25- 40 см - 10 % порівняно з оранкою.

О.М. Ликов (1985) вказує, що зменшення вмісту гумусу в ґрунтах обумовлено інтенсивним характером використання ґрунту і явно недостатнім надхоженням в нього свіжої органічної речовини. Тому на орних землях з відчуженням більшої частини біологічного урожаю польових культур основним і постійним джерелом органічної речовини є надземні і кореневі рештки рослин та органічні добрива.

В 1886 році П.О.Костичев вказував, що гній, заораний на глибину 18- 22 см, розкладається дуже повільно, навпаки, на поверхні ґрунту він розкладається порівняно швидко і при цьому зростає його ефективність.

Дослідження, проведені І.Є.Щербаком (1979) в посушливих умовах Миколаївської області на чорноземах південних, свідчать, що ґрунт, перемішаний з органічними добривами на глибину до 12 см більш стійкий до вітрової ерозії, а ефективність гною не нижча, ніж при його глибокій заробці в ґрунт.

Ряд дослідників (Джекс, 1958; Ломакін, 1986; Тараріко, 1989) підтверджують, що розташування гною на поверхні ґрунту або у верхній половині орного шару ефективніше діє на гумусоутворення, ніж його заорювання.

В літературних джерелах зустрічаються поодинокі дані про зменшення коефіцієнтів гуміфікації при систематичному обробітку ґрунту плоскорізом порівняно з оранкою (Вітер, Новочихін, 1984; Нікіфоренко, 1985).

Родючість ґрунту в значній мірі визначається динамічною рівновагою між процесами гуміфікації і мінералізації. При цілинному ґрунтоутворенні гуміфікація переважає над мінералізацією і відбувається поступове нагромадження органічної речовини в ґрунті, рівень якої при певних умовах стабілізується (Тюрін, 1987; Александрова, 1980, Лактіонов, 1980, Туєв, 1989).

З початком сільськогосподарського використання ґрунтів динамічна рівновага (гуміфікація↔мінералізація) зсувається в сторону посилення мінералізації. Основними причинами даного явища є: різке зменшення надходження в ґрунт рослинних решток, зміна їх якісного складу, посилення мікробіологічної діяльності та перемішування орного шару з менш гумусованими нижніми горизонтами. Крім того, при нестачі органічної речовини в ґрунті, гетеротрофна мікрофлора для своєї життєдіяльності, як джерело енергії починає використовувати гумус (Чесняк та співавт., 1983; Орлов та співавт., 1985).

Рациональна система обробітку ґрунту (Комісаров, 1978) поряд із забезпеченням оптимальних водно-повітряних умов для росту рослин і боротьби з бур'янами, повинна бути спрямована на створення умов, які сприяють гуміфікації рослинних решток, не допускаючи їх повної мінералізації. На думку О.Л.Шенявського (1965), інтенсивний механічний обробіток обумовлює розвиток надмірних стихійних процесів розкладу органічної речовини ґрунту і є найнерациональнішим заходом активізації і мобілізації запасів природної родючості.

Дослідження кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів НАУ свідчать, що під впливом систематичного обертання скиби, внесення високих доз мінеральних добрив та інтенсивного застосування пестицидів ґрунти втратили можливість саморегуляції родючості. Навпаки, відмова від обертання скиби та активної хімізації оновлює ґрунт, наближає процеси гумусоутворення до характерних для цілинних ґрунтів. За таких умов значно зростають коефіцієнти гуміфікації і потенційна родючість ґрунту.

За даними наших досліджень, коефіцієнт гуміфікації рослинних решток в першу чергу залежав від їх якісного складу (табл. 40) . Найбільший гумусо-нагромаджувальний ефект мали рослинні рештки люцерни: коефіцієнт гуміфікації (K_r) в умовах Новоодеської держсортодільниці становив 20,1- 23,9, в умовах дослідів в КСП “Україна” - 17,9-20,6 %. Вихід гумусових речовин із соломи озимої пшениці був дещо меншим: K_r становив відповідно та 16,1-20,3 %.

Аналогічні дані отримано в досліді К.Григорьонкової (1980), де під впливом рослинних решток вівса вміст гумусу в 0-30 см шарі ґрунту зріс на 0,11, а після віко-вівсяної сумішки - на 0,22 %.

Наведені дані свідчать, що безполицевий обробіток ґрунту створює більш сприятливі умови для утворення гумусових речовин, порівняно з оранкою. Його застосування сприяло значному збільшенню коефіцієнтів гуміфікації рослинних решток порівняно з оранкою, особливо в шарі 10-20 см, де різниця сягає 2,0-2,3 абсолютних процентів.

**Коефіцієнти гуміфікації рослинних решток залежно від системи
обробітку ґрунту, %**

Стационар, ґрунт, трива- лість фону	Обробіток	Солома озимої пшениці			Люцерна		
		Глибина, см					
	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	
Новоодеська держ- сортодільниця Миколаївська обл., чорнозем південний, 27-річний фон	Оранка	17,4	18,1	18,7	20,1	21,9	21,3
	Безполицевий різноглибинний	19,1	20,4	18,9	21,7	23,9	21,0
	± безполицевий до оранки	+1,7	+2,3	+0,2	+1,6	+2,0	-0,3
КСП “Україна”, Полтавська обл., 6-річний фон	Оранка	16,1	17,6	17,7	17,9	18,3	18,9
	Безполицевий різноглибинний	17,0	19,3	17,9	19,3	20,6	19,4
	+ безполицевий до оранки	+0,9	+1,7	+0,2	+1,4	+2,3	+0,5

В стаціонарному досліді на полях КСП “Україна” (Полтавська область) величини коефіцієнтів гуміфікації рослинних решток були дещо меншими порівняно з Новоодеською держсортодільницею. Це явище можна пояснити більш сприятливими для гуміфікації умовами останнього об’єкту: висока плюсова температура, більша тривалість теплого періоду, більша частота зміни періодів зволоження та пересихання ґрунту, що позитивно впливає на закріплення новоутвореного гумусу. Крім того, чорноземи типові (Полтавська область) мають більший вміст гумусу порівняно з чорноземом південним (Миколаївська область). На думку Л.Н.Александрової (1970), більш гумусовані ґрунти здатні менше закріпляти новоутворених гумусових речовин, що пов’язано із

зменшенням у них вільної від гумусових речовин поверхні мінеральної частини ґрунту.

Коефіцієнти гуміфікації люцерни на фоні безполицевого обробітку коливались у межах 19,3-20,6, соломи - 17,0-19,3 %. На фоні оранки їх значення були меншими і становили відповідно 17,9-18,9 та 16,1-17,7 %.

Результати досліджень, проведених на полях КСП “Дніпро” (Київська область), свідчать, що коефіцієнти гуміфікації озимої пшениці і гною були приблизно однаковими та меншими, ніж K_r решток люцерни (табл. 41).

Внесення 12 т гною + $N_{127}P_{115}K_{125}$ на 1 га сівозміни сприяло збільшенню коефіцієнтів гуміфікації органічного матеріалу порівняно з неудобреним фоном за винятком верхнього 10 см шару (табл. 42).

В цілому застосування безполицевого обробітку в умовах даного стаціонару сприяло збільшенню коефіцієнтів гуміфікації соломи, люцерни та гною порівняно з оранкою, особливо в шарі 10-20 см, де різниця становила відповідно 1,6; 2,2 та 1,8 %.

Трансформація рослинних решток, як вказують Л.Ю.Варниченко та Є.Н.Мишустін (1980), залежить насамперед від співвідношення C:N в органічному матеріалі. Якщо $C:N < 20$, переважають процеси мінералізації, а при внесенні в ґрунт речовин з більш низьким вмістом азоту ($C:N > 30$), наприклад соломи зернових, різко зростає швидкість процесів іммобілізації. Одним з найбільш ефективних шляхів прискореного розкладу рослинних решток з широким співвідношенням C:N вважається додаткове (компенсуюче) внесення азотних добрив на рівні 1 % маси рослинних решток.

**Коефіцієнти гуміфікації рослинних решток і гною
на 8-річних удобрених фонах обробітку чорнозему типового, %
Стационарний дослід в КСП “Дніпро” Кагарлицького району
Київської області**

Обробіток ґрунту	Шар ґрунту, см		
	0-10	10-20	20-30
солома			
Оранка	16,1	18,0	18,2
Безполицевий різноглибинний	16,6	19,8	18,4
± до оранки	+0,5	+ 1,8	+0,2
люцерна			
Оранка	17,8	19,9	19,6
Безполицевий різноглибинний	19,0	22,0	20,6
± до оранки	+ 1,2	+2,1	+1,0
гній			
Оранка	15,8	18,2	17,8
Безполицевий різноглибинний	16,2	20,0	18,2
+ до оранки	+0,4	+1,8	+0,4

В 1988-1990 рр. кафедрою ґрунтознавства та охорони ґрунтів НАУ були проведені польові дослідження по вивченню впливу компенсації азотної недостатності на гуміфікацію соломи озимої пшениці. Результати досліджень свідчать, що додаткове внесення азотних добрив з розрахунку 10 кг д.р. на 1 т соломи сприяє збільшенню коефіцієнтів гуміфікації (табл. 43).

В цілому додаткове внесення азоту в шар 0-10 см на фоні безполицевого обробітку ґрунту сприяє більшому зростанню величин коефіцієнтів гуміфікації соломи - на 0,5-0,6 % порівняно з оранкою, яка має деяку перевагу в нижніх шарах орного горизонту.

Дослідний матеріал дозволяє зробити висновок, що у варіантах з соломою і гноєм більшу частину новоутворених гумусових речовин становить група гумінових речовин, а у варіанті із люцерною - група фульворечовин. Особливо чітко це проявилось в умовах Новоодеської держсортодільниці (табл. 44).

При гуміфікації соломи на фоні оранки утворилось 14,3 % гумінових речовин та 9,2 % фульворечовин. На фоні безполицевого обробітку утворюється більше гумінових речовин - 15,8 % та менше фульворечовин - 7,0 % порівняно з оранкою.

Розклад люцерни відбувається переважно з утворенням фульворечовин, На фоні оранки їх виявлено 11,8, при безполицевому обробітку - 8,8%. Гумінових речовин у цьому варіанті утворюється дещо менше - 6,6-6,7 %.

Внесення гною в найбільшій мірі сприяло збагаченню ґрунту гуміновими речовинами. На фоні оранки їх виявлено 18,5, при безполицевому обробітку - 24,3 (КСП “Дніпро”, Київська обл.). Вміст гумінових речовин у цьому варіанті вищий порівняно з соломою, де їх виявлено на фоні оранки 15,2%, на фоні безполицевого обробітку - 16,9%. Це явище, на думку Л.Н.Александрової, пов’язане з тим, що гній містить значну кількість так званих “готових” гумусових речовин, які утворюються в ньому ще до внесення в ґрунт.

**Коефіцієнти гуміфікації рослинних решток та гною на
10-річних удобрених фонах обробітку чорнозему типового, %
Стационарний дослід в КСП “Дніпро” Кагарлицького району
Київської області**

Обробіток грунту	Система удобрення, на 1 га сівозміни	Шар ґрунту, см		
		0-10	10-20	20-30
Солома озимої пшениці				
Оранка	Контроль	16,4	17,2	17,2
	12 т гною + N ₁₂₇ P ₁₁₅ K ₁₂₅	16,0	18,0	18,2
Безполицевий різноглибинний	Контроль	16,8	18,8	17,4
	12 т гною + N ₁₂₇ P ₁₁₅ K ₁₂₅	16,6	19,6	18,4
± безполицевий до оранки	Контроль	+0,4	+1,6	+0,2
	12 т гною + N ₁₂₇ P ₁₁₅ K ₁₂₅	+0,6	+1,6	+0,2
Люцерна				
Оранка	Контроль	18,4	19,2	19,0
	12 т гною + N ₁₂₇ P ₁₁₅ K ₁₂₅	17,3	19,8	19,6
Безполицевий різноглибинний	Контроль	19,4	21,0	19,0
	12 т гною + N ₁₂₇ P ₁₁₅ K ₁₂₅	19,0	22,0	21,6
+ безполицевий до оранки	Контроль	+1,0	+ 1,8	-
	12 т гною + N ₁₂₇ P ₁₁₅ K ₁₂₅	+1,2	+2,2	+2,0
Гній				
Оранка	Контроль	16,2	17,2	17,0
	12 т гною + N ₁₂₇ P ₁₁₅ K ₁₂₅	15,8	18,2	17,8
Безполицевий різноглибинний	Контроль	16,6	19,0	17,4
	12 т гною + N ₁₂₇ P ₁₁₅ K ₁₂₅	16,2	20,0	18,2
+ безполицевий до оранки	Контроль	+0,4	+ 1,8	+0,4
	12 т гною + N ₁₂₇ P ₁₁₅ K ₁₂₅	+0,4	+ 1,8	+0,4

Результати досліджень динаміки процесу гуміфікації рослинних решток та гною (табл. 45) показують, що за перших три місяці спостережень (липень-жовтень 1988 р.) гуміфікувалась значна частина внесеного в ґрунт органічного матеріалу. Найбільший приріст гумусових речовин за цей період був виявлений у варіанті з люцерною - 44 %. Гуміфікація соломи та гною викликала приблизно однакове збільшення вмісту гумусу в ґрунті - відповідно 32 та 31 %. Ці результати співставні із численними дослідженнями, згідно з якими швидкість розкладу та гуміфікації органічного субстрату в першу чергу залежить від вмісту азоту - співвідношення C:N (Пономарьова, 1964; Родин, Базилевич, 1965).

Найшвидше розкладаються в ґрунті збагачені білками та вуглеводами рештки бобових культур. В дослідженнях Ф.І.Левіна (1986) встановлено, що за 7,5 місяців (осінньо-зимово-весняний період) розклалося 22-21 % решток гороху та картоплі. Дослідження, проведені Б.П.Боїнчаном (1981) з використанням міченої ^{14}C соломи, показали, що максимальна величина включення продуктів розкладу в гумусові речовини ґрунту була досягнута за період осінньо-весняного розкладу і становила 15-16 %.

В дослідженнях Serensen (1962) по вивченню швидкості розкладу соломи ячменю, міченої ^{14}C , встановлено, що основна частина органічних решток розкладається на протязі перших трьох місяців. Сполуки, які містять ^{14}C , виявилися в складі всіх фракцій гумусових речовин ґрунту.

**Вплив компенсації азотної недостатності на гуміфікацію соломи
озимої пшениці в залежності від обробітку ґрунту, Кг, %**

Стационар, ґрунт трива- лість фону	Обробіток ґрунту	Варіант дослід	Глибина, см			± Солома + N ₁₀ до соломи		
			0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Новоодеська держ- сортодільниця, Миколаївська обл., чорнозем південний, 27-річний фон	Оранка	солома	17,1	17,9	19,3	+0,2	+0,5	+0,6
		солома + N ₁₀	17,3	18,4	19,9			
	Безполицевий різноглибинний	солома	18,6	20,3	19,4	+0,5	+0,3	+0,3
		солома + N ₁₀	19,1	20,6	19,7			
	± безполицевий до оранки	солома	+1,5	+2,4	+0,1	+0,3	-0,2	-0,3
		солома + N ₁₀	+ 1,8	+2,2	-0,2			
КСП “Україна”, Полтавська обл., чорнозем типовий, 6-річний фон	Оранка	солома	15,9	17,6	17,9	+0,2	+0,4	+0,4
		солома + N ₁₀	16,1	18,0	18,3			
	Безполицевий різноглибинний	солома	16,4	19,1	18,0	+0,5	+0,6	+0,1
		солома + N ₁₀	16,9	19,7	18,1			
	± безполицевий до оранки	солома	+0,5	+1,5	+0,1	+0,3	+0,2	-0,3
		солома + N ₁₀	+0,8	+1,7	-0,2			
КСП “Дніпро”, Київська обл., чорнозем типовий, 10-річний фон	Оранка	солома	16,2	18,0	18,4	+0,4	+0,4	+0,4
		солома + N ₁₀	16,6	18,4	18,8			
	Безполицевий різноглибинний	солома	16,8	19,4	18,6	+0,6	+0,4	+0,4
		солома + N ₁₀	17,2	20,0	19,0			
	+ безполицевий до оранки	солома	+0,6	+1,4	+0,2	-	+0,2	-
		солома + N ₁₀	+0,6	+1,6	+0,2			

**Груповий склад новоутворених гумусових речовин ґрунту після
гуміфікації рослинних решток та гною,
% до загального вуглецю (шар 0-30 см)**

Стационар, ґрунт	Обробіток ґрунту	Солома		Люцерна		Гній	
		ГР	ФР	ГР	ФР	ГР	ФР
Новоодеська держ- сортодільниця, Миколаївська обл., чорнозем південний	Оранка різноглибинна	14,3	9,2	6,7	11,8	не визначали	
	Безполицевий різноглибинний	15,8	7,0	6,6	8,8	—//—	
КСП “Україна”, Полтавська обл., чорнозем типовий	Оранка різноглибинна	16,3	13,3	11,3	12,3	—//—	
	Безполицевий різноглибинний	16,3	11,5	11,2	12,1	—//—	
КСП “Дніпро”, Київська обл., чорнозем типовий	Оранка різноглибинна	15,2	12,1	9,5	13,5	18,5	13,8
	Безполицевий різноглибинний	16,9	12,7	11,0	14,6	24,3	7,1
50-річний переліг, КСП “Дніпро”, Київська обл., чорнозем типовий		20,7	10,3	11,6	15,9	21,3	11,5

Надалі швидкість процесів розкладу зменшується, що обумовлено зменшенням ступеня доступності для мікроорганізмів компонентів органічної маси (Konnecke, 1967; Кауричев та співавт., 1970; Haslbash, Klaska, 1979).

В зимовий період при низьких температурах процеси розкладу та гуміфікації в ґрунті гальмуються і прирости гумусу незначні - 2-5 %.

**Динаміка процесу гуміфікації рослинних решток і гною (шар 0-20 см)
Стационарний дослід в КСП “Дніпро” Кагарлицького району
Київської області.**

Вид матеріалу, що гуміфікується	Приріст вмісту гумусу по строках спостережень (в % до кінцевого приросту)					
	липень	жовтень	квітень	липень	жовтень	квітень
	1988	1988	1989	1989	1989	1990
Солома озимої пшениці	0	+32	+2	+18	+44	+4
Люцерна	0	+44	+5	+40	+5	+6
Гній	0	+31	+2	+58	+6	+3
Зменшення вмісту гумусу в контрольних зразках (% від початкового вмісту)						
Контроль	100	-3	-3	-5	-5	-5

У весняно-літній період (квітень-липень 1989 р.) максимальний приріст новоутворених гумусових речовин виявлений у варіанті з гноєм (58 %), дещо меншим він був у варіанті з люцерною (40 %) та мінімальним у варіанті з соломою (18 %). Проте в останньому варіанті за літньо-осінній період приріст гумусових речовин був максимальним - 44 %.

Таким чином, динаміка процесу гуміфікації залежить від хімічного складу органічних решток, а найбільш інтенсивно вони розкладаються в початковий період. В цілому наведений матеріал дає підставу для висновку, що ґрунтозахисні технології вирощування сільськогосподарських культур створюють більш сприятливі умови для процесів трансформації органічного субстрату, що проявляється у підвищенні величин коефіцієнтів гуміфікації та поліпшення якості новоутвореного гумусу.

4.3.4. Основні аспекти регулювання режиму елементів живлення

У всі часи, на різних стадіях розвитку суспільно-економічних формацій у свідомості людини поняття про ґрунт і його родючість були невіддільними одне від одного. Родючість завжди уявлялась людиною як найбільш істотна властивість ґрунту як засобу виробництва.

Крім того до родючості завжди ставились як до чогось такого, від чого залежить життя і рослин, і тварин, і людини на Землі.

Не дивно, що в давні часи люди обожнювали родючість. У древньому Єгипті богинею родючості була Ізіда, а в древньому Римі - Прозерпіна. Про родючість писали свої трактати філософи і поети античної Греції.

В міру накопичення знань про ґрунт, розвитку природознавства і агрономії все більше прояснювалося питання про те, чим зумовлена родючість, які фактори (чи елементи) її формують.

До цього часу ми користуємось тим визначенням поняття «родючість», яке дав В.Р.Вільямс і згідно з яким під родючістю слід розуміти здатність ґрунтів задовольняти потреби рослин в елементах живлення, воді, забезпечувати їх кореневі системи достатньою кількістю повітря, тепла і сприятливим фізико-хімічним середовищем для нормального росту і розвитку.

Родючість ґрунту - це результат розвитку природного ґрунтоутворення, а також окультурення ґрунту при його сільськогосподарському використанні.

До факторів родючості ґрунту слід віднести елементи зольного та азотного живлення, воду, повітря і частково тепло - так звані земні умови росту і розвитку рослин. До умов родючості відносять сукупність властивостей та режимів ґрунту (фізичні, фізико-хімічні властивості, наявність токсичних речовин та ін.). Є й так звані космічні фактори родючості, не зв'язані з ґрунтом, але такі, що дуже впливають на

урожайність. Це сонячне тепло і світло. Не слід забувати, що ґрунт - біокосне тіло природи, до складу якого входять численні живі мікроорганізми, що відіграють важливу роль у мобілізації елементів живлення рослин, постачанні їм вуглекислоти. Сонячне світло визначає інтенсивність фотохімічних реакцій у ґрунті.

Таким чином, ґрунт як «материнський організм» використовує енергію сонця, елементи живлення навколишнього середовища, трансформує їх у процесі складних біофізико-хімічних процесів і забезпечує рослини всім необхідним.

Рівень родючості ґрунту вимірюють різними показниками температурного, водно-повітряного, поживного, фізико-хімічного, біологічного, біохімічного, сольового, окислювально-відновного режимів.

Усі ці фактори, значною мірою впливають на найважливіші показники родючості ґрунтів, серед яких виділяють фізичні (мехсклад, щільність, пористість, теплові, водні, повітряні, також фізико-механічні властивості), хімічні (гумусний стан, мінералогічний та ваговий хімічний склад, вміст рухомих форм макро- та мікроелементів, наявність токсичних речовин), фізико-хімічні (ОВП, реакція ґрунтового розчину, ємність катіонного обміну, сума та склад увібраних основ, ступінь насиченості основами), біологічні (кількість та склад мікроорганізмів, здатність ґрунту до нітрифікації та азотфіксації, інтенсивність розкладу целюлози, «дихання» ґрунту, ферментативна активність та фітосанітарний стан).

Не для всіх властивостей та режимів ґрунту виявлені кількісні показники (чи градації оцінок), що дозволяють розробити чітку класифікацію параметрів родючості відповідно вимог до культурних рослин. Але можна стверджувати, що родючість проявляється як результат складної взаємодії і поєданого впливу різних властивостей та режимів

грунту і що різні рослини мають неоднакові вимоги до цих властивостей та режимів, тобто родючість завжди має відносний характер.

Щоб оцінити (кількісно) родючість ґрунту за всім цим розмаїттям показників, що вимірюються різними мірами (мг, м.-екв, мм, % та ін.) слід провести якісну оцінку (бонітування) ґрунту.

Окремі режими та властивості ґрунту дуже тісно залежать один від одного, так що виділити окремо і оцінити кожен з них дуже важко. Режим елементів живлення є результатом складних перетворень мінералів ґрунту, трансформації його органічної частини, активності різних груп мікроорганізмів та фауни ґрунту, впливу реакції середовища, динаміки окислювально-відновних процесів, температурного, водно-повітряного режимів та ін.

У свою чергу, будь-який режим, наприклад окислювально-відновний, залежить від вмісту і складу органічної речовини, фізичних властивостей ґрунту, гідротемічних та інших умов, інтенсивності мікробіологічних процесів.

Агрофізичні показники ґрунту, у свою чергу, залежать від вмісту гумусу, його групово-фракційного складу, мінералогічного, механічного складу ґрунту, його фізико-хімічних властивостей і т. д.

Тісний зв'язок між факторами та умовами родючості вимагає від агронома вміння передбачати можливі зміни окремих властивостей та режимів ґрунту внаслідок застосування таких заходів як обробіток, меліорація, внесення добрив та ін.

Коли виділяють окремі категорії, форми, види родючості, то це слід розуміти як різні аспекти оцінки однієї і тієї ж суті. Найчастіше серед цих аспектів виділяють два: 1) біологічну та 2) економічну (господарську) оцінку родючості ґрунту.

Біологічна оцінка родючості полягає в кількісному визначенні загальної (біологічної) продуктивності рослин на даному ґрунті. Ця оцінка показує, на скільки даний ґрунт здатний забезпечити продуктивність фотосинтезу.

Економічна оцінка родючості базується на його бонітуванні, тобто відносній оцінці (в балах) тих властивостей ґрунту, які більш-менш тісно корелюють з урожайністю сільськогосподарських культур. Крім того, до уваги беруться і інші показники, що дають змогу оцінити ґрунт, а на його основі і землю, як основний засіб виробництва в сільському господарстві.

З метою оцінки родючості ґрунту, як основного засобу виробництва у сільському господарстві, її ділять на такі види: 1) природну; 2) штучну; 3) ефективну або економічну.

Природна родючість - це та родючість, яку має ґрунт в природному стані, без будь-якого втручання людини. Це результат розвитку природних процесів ґрунтоутворення. Цей вид родючості зберігся у цілинних ґрунтів. Кількісно оцінити його можна за продуктивністю (в ц/га) цілинних фіто-ценозів.

Важливою рисою природної родючості є екологічна відповідність властивостей ґрунту біологічним вимогам рослин, що склалася в результаті тривалого природного відбору. Наприклад, болотні ґрунти є високородючими по відношенню до болотних рослин, але степові трави на них рости не можуть. Підзолисті ґрунти, що мають мало гумусу і кислу реакцію є родючими для лісової рослинності, багато з якої не зможе добре рости на родючих чорноземах.

Родючість, якої набуває ґрунт внаслідок впливу на нього діяльності людини (обробітку, меліорації, удобрення), називається **штучною родючістю**. В чистому вигляді вона проявляється при створенні субстратів для вирощування рослин в теплицях і парниках, проведенні рекультивації на відвалах.

При сільськогосподарському використанні ґрунтів важко розділити природну і штучну їх родючість. Обидва ці види в сукупності проявляються в **ефективній** або **економічній** родючості ґрунту, мірою якої є урожайність сільськогосподарських культур. Цей вид родючості залежить і від рівня природної родючості і від характеру використання ґрунту у виробництві, рівня розвитку науки та реалізації її досягнень.

Виділяють ще і **потенційну родючість** ґрунту, під якою розуміють потенційну здатність його забезпечувати рослини факторами життя. Ця потенційна здатність залежить від вмісту валових та рухомих форм елементів живлення, показників водного, повітряного, теплового, токсикозного та інших режимів. Потенційну родючість визначають шляхом польових та лабораторних досліджень ґрунтів. Якісна оцінка (бонітування) ґрунтів найчастіше проводиться за комплексом показників потенційної родючості ґрунту (запасом гумусу, елементів живлення, діапазоном активної вологи та ін.).

Прикладом ґрунтів з високою потенційною родючістю є чорноземи, а з низькою - підзолисті ґрунти.

Експлуатуючи ґрунт, людина повинна думати про те, як відновити його родючість, довести її до початкового рівня (просто відтворення родючості) чи створити ще більш високу родючість, ніж була на початку (розширене відтворення родючості).

В природних умовах (на ціліні), коли ґрунт досягає стану рівноваги, а його властивості і режими коливаються в певних межах, є більш-менш сталими, маємо процес простого відтворення родючості. А розширене відтворення родючості в природних умовах можливе лише на стадії еволюції, коли різко змінюються умови ґрунтоутворення.

Під дією природних та антропогенних факторів розвивається культурний процес ґрунтоутворення.

Зміна людиною природних властивостей ґрунтів з метою створення і постійного підтримання високого рівня їх родючості називається окультуренням ґрунтів. Інтенсифікація землеробства пов'язана із зростанням впливу людини на ґрунт, на розвиток процесів ґрунтоутворення і еволюцію ґрунтів. Щоб цей вплив приносив користь, а не шкоду, треба знати загальні закономірності сучасного культурного процесу ґрунтоутворення, зональні особливості його розвитку, глибоко і всебічно вивчати вплив сільськогосподарського використання ґрунтів на зміну їх складу, властивостей та режимів.

Оцінюючи сучасний стан цієї проблеми, можна повністю погодитись з думкою М.М.Піддубного (1974): «...окремі явища ґрунтоутворення і їх сукупність найбільш детально вивчені для ґрунтів природних біоценозів. Особливості ґрунтоутворення під культурною рослинністю досліджені недостатньо, а погляди викладені стосовно напрямку і вираженості ґрунтоутворення на орних ґрунтах містять багато протиріч».

Культурний ґрунт - дзеркало господарської діяльності людини. Результати окультурення можуть бути як позитивними, так і негативними. При всій багатогранності природних умов і зональних заходів їх окультурення, антропогенний вплив на ґрунт має ряд загальних особливостей (В.Д.Муха, 1979):

1) знищення природного рослинного вкриття, що призводить до змін у мікрокліматі, підсилення безпосередньої дії сонячних променів і атмосферних опадів на ґрунт;

2) систематичне розпушування і перемішування верхнього орного шару ґрунту, що викликає зміни в водно-повітряних і фізико-механічних властивостях;

3) зміна едафону, біохімічних і фізико-хімічних властивостей ґрунту; підвищення мікробіологічної та ферментативної активності, підсилення мінералізації та гуміфікації органічної речовини;

4) загальне збільшення інтенсивності процесу ґрунтоутворення;

5) направленість в зміні складу і властивостей ґрунту, обумовлена застосуванням комплексу агротехнічних, агрохімічних, меліоративних та інших заходів.

Тобто окультурення - це економічна реорганізація ґрунтового тіла. Так як вплив на ґрунт зростає не поступально, а прискорено, то і відтворення родючості повинно бути не простим, а розширеним, що забезпечується одночасним ростом як ефективної, так і потенційної родючості ґрунту.

Відтворення родючості ґрунту в інтенсивному землеробстві здійснюється двома шляхами: матеріальним і технологічним.

Перший з цих шляхів полягає в застосуванні добрив, меліорантів, пестицидів, другий - у правильному обробітку ґрунту, осушенні, зрошенні найбільш доцільному чергуванні культур у сівозміні та ін..

Для успішної реалізації цих шляхів необхідно забезпечити становлення оптимальних взаємовідносин між ґрунтом і головною екологічною групою рослин, що вирощуються на ньому, а також спеціалізацію землеробства з урахуванням агроекологічних і економічних умов .

Комплекс основних заходів для розширеного відтворення родючості повинен входити до складу зональних систем землеробства. Основними складовими цього комплексу є: 1) сівозміна; 2) система обробітку ґрунту; 3) система удобрення; 4) хімічна меліорація; 5) захист рослин; 6) зрошення та осушення; 7) ґрунтозахисні (протиерозійні) заходи; 8) культуртехнічні заходи; 9) перспективні сорти і гібриди; 10) мікробіологічні добрива та біо- стимулятори та інші заходи.

Формування оптимального режиму макро- та мікроелементів живлення рослин – важлива складова управління продуктивністю ґрунту. Потрібно знати, які елементи живлення перебувають у дефіциті. Досконале вивчення кругообігу азоту в культурних біогеоценозах нерідко виявляє його істотний дефіцит в усіх зонах України. Це стосується також P_2O_5 , K_2O , та ряду мікроелементів (в різних зонах – різних). Загальні закономірності

забезпечення ґрунтів України макро- і мікроелементами тісно пов'язані з особливостями клімату, ґрунтоутворних порід та інших факторів ґрунтоутворення, в тому числі і з антропогенним – інтенсифікацією сільськогосподарського використання земель, порушенням природних геохімічних циклів кругообігу хімічних елементів. Найбідніші на рухомі елементи живлення дерново-підзолисті ґрунти піщаного та супіщаного гранулометричного складу. По мірі зростання у ґрунтах фракції мулу ($< 0,001$ мм) у напрямку з північного заходу на південний схід, у них зростає вміст гумусу та елементів живлення. На переважній частині території Лісостепу та Степу ґрунтоутворюючою породою служить лес, гранулометричний склад котрого змінюється від легкосуглинкового в західному і правобережному Лісостепу до важкосуглинкового та глинистого у південному та південно-східному Степу. Карбонатність материнських порід і сприятливі кліматичні умови забезпечили накопичення в утворених тут ґрунтах значної кількості гумусу, насиченості ґрунтів основами, особливо кальцієм. Суглинковий та глинистий гранулометричний склад сірих лісових ґрунтів, чорноземів типових, звичайних та південних, темно-каштанових ґрунтів обумовлює їх добре забезпечення валовим кальцієм, та істотною мірою фосфором і багатьма мікроелементами. З гумусованістю цих ґрунтів пов'язана їх забезпеченість азотом.

У контролі за станом поживного режиму в ґрунтах України оперативність одержання інформації ще не достатньо висока. Потрібен достатній набір автоматизованих ґрунтових датчиків, котрі сигналізують про рівень вмісту доступних для рослин елементів живлення. Особливо великого значення ця проблема набуває по відношенню до азоту, як найбільш динамічного елемента живлення. Управління азотним режимом мусить бути приурочене до фізіологічних потреб рослин у різні фази їх росту та розвитку. Певною мірою виконання цієї вимоги досягається за допомогою дробного внесення мінеральних енергоємних азотних добрив.

Але практика будь-якого інтенсивного землеробства не повинна недооцінювати дешевші і досить ефективні біологічні заходи оптимізації азотного режиму за рахунок сидератів, бактеріальних і органічних добрив, селекції та інокуляції бульбочкових бактерій в кореневу систему небобових культур. Ці заходи дозволяють створити високу азотобуферну ємність ґрунту, здатну регулювати азотний режим. На фоні такої здатності ґрунту полегшується оптимізація азотного режиму протягом всієї вегетації за допомогою мінеральних добавок азотних добрив.

Таким чином, оптимізацію азотного режиму можна здійснити такими способами: за рахунок дробного внесення (в певні фази розвитку рослин) мінеральних азотних добрив; збагачення ґрунту органічною речовиною і корисною ризосферною мікрофлорою; застосування інгібіторів нітрифікації. Раціональне поєднання всіх методів оптимізації азотного режиму в залежності від властивостей ґрунтів і вирощуваних культур дає можливість ефективно управляти азотним режимом ґрунту.

Мінеральні добрива – активний фактор антропогенного підкислення ґрунтів. Особливо інтенсивно процеси антропогенного підкислення та декальцинування (і взагалі втрати обмінних основ ґрунту) відбуваються під впливом азотних добрив.

Досліджуючи теоретичні аспекти антропогенного підкислення ґрунтів, Л.Р. Петренко та Є.М. Бережняк [32], встановили, що ці деградаційні процеси відбуваються за рівнянням кінетики першого порядку, наприклад:

$$dCa/dN = -k \cdot Ca,$$

де Ca – вміст обмінного катіону кальцію в ГВК, мг.екв. на 100 г ґрунту;

k – константа; N – доза азоту, кг N на 1 га в середньому за рік.

Для зростаючої під впливом удобрення гідролітичної кислотності ґрунту (H_2) рівняння має вигляд:

$$dH_2/dN = k_1 \cdot H_2,$$

де H_2 – гідролітична кислотність ґрунту, мг.екв. на 100 г ґрунту.

Для встановлення норми $CaCO_3$ (діючої речовини вапнякового матеріалу) на 1 ц азотного добрива автори пропонують застосовувати таку формулу:

$$D_m = 50 \cdot \Delta H_2 \cdot N \cdot h \cdot d / \Delta t \cdot \Delta N,$$

де D_m – норма внесення $CaCO_3$, кг на 1 ц азотного туку;

ΔH_2 – зміна величини гідролітичної кислотності під впливом фактора антропогенного підкислення;

N – норма внесення азоту, кг/га за час t років;

h – глибина шару ґрунту у який треба заробити внесенне вапно;

d – щільність складення ґрунту ($г/см^3$) у вищезначеному шарі.

Для розрахунку норми вапна для нейтралізації антропогенної кислотності спричиненої внесенням повного мінерального добрива НРК в центнерах стандартних туків, формула набуває такого конкретизованого вигляду:

$$D_{НРК} = 50 \cdot \Delta H_2 \cdot h \cdot d / (0,294 \cdot \Delta N + 0,05 \cdot \Delta P_2O_5 + 0,025 \cdot \Delta K_2O / \Delta t,$$

де $D_{НРК}$ – норма $CaCO_3$ (кг) на 1 ц стандартних туків (34%-ної NH_4NO_3 , 20% $Ca(H_2PO_4)_2$ та 60% KCl);

ΔP_2O_5 та ΔK_2O – зміна доз фосфорних чи калійних добрив (кг/га), котрі спричинили ΔH_2 ; решта членів як у попередньому рівнянні.

Перевіримо функціонування даних рівнянь для ситуації підкислення чорнозему типового слабогумусованого у Кагарлицькому районі Київської області (с. Стрітівка), де у 1980-1990 роки функціонував польовий стаціонарний дослід кафедри ґрунтознавства. Щорічне внесення 157 кг/га N у формі амонійної селітри ($\%N = 34$) за сім років (Δt) підвищило гідролітичну кислотність ґрунту ($d = 1,30 г/см^3$) у шарі 0-20 см ($h = 20$) з 2,85 до 4,71 мг.екв. на 100 г ґрунту ($\Delta H_2 = 4,71 - 2,85 = 1,86$). Норма

CaCO₃ на 1 ц амонійної селітри, що має запобігти розвитку підкислення ґрунту, становитиме:

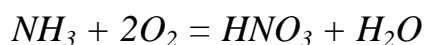
$$D_N = 50 \cdot 1,86 \cdot 34 \cdot 20 \cdot 1,30 / 7 \cdot 157 \approx 75 \text{ кг}$$

На цьому ж досліді, внесення N₁₂₀P₈₇K₈₃ щороку протягом семи років (1980-1987) підвищило *Hg* порівняно з варіантом без удобрення з 1,91 до 4,06 мг.екв. на 100 г ґрунту у шарі ґрунту 0-20 см за щільності складення 1,30 г/см³. Норма CaCO₃ на 1 ц стандартних туків становитиме:

$$D_{NPK} = 50 \cdot (4,06 - 1,91) \cdot 20 \cdot 1,30 / (0,0294 \cdot 120 + 0,05 \cdot 87 + 0,025 \cdot 83) \cdot 7 \approx 40 \text{ кг}$$

Отримані норми CaCO₃ приблизно відповідають рекомендаціям для не опідзолених, але слабогумусованих і вилугованих чорноземів Лісостепу України, згідно з якими внесення у ґрунт 1 ц стандартних туків мінеральних добрив потребує внесення ще і 0,5 ц (50 кг) CaCO₃.

Особливо сильним підкислювачем ґрунту в усіх зонах України є внесення безводного аміаку (NH₃), що в теплий період року зазнає інтенсивної нітрифікації:



Навіть у зоні Полісся на кислих ґрунтах рекомендовано (Г.А. Мазур та ін.) на 1 ц безводного NH₃ вносити 2,9 ц CaCO₃.

Оптимізація азотного режиму ґрунту тісно пов'язана з оптимізацією інших режимів живлення рослин, наприклад фосфатного. В Україні поступово досягається загальний позитивний (додатній) баланс фосфору у ґрунтах, підвищення вмісту його розчинних сполук. За даними польових дослідів, для збільшення кількості рухомого фосфору в середньо- та важкосуглинкових ґрунтах на 1 мг P₂O₅ на 100 г ґрунту потрібно вносити (з урахуванням виносу врожаєм) 100-140 кг P₂O₅ з добривами. Агрохімічним обстеженням встановлено, що у виробничих умовах для підвищення фосфатного рівня чорноземів при нижчому вмісті фосфору у ґрунті і низьких нормах внесення його з добривами, витрата фосфору добрив дуже зростає і коливається в залежності від гранулометричного складу ґрунту від 200 до 350 кг P₂O₅. Вивчення

кривих реагування показує, що по мірі зростання дози фосфору, внесеного з добривом, коефіцієнт його використання з ґрунту зменшується. Криві реагування – важливий інструмент управління режимом елементів живлення, бо вони дають змогу порівняти між собою фосфор у ґрунті з фосфором, що вноситься з добривами, тобто скільком мг P_2O_5 взятого рослиною з ґрунту відповідає P_2O_5 , внесений з добривом. Звичайно це стосується не лише P_2O_5 , а й N, K_2O та мікроелементів.

Таблиця 46

Оптимальний вміст рухомого фосфору в основних типах ґрунтів України (за даними польових дослідів агрохімслужби)

Ґрунти	Культура	Вміст рухомого P_2O_5 , мг на 100 г ґрунту	Врожайність, ц/га
Полісся			
Дерново-підзолисті	Озима пшениця	15-17	31,9
	Ярий ячмінь	11-14	21,5
Лісостеп			
Чорноземи опідзолені та темно-сірі опідзолені ґрунти	Озима пшениця	11-14	35,9
	Соняшник	10-11	23,4
Чорноземи типові	Озима пшениця	13-15	34,2
	Кукурудза на зерно	14-15	47,3
	Цукрові буряки	16-18	240
Степ			
Чорноземи звичайні	Озима пшениця	11-13	29,7
	Кукурудза на зерно	10-11	61,6
	Соняшник	7-10	24,6
Чорноземи південні	Озима пшениця	11-14	44,2
	Ярий ячмінь	12-13	30,5
Темно-каштанові	Озима пшениця	11-14	45,8

Переважає частина ґрунтів України, особливо в Лісостепу та Степу, має високий рівень саморегулювання калійного режиму, завдяки наявності у ґрунтах достатньої кількості калієвих глинистих мінералів і

слід, котрі у процесі ґрунтоутворення вивільняють калій у доступній для рослин формі, а також добре фіксують його при надходженні в ґрунт. Але на ґрунтах легкого гранулометричного складу (піщаних та супіщаних), а також торф'яних ґрунтах, калійний режим складається несприятливо. Без внесення калійних добрив отримати добрий врожай на цих ґрунтах неможливо. В Лісостепу та Степу калійні добрива дають добрий ефект на фоні внесення високих норм азотних та фосфорних добрив. Солонцеві ґрунти, як правило, калійного удобрення не потребують.

Дослідження параболічних кривих реагування основних культур на внесення на різних типах ґрунтів фосфору та калію, дало можливість виявити ще в кінці 80-х років в УНДІГА діапазон оптимального вмісту цих елементів живлення.

Норми калійних добрив при високому вмісті калію у ґрунті слід розраховувати за виносом його врожаєм для підтримання існуючого калійного рівня. Для основних типів ґрунтів оптимальний вміст рухомого калію складає 10-18 мг на 100 г ґрунту.

Як правило, ґрунти Полісся і опідзолені ґрунти Лісостепу містять рухомого калію менше оптимального рівня. Для отримання високих і стабільних врожаїв, калійний режим ґрунту регулюють внесенням калійних добрив в оптимальних нормах. Інтенсифікація землеробства з підвищенням відчуженням ґрунтового калію з врожаями показує, що значення заходів в управлінні калійним режимом буде зростати, особливо на посівах калієфільних культур.

**Оптимальний вміст рухомого калію в основних типах
грунтів України
(за даними польових дослідів агрохімслужби)**

Грунти	Культура	Вміст рухомого K₂O, мг на 100 г ґрунту
Полісся		
Дерново-підзолисті	Озима пшениця	13-16
	Ярий ячмінь	10-11
Ясно-сірі та сірі лісові	Ярий ячмінь	11-13
Лісостеп		
Чорноземи опідзолені	Озима пшениця	10-13
Темно-сірі опідзолені грунти	Соняшник	12-14
Чорноземи типові	Озима пшениця	12-16
	Кукурудза на зерно	13-15
	Цукрові буряки	16-18
Степ		
Чорноземи звичайні	Озима пшениця	15-16
Чорноземи південні	Озима пшениця	13-17
	Ярий ячмінь	15-16
Темно-каштанові	Озима пшениця	14-17

На переважаючій більшості ґрунтів Полісся калій добрив легко мігрує і вимивається з ґрунту. Для оптимізації калійного режиму потрібно використовувати слабкорозчинні форми калійних добрив, а також (якщо це економічно доцільно) проводити глинування легких ґрунтів. При інтенсивному землеробстві, обмежитися заходами оптимізації режимів лише основних елементів живлення не можна. Важливе значення мають питання достатнього забезпечення вирощуваних культур макро- та мікроелементами. Недостачу цих елементів поповнюють внесенням органічних добрив, сапропелів, відходів промисловості (піритні огарки), а також безпосередньо мінеральних солей, що містять той чи інший дефіцитний елемент.

4.4. Біологічний режим ґрунту

Утворення ґрунту і родючості - результат життєдіяльності організмів, що населяють цей ґрунт. Найбільш тісно пов'язана з ґрунтом життєдіяльність рослин, які без нього не можуть існувати. Крім того, саме вищі зелені рослини дають 65-70% «сировини» для утворення гумусу. Кожному з типів рослинності (деревній, лучній, степовій, пустельній формацій) властиві свої специфічні взаємовідносини між організмами, що входять до їх складу, своя взаємодія з середовищем, в якому ці організми розвиваються і в першу чергу - з ґрунтом, на якому вони зростають.

На земній суші щороку утворюється $5,3 \cdot 10^{10}$ т біомаси, яка синтезується зеленими рослинами за рахунок CO_2 атмосфери, фотосинтетично активної сонячної радіації, води та мінеральних солей ґрунту.

Всі живі організми на Землі взаємозв'язані в біологічні ценози так, що повністю якось відмежувати вищі рослини від інших організмів з метою вивчення їх ролі - дуже важко. Звичайно, основна функція вищих зелених рослин - це постачання основної маси органічних решток для участі в біологічному колообігу речовин. Крім того, зелені рослини беруть участь у трансформації мінералів ґрунту, у формуванні зложення та структури всієї коре-невмісткої товщі ґрунту, в регулюванні (наземними частинами) водно-повітряного та теплового режимів. Дуже важливе значення для утворення ґрунту мають не лише масштаби, хімічний склад щорічно відмираючої біомаси, але й строки і темпи надходження цієї маси у ґрунт.

Потенціальним джерелом органічної частини ґрунту слід вважати всі компоненти біоценозу. Але в переважній більшості наземних біоценозів зелені рослини (автотрофи) мають найбільшу біомасу, щорічний приріст, наземний та кореневий опад. Тому саме вони дають основний матеріал для формування органічної частини ґрунту. Щоправда, специфічний хімічний склад мікроорганізмів та тварин, високий вміст в них білків визначають і їх помітну роль в збагаченні органічної частини ґрунту азотними компонентами.

За даними І.В.Тюріна, органічні рештки мікроорганізмів складають лише біля 1/3 від біомаси решток зелених рослин, а решток фауни накопичується в ґрунті дуже мало - 100-200 кг/га сухої речовини.

В орних ґрунтах джерелом утворення гумусу є пожнивні та кореневі рештки культурних рослин, органічні добрива (1 т гною може дати ґрунті 40-60 кг гумусу). З початком сільськогосподарського використання ґрунтів динамічна рівновага (гуміфікація ↔ мінералізація) зміщується в сторону посилення мінералізації і відзначається зменшення вмісту гумусу. Основними причинами даного явища є: різке скорочення поступання рослинних решток в ґрунт, посилення мікробіологічної активності і переміщення верхнього шару ґрунту з менш гумусованими нижніми шарами. Крім цього, при нестачі органічної органічної речовини в ґрунті, гетеротрофна мікрофлора для своєї життєдіяльності в якості джерел енергії починає використовувати гумус, що у кінцевому випадку обумовлює дегуміфікацію.

О.М.Ликов, Н.В.Федорін також зазначають, що зменшення вмісту гумусу в ґрунтах є наслідком його багаторічного від'ємного балансу обумовленого інтенсивним характером використання ґрунтів і явно недостатнім надходженням в них свіжої органічної речовини.

Найважливіша і загальна закономірність природної рослинності, як зазначив М.І.Саввінов - приуроченість переважаючої частини її живих коренів до поверхневого шару ґрунту. Так, коренева система цілинної рослинності чорноземів більше ніж у 3 рази переважає кореневу масу ґрунтів, що обробляються, навіть під багаторічними травами, які відзначаються потужною кореневою системою. Кореневої маси в цілинних чорноземах було набагато більше і в метровому шарі ґрунту.

Коренева система - основний продукт органічної речовини в ґрунті, як відзначав ще П.А.Костичев. Це положення підтверджується тим, що розподіл органічних речовин в ґрунтах відповідає розташуванню в них

коренів рослин. Показано, що гумус утворюється не тільки із кореневого опаду, але і з водорозчинних органічних і органо-мінеральних речовин, до яких відносяться кореневі виділення рослин (Пономарева, Плотникова, 1980). В склад корневих виділень входять органічні кислоти, амінокислоти, цукри, ферменти і вітаміни, загальна кількість яких під культурними рослинами досягає 10% їх маси.

Дослідженнями виявлено, що кількість поступаючих в ґрунт корневих і поверхневих решток залежить від багатьох факторів, і в першу чергу, від біології культури, ґрунтово-кліматичних умов, рівня урожайності і агротехніки [3].

Найменша кількість поверхневих і корневих решток надходять в ґрунт під однорічними зернобобовими - 18-25 ц/га, зерновими і просапними культурами - 25-50 ц/га, тоді як під багаторічними бобовими і злаковими травами на гектарі залишається до 100 ц і більше рослинних решток [22].

За даними L.Debruch [92] середня маса сухих рослинних решток, які можуть бути використанні в якості органічного добрива наступна: цукрового буряка - 7,5 т/га, солома зернових культур-5, поживний сидерат-2,5 т/га.

Дослідженнями Ф.Н.Левіна встановлено, що із корневими рештками цукрового буряка в ґрунт надходять тільки 14-19% загальної кількості елементів, які беруть участь у біологічному кругообігу речовин, в той час коли з рослинними рештками зернових культур і багаторічних трав поступає відповідно більше 35 і 50%.

В.В.Агеев, В.В.Черепанов також виявили, що найбільшу кількість рослинних решток залишає люцерна, конюшина, дещо менше колосів і просапні культури і найменше цукровий буряк і зернобобові. В середньому за сівозміну щорічно надходить 3,5-3,7 т/га рослинних решток, що має

велике значення для відновлення втрат органічної речовини в процесі вирощування сільськогосподарських культур.

Органічна речовина надходить в ґрунт не тільки після відмирання рослин, але і під час їх життєдіяльності, так як безперервний процес відмирання різних частин рослини відбувається протягом всього періоду їх росту і розвитку, дозрівання.

Розміри кореневого опаду, за даними Н.Б.Макарова , досягають у озимої пшениці 124-480 кг/га сухої речовини, у вівса- 337-620 кг/га. Запаси гумусу за рахунок кореневого опаду і корневих виділень можуть поповнюватись на 1,3-2,3 ц/га.

Позитивний вплив різних видів, доз добрив та їх поєднань на нагромадження рослинних решток відзначає ряд дослідників . При цьому відзначається, що при рості урожаїв польових культур порушується співвідношення мас надземних і підземних часток рослин, а саме на одиницю більш високої товарної частки врожаю припадає менша кількість корневих решток. Рослинні рештки мають велике значення не тільки як фактор нагромадження гумусу, але і як джерело елементів живлення, які вивільняються в результаті мінералізації проміжних продуктів розкладу в ґрунті . Дослідження свідчать, що вміст азоту значно вищий в корневих рештках, ніж у поверхневих. Калію, навпаки, міститься більше в поверхневих рештках, ніж в корінні. Такої закономірності у відношенні фосфору не спостерігається. Так, у озимої пшениці та ячменю вміст фосфору в корінні вищий, ніж у стерні. В інших культурах вміст фосфору більший у надземній частині нетоварної частки врожаю.

Найбільший вміст азоту спостерігається в корневих і поверхневих рештках конюшини, люцерни (1,58-1,89%), в кореневій системі гороху (1,53,-1,60%), озимої пшениці (1,03-1,30%). Високим вмістом фосфору характеризуються рослинні рештки багаторічних бобових трав, гороху,

цукрового буряка; калію - поживні рештки вико-вівсяної суміші, конюшини, люцерни .

Необхідно також відзначити велике значення рослинних решток в інтенсивному землеробстві: по-перше, вони щорічно удобрюють ґрунт після збирання врожаю, тоді як решта видів органічних добрив вносяться в ґрунт періодично; по-друге, не потрібно додаткові витрати на внесення; по-третє, рослинні рештки розподіляються в ґрунт найбільш рівномірно.

Внесення в ґрунт рослинних решток (особливо соломи) посилює процеси азотфіксації і біологічного закріплення азоту. Цікаво відзначити, що інтенсивність азотфіксації при розкладі рослинних решток в якості органічних добрив дерново-підзолистий ґрунт може отримати додатково за рахунок несимбіотичної азотфіксації біля 6 кг азоту на 1га , а чорнозем - 20 кг/га.

Поряд з цим, збільшення азотфіксації в ґрунтах із низьким вмістом азоту може посилювати трансформацію рослинних решток, якщо врахувати , що фіксація азоту в ґрунті при наявності целюлози відбувається при сумісній діяльності мікроорганізмів, які руйнують целюлозу і азотфіксаторів, які розвиваються на продуктах її розкладу .

По даним Б.І.Іванова , гумусові речовини утворюються в найбільшій кількості в період найбільш інтенсивного розкладу рослинних решток. В той же час найбільш висока біологічна і ферментативна активність ґрунту особливо чітко проявляється при зароблюванні соломи у верхні шари .

Крім якості рослинних решток як джерела нагромадження гумусових речовин, які оцінюють коефіцієнтом гуміфікації , на інтенсивність процесів гумусоутворення впливає ряд інших факторів: дози і характер локалізації в орному шарі, режим вологості, температури і аерації, рівень

гумусованості і біологічної активності ґрунту, реакція середовища і склад поглинутих катіонів, доз і форм мінеральних добрив .

Одним із найбільш важливих агротехнічних прийомів, які впливають на розташування рослинних решток в орному шарі та їх трансформацію є обробіток ґрунту. Думки дослідників щодо впливу різних за інтенсивністю і глибині обробітків ґрунту на продуктивність гуміфікації відрізняються.

М.А.Туєв відзначає, що плоскорізний і поверхневий обробіток чорнозему глибокого малогумусного сприяв збільшенню коефіцієнтів гуміфікації відповідно на 9,2 та 14,2% порівняно з оранкою. Протилежної думки притримується А.Ф.Вітер та О.М.Новочіхін, які виявили на чорноземах звичайних явище зменшення коефіцієнти нагромадження гумусу при систематичному обробітку ґрунту плоскорізом порівняно з оранкою.

Л.І.Нікіфоренко стверджував, що локалізація органічної речовини у поверхневому шарі, який постійно піддається інтенсивному атмосферному і технологічному впливу негативно впливає на процеси гуміфікації. В цьому випадку просторово не співпадає зона поступання гумусоутворювачів із зоною їх найкращої гуміфікації.

Така інтерпретація не в повній мірі відображає реальні умови трансформації рослинних решток, оскільки головним процесом їх перетворення є процес окислення , а сам гумус головним чином утворюється в аеробних умовах . При поверхневій заробці рослинних решток на фоні мінімального обробітку різко зростає кількість організмів і збільшується ферментативна активність ґрунту. Все це значно активізує процеси гуміфікації, так як виявлено , що їх регулюють наступні найголовніші фактори: 1) кількість і якість субстрату; 2) ступінь аерації; 3) активність ферментних систем.

Таким чином, першочергове нагромадження органічної речовини у верхніх шарах ґрунту при мінімальному обробітку в умовах інтенсивного землеробства є цілком природнім процесом. Тому неоднорідність орного шару по вмісту органічної речовини в цьому випадку є не обмежуючим процес гуміфікації фактором, а скоріше (як на цілині) навпаки.

Багато досліджень дослідників вважають, що оранку слід проводити періодично. Прихильники цього напряму, признаючи, що щорічне застосування оранки викликає активну мінералізацію гумусу, рекомендують чергування відвального і безвідвального обробітку.

За даними Українського філіалу ЦІНАО, УНДІГА та УНДІЗ для бездефеційного балансу гумусу необхідно вносити на 1 га сівозмінної площі: в Поліссі 15-16 т гною, в Лісостепу 10-12 т. Для виходу на позитивний баланс гумусу норми гною необхідно збільшувати в зоні Полісся до 18-29 т/га, в Лісостепу до 13-15 т/га, в Степу до 10-12 т/га, або в середньому по Україні до 11 т/га.

На сьогоднішній день в умовах різкого дефіциту гною важливим джерелом внесення органічних добрив і підвищення запасів гумусу в ґрунті є використання соломи.

Розрахунки показують, що в середньому в Україні щорічно отримують біля 36 мільйонів тон соломи, із яких - 10 млн. т. використовується на корм, 3 млн.т. - на підстилку, 5 млн.т. – на побутові потреби і в гідролізній промисловості. Решта – 18 млн.т. нагромаджується в старих скирдах і в наступному, як правило, спалюється, що з агрономічної і тим більш екологічної точки зору не виправдано і шкідливо. Використання цієї кількості органічного добрива може бути суттєвим вкладом у поповнення запасів гумусу в ґрунті.

За вмістом органічної речовини і відтворенню гумусу 1т соломи прирівнюється до 4-5 т підстилкового гною. Проте через широке співвід-

ношення C:N (60:100) на кожен т соломи потрібно внести 8-12 кг азотних добрив для підвищення новоутворення гумусових речовин і запобігання іммобілізації азоту .

Суттєве джерело органічних добрив – сидерати. При інтенсивному землеробстві найкраще використовувати проміжну культуру сидератів, які дозволяють вносити зелене добриво в існуючих сівозмінах, без порушення структури посівних площ.

Природна трав'яниста рослинність - лучна та степова - складається з багаторічних рослин, переважно злаків, що мають дуже розгалуджену мичкувату кореневу систему, що густо пронизує верхній шар ґрунту. В різних природних умовах загальна біомаса трав'янистих ценозів коливаються в широких межах: від 40-50 ц в пустелях та арктичній тундрі до 250 ц/га в зоні лучних степів.

Дрібнозем ґрунту під трав'янистою рослинністю під дією коренів та їх виділень ділиться на міцні структурні окремоті - грудочки, зерна. Така структура полегшує надходження води в товщу ґрунту. Відмерлі кореневі рештки на 20-30 відсотків гуміфікуються, а через те що вони мають достатню кількість основ (Ca^{2+} , Mg^{2+}), то це сприяє накопиченню гумусу гуматного типу. Трав'яниста рослинність багата азотом (1%), зольними елементами (K, P та ін.), які щороку значною мірою повертаються в ґрунт. Звичайно, в різних природних умовах під трав'янистою рослинністю формуються подібні ґрунти з гумусово-акумулятивним профілем.

Між лучною та степовою рослинністю є істотна різниця. Насамперед вона зумовлена часом щорічного відмирання опаду. Лучна рослинність відмирає на початку зими, коли замерзає вода в ґрунті. Цілинний степ завмирає від нестачі вологи. Від лучних до сухих степів вміст гумусу в ґрунтах помітно зменшується.

Мохово-лишайникова рослинність щороку постачає на поверхню ґрунту до 3-5 т/га біомаси, але мала інтенсивність розкладу мохів є причиною

консервації рослинних решток (утворюється торф). При нестачі вологи ці рештки перевіваються вітром.

На орних угіддях біопродуктивність та характер агроценозу визначається видами сільськогосподарських культур, агротехнічними та агро меліоративними заходами. В ґрунтозахисному відношенні найкращою культурою є багаторічні трави, що беруть активну участь в формуванні агрономічно цінної структури, забезпечують позитивний баланс гумусу в ґрунті, покращують зложення, водно-повітряний та поживний режими.

Якщо взяти групу **дерев'янистих формацій**, до якої входять шпилькові та листяні ліси, вологі субтропічні та вологі тропічні ліси, то насамперед слід звернути увагу на те, що вона існує в складному багатоярусному ценозі, коренева система дерев проникає глибоко в ґрунт, кореневих решток утворює мало - її відмерлі рештки, головним чином, наземні. У вологих лісах ця відмираюча маса довго консервується, лісова підстилка створює відносний анаеробіоз. Опад буває дуже малозольним і кислим (містить мало основ). В розкладі решток велику роль відіграють гриби. Міцелій грибів нерідко покриває всмоктуючі корені дерев, утворюючи мікоризу, з допомогою якої дерева здатні засвоювати азот та зольні елементи безпосередньо з органічних сполук ґрунту, без попередньої мінералізації їх бактеріями. Велика кількість органічних кислот, що утворюються під час розкладу лісового опаду, а також кислий (фульватний) гумус, що формується в ґрунті, інтенсивно руйнують мінерали, непитують колоїди, які в умовах низхідних потоків води вимиваються донизу.

До складу ґрунтової фауни входять найпростіші організми, безхребетні та хребетні тварини. До найпростіших (Protozoa) належать джгутикові, корененіжки та інфузорії. Ці організми живляться мікроорганізмами (бактеріями, водоростями, спорами грибів). Джгутикові та деякі інфузорії

живляться розчиненими у воді органічними речовинами. Найпростіші, як правило, належать до аеробних організмів. Вони дуже поширені в поверхневих горизонтах ґрунту. Деякі джгутикові є автотрофними організмами, але переважно вони - гетеротрофи. Роль їх у ґрунті ще повністю не виявлена. Вони здатні перетворювати складні органічні сполуки на більш прості. В ґрунтах, які багаті на органічну речовину, поширені амеби. Висловлюють думку, що поїдаючи старі бактеріальні клітини Protozoa омолоджують бактеріальні ценози, підвищуючи цим їх біохімічну активність.

В ґрунті мешкає велика кількість дощових черв'яків, мурах, личинок комах. Вони пропускають крізь свій травний тракт подрібнені органічні рештки, збагачують ґрунт екскрементами, що сприяють утворенню мікро- та макроструктури. Починаючи з Ч. Дарвіна, багато вчених відзначали велику та багатогранну діяльність дощових черв'яків у ґрунті. Своїми ходами та нірками вони покращують фізичні властивості ґрунту: пористість, аерацію, водопроникність. Там, де багато копролітів (екскрементів дощових черв'яків) - вміст гумусу значно вищий, збільшується сума ввібраних основ та зменшується кислотність. Самі копроліти - водотривкі структурні агрегати. Дощові черви здатні пропускати через свій організм до 25 т/га ґрунту на рік. Екскременти черв'яків багаті азотом, фосфором.

У ґрунті живе значна кількість комах, які роблять там численні ходи, покращуючи фізичні та водні властивості ґрунту. Вони беруть участь у подрібненні рослинних решток, збагачуючи ґрунт гумусом та мінеральними речовинами.

Хребетні тварини, особливо гризуни, риють нори в товщі ґрунту, викидаючи на поверхню значну кількість ґрунту та підґрунтя. Нори, засипані породою та ґрунтом називаються **кротовинами**. В деяких чорноземних ґрунтах землерийні тварини утворюють горизонти кротовинного лесу, в символах яких записується літера **z** (zoo).

Мікроорганізми ґрунту (бактерії, гриби, актиноміцети, водорості) входять до складу як лісових, так і трав'янистих біоценозів. За даними Е.Н.Мішус- тіна в 1 г навіть бідного ґрунту (підзолу) міститься від 0,3 до 0,6 млрд. мікроорганізмів, а в чорноземі, багатому на органічну речовину їх може бути 2-3 млрд. Загальна маса їх в орному шарі родючих ґрунтів досягає 3-5 т/га. Особливо висока кількість мікрофлори зосереджена в ризосфері - прикор- невій зоні.

Із життєдіяльністю бактерій пов'язані зміни як у мертвій органічній речовині ґрунту, так і в мінеральному складі. Кількість бактерій різко зменшується з глибиною, але навіть на глибині 2-3 м їх ще дуже багато. По відношенню до кисню повітря їх ділять на **аеробні** та **анаеробні**, а також виділяють факультативні (що проявляють життєдіяльність як при наявності, так і при відсутності кисню повітря).

За характером живлення бактерії поділяють на **автотрофні** та **гетеротрофні**. Перші з них здатні засвоювати вуглець з діоксиду вуглецю, створюючи за його рахунок органічні речовини, а другі засвоюють вуглець тільки з готових органічних сполук.

Гетеротрофні бактерії здійснюють розклад органічних решток до простих мінеральних сполук. Вони окислюють білки, жири, вуглеводи та інші компоненти рослинних та мікробних решток до аміаку, води та вуглекислоти. Серед аеробних гетеротрофів в ґрунті дуже поширені бацили (*Bac. mycoiles*, *Bac. subtilis*), а також неспорозні бактерії (*Pseudomonas fluorescens*).

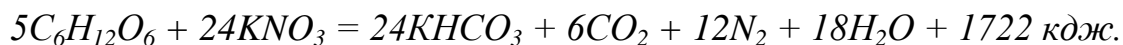
Анаеробні бактерії викликають гниття компонентів рослинних та мікробних клітин. Особливу роль для ґрунту відіграє **амоніфікація**. Цей процес передбачає розклад білків і відбувається за наступною схемою: білок - амінокислоти - NH_3 + органічні безазотисті сполуки.

Дуже поширене в ґрунтах маслянокисле бродіння вуглеводів (целюлози, пектинових речовин).

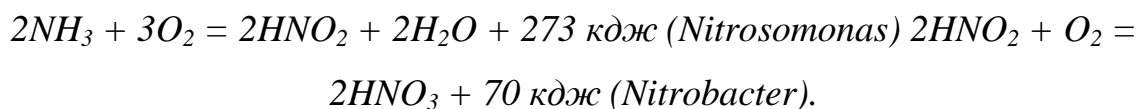


Цей процес здійснює *Clostridium pectinovorum*, *Clostridium Omelyanskii*.

В ґрунтах з поганою аерацією деякі бактерії здійснюють нітратне дихання - **денітрифікацію** (роди *Pseudomonas*, *Micrococcus*):



Аміак, що утворюється в процесі амоніфікації окислюється в ґрунті спочатку до нітратної, а потім - нітритної кислоти в дві фази:



Nitrosomonas і *Nitrobacter* були відкриті С.М.Виноградовим.

Нітрифікуючі бактерії - аероби, вони більш активні в добре аерованих ґрунтах з реакцією близькою до нейтральної, з високим вмістом органіки.

Зупинимося ще на двох важливих групах мікроорганізмів. Це **хемотрофи** - бульбочкові бактерії, виявлені в 1860 році І.С.Вороніним і виділені в чисту культуру голландським вченим Бейєрінком (*Bacterium Radicicola*), та аеробні мікроорганізми з роду *Azotobacter*, що вільно живуть у ґрунті, які теж були відкриті Бейєрінком у 1901 році. Ці організми здатні зв'язувати (фіксувати) атмосферний азот.

В ґрунті є також **променисті грибки (Actinomycetes)**, які здатні розкладати клітковину, лігнін, перегнійні речовини, а також брати участь в утворенні гумусу. Вони любляють ґрунти з нейтральною або слаболужною реакцією, багаті на органіку.

Ґрунтові гриби - сапрофітні гетеротрофні організми. Найбільш поширені серед них цвільові гриби (роди *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, тощо).

Як і бактерії, гриби здатні розкладати складні органічні сполуки до мінеральних. Після відмирання та розкладу грибів виділяється аміак, що

локально нейтралізує кислотність. В лісових ценозах при утворенні кислих підзолистих ґрунтів роль грибів дуже велика.

Водорості містять хлорофіл у своїх клітинах. Вони здатні на світлі створювати органічні речовини. Особливо багато їх може бути на поверхні ґрунту. Крім зелених в ґрунтах поширені синьо-зелені та діатомові водорості. В **слизі**, що оточує клітини водоростей, добре приживається *Azotobacter*. Синьо-зелені водорості - добрі азотфіксатори.

Лишайники складаються з гриба та водорості. Гриб забезпечує водорості водою та мінеральними речовинами, а водорості фотосинтезують вуглеводи, які використовує гриб. Деякі лишайники покривають ґрунт, особливо кам'яністі розсипища, здійснюючи первинний процес ґрунтоутворення.

Говорячи про роль організмів у ґрунтоутворенні, не слід забувати, що процеси трансформації органічної речовини відбуваються при активній участі ферментів. Головною рисою ферментів, які відрізняє їх від інших каталізаторів є специфічність реакцій.

Джерелом ферментів у ґрунті є живі організми: бактерії, актиноміцети, безхребетні тварини та рослини. Не тільки за життя, але й після відмирання тих організмів, що їх створили, ферменти ґрунту не припиняють своєї діяльності. Вплив екологічних факторів на організми ґрунту визначає і характер надходження та локалізації в ґрунті ферментів. Ферментативна активність ґрунтів зменшується у профілі з глибиною, а у верхньому горизонті вона пропорційна рівню біологічної активності ґрунту.

Потрапивши у ґрунт, частина ферментів руйнується (розкладається), а частина стабілізується (імобілізується) в результаті зв'язування мінералами ґрунту та його органічною речовиною. Це відбувається шляхом утворення іонних, водневих та ковалентних зв'язків. Основна маса ферментного фонду ґрунту перебуває у зв'язаному стані. Хоча сорбція

ферментів і веде до зниження швидкості каталітичних реакцій, вже ж вона залишається більш високою, ніж звичайних хімічних реакцій.

Організми на певній території створюють різні угруповання - **біоценози**. Коли мають на увазі рослинні угруповання - то їх називають **фітоценозами**. Але групи рослин на тій чи іншій території слід розглядати разом з відповідними сукупностями тварин, грибів, бактерій, тоді ми маємо справу зі складними біологічними асоціаціями - **біоценозами**.

В природній обстановці біоценоз є передумовою і необхідним фактором життя ґрунтів, так як і ґрунт, в свою чергу, є необхідною передумовою і фактором життя біоценозу. Біоценоз і ґрунт утворюють цілісну, нероздільну систему - **біогеоценоз**. Наукове визначення його таке: **«Біогеоценоз - однорідна ділянка земної поверхні з певним складом живих (біоценоз) та неживих (приземний шар атмосфери, сонячна енергія, ґрунт та ін.) компонентів і відповідною взаємодією між ними (обмін речовиною та енергією).**

Функціональну систему, яка включає в себе угруповання живих істот та середовище їх проживання називають ще **екологічною системою**. Так що біогеоценоз - це екологічна система. Інтеграція всіх екосистем світу утворює гігантську екосистему - **біосферу**.

Виникнення землеробства можна розглядати як унікальний факт в історії планети: вперше один з біологічних видів, частина живої речовини, забажала підпорядкувати собі сили живої речовини біосфери, організувати її по іншому. Вирубувалися ліси, розорювались луки та степи, витоптувались пасовища. В біосфері включались компенсаторні механізми, які зарубцьовували, як могли, ці рани. Коли населення планети Земля не було таким великим, то це людству вдавалося робити. В нашу епоху, на переломі 20 та 21 століть, в час індустріальної і технічної «могутності» людства техногенне навантаження на природу так зросло, що біосфері вже не під силу допомагати людині, як у минулому.

Основне протиріччя землеробської практики полягає у тому, що в природі рослини зростають в ценозах (спільнотах) з іншими рослинами, тваринами, мікроорганізмами. Але на обробленому людиною полі вирощують якусь одну культуру, хоч і в сівозміні. Вибір монокультурного шляху в розвитку землеробства був зумовлений тим, що хоча людина програвала з точки зору загальної маси рослинності, у той же час вона виграє в масі потрібної їй біопродукції (продукти харчування, корми, сировина для промисловості, тощо).

Глибока оранка плугом з обертанням скиби, відчуження продукції з поля, знищення всіх непотрібних рослин, застосування пестицидів - все це дуже порушує всі рівноваги, що склалися в біоценозі. Монокультура порушує зв'язки, що склалися в біосфері між ґрунтом та рослиною. Розуміння ґрунту як самостійного природного «створіння» до цього часу не увійшло в практику агровиробництва. Воно тільки проголошується. Біогеоценоз здатний стійко реагувати на значні коливання кліматичних умов, швидко відновлювати свій стан після порушень.

Культурне поле (агроценоз) такої здатності не має. Воно тендітне і вразливе і потребує постійного піклування людини з її «ліками» - добривами, пестицидами, обробітком. А ці ліки не що інше як «бомба сповільненої дії». За підвищенням врожайності культур, як тінь, простує виснаження ґрунтів, погіршення їх потенційної родючості. Тепер турботою землеробства стає не лише вирощування культур, захист рослин, але й охорона ґрунту від усіх факторів, що пригнічують «нормальний» процес їх життя. Основний смисл ґрунтозахисних систем полягає в тому, що ставлення до ґрунту повинно відповідати його суті як самостійного природного утворення, що розвивається за своїми законами.

Разом з утвердженням **ґрунтозахисних систем землеробства**, зароджується ідея переведення сільськогосподарського виробництва на біогеоцено- тичну основу (Н.В.Тимофєєв-Ресовський, А.Н.Тюрюканов). У цьому напрямку в Україні багато зроблено проф. М.К.Шикулою та

представниками його школи (О.Ф.Гнатенко, О.В.Демиденко, М.В.Капштик та ін.).

Людство повинно знати, розвивати й підсилювати «природні механізми функціонування» біогеоценозів, щоб хоч трохи послаблювати антагонізм з природними процесами. Прикладом екологічно узгодженого підходу може бути щорічне зростання площ під так званим **«органічним агровиробництвом»**, спрямованого на виробництво, переробку та збут сертифікованої екологічно чистої сільськогосподарської продукції у відповідності із стандартами IFOAM, FAO та ЄС, відтворення та збереження родючості ґрунтів, біорізноманіття та природного довкілля загалом.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке ґрунтовий розчин та якими показниками характеризують його стан у ґрунті?
2. Якими показниками оцінюють окислювально-відновний режим ґрунту?
3. Ґрунти з контрастним ОВ режимом та особливості взаємного впливу в них ОВ, водно-повітряного та поживного режимів.
4. Осушення (дренаж) як фактор регулювання ОВ та інших режимів гідроморфних та напівгідроморфних ґрунтів.
5. Вплив реакції середовища та ОВ потенціалу ґрунту на рухомість (доступність) рослинам макро- та мікроелементів живлення.
6. Як врахувати ґрунтові умови при розроблені системи удобрення культур?
7. Чому оптимальний режим органічної речовини є необхідною попередньою умовою, яку треба забезпечити для управління ґрунтовими режимами в цілому?
8. Розрахувати приблизно додаткову норму підстилкового гною для агростанції «Митниця» якщо з 1968 по 2008 рік вміст гумусу в орному шарі (0-30 см) зменшився від 5,14 до 3,68% при середній щільності ґрунту 1,20 г/см³.
9. Що таке антропогенне підкислення ґрунтів і як йому протидіяти?
10. Які особливості антропогенного ґрунтоутворення слід враховувати при розробці систем управління ґрунтовими режимами?

5. УПРАВЛІННЯ ТОКСИКОЗНИМ РЕЖИМОМ ҐРУНТУ

Під токсикозним режимом ґрунту Б.С. Носко та ін., [28] розуміють сукупність процесів, що обумовлюють накопичення речовин, що перевищують ГДК і спричиняють пригнічення чи загибель рослин та корисної мікрофлори ґрунту. Токсикозний режим може бути обумовленим як природними так і антропогенними чинниками (agents of soil toxicity), котрі впливають на процес ґрунтоутворення. Найбільш поширеними є такі токсичні речовини у ґрунті: водорозчинні солі, підвищена кислотність чи лужність, рухомий алюміній, надлишок обмінних катіонів Na^+ та Mg^{2+} , закисне залізо, важкі метали, радіонукліди та органічні токсини різної природи, особливо пестициди та продукти їх трансформації у ґрунті. Токсично діє на рослини і надлишковий вміст у ґрунтовому повітрі вуглекислоти, сірководню, метану, фосфіну та інших газів.

5.1. Джерела, походження і шляхи нагромадження токсичних солей в ґрунтах ґрунтів

Для нагромадження токсичних кількостей солей, необхідною умовою є наявність двох процесів - надходження вільних водорозчинних солей до ландшафтів і накопичення їх у ґрунті.

Завдяки дослідженням численних авторів встановлені основні джерела надходження солей у ґрунти. До них відносяться:

- продукти вивітрювання гірських порід;
- солі атмосферних опадів;
- соленосні ґрунтоутворні породи;
- підземні (пластові і підґрунтові) мінералізовані води.

До первинних джерел солей в земній корі відносяться:

- вулканічні і поствулканічні газоподібні викиди з лави, фумароли і магми та продукти їх трансформації;

- солі і гази, розчинені в термальних водах;
- продукти окислення деяких елементів атмосфери та окремі її гази;
- розчинні продукти вивітрювання масивних гірських порід.

Газоподібні продукти виділяються у формі:

- елементів (S, Cl), які далі окислюються або розчиняються у водах;
- оксидів (SO₃, CO, CO₂), які розчиняються у воді і перетворюються на кислоти (H₂SO₄, H₂CO₃), що реагують з породами і приєднують катіони кислот (HCl, H₂S, HBO₃);
- простих солей (NaCl, NH₄Cl).

Атмосфера є первинним джерелом лише для солей азотної і вугільної кислот. Основним за масою сучасним первинним джерелом всього різноманіття солей є процес вивітрювання масивних порід з утворенням карбонатів, сульфатів, хлоридів, боратів. Додатковим джерелом солей (циклічні солі) є їх кругообіг між океаном і континентами. Суттєвим джерелом солей є обмінні, хімічні, фізико-хімічні і біохімічні реакції при ґрунтоутворенні та процеси, що протікають в озерах.

Однією з вирішальних умов утворення сольових акумуляцій і розвитку засолених ґрунтів є тривале поєднання притоку солей у безстічні геологічні структури і сухості клімату. Солі надходили і надходять до ландшафтів такими шляхами:

- внаслідок їх розчинення в товщі осадових порід;
- завдяки вивітрюванню первинних мінералів вивержених і осадових порід;
- при вулканічних і поствулканічних процесах;
- при розвантаженні глибоких мінералізованих підземних вод;
- при підживленні морськими водами поверхневих і підґрунтових вод низинного узбережжя;
- завдяки винесення солей вітром з поверхні моря і соляних озер;
- в процесі техногенезу.

Кожний з означених шляхів надходження не викликає сумнівів, всі вони реально існують і нерідко спільно беруть участь у формуванні сольового складу порід і ґрунтів. Однак, відносна частка і форми їх участі в процесі засолення ґрунтів неоднакова на різних типах місцевості. Виникнення засолених ґрунтів обумовлене природними циклами соленакопичення у підґрунтових водах та ґрунтоутворних породах і залежить від факторів, що сприяють їх акумуляції в ґрунтах.

Акумуляція солей у горизонтах ґрунтового профілю обумовлена такими факторами:

- надходженням солей з мінералізованих підґрунтових вод;
- перерозподілом солей, що виникає у процесі вивітрювання гірських порід, під впливом поверхневих вод та їх акумуляцією в ґрунтах понижених елементів рельєфу;
- переносом солей вітром (імпульверизація) у вигляді крапель і твердих аерозолів з морів, соляних озер і поверхні солончаків;
- трансформацією нейтральних або пасивних продуктів вивітрювання у процесі ґрунтоутворення у токсичні водорозчинні сполуки;
- вторинним розчиненням солей, що містяться у ґрунтоутвірних і підстилаючих породах, прісними підґрунтовими або іригаційними видами, їх переносом і акумуляцією в горизонтах ґрунтового профілю.

Під впливом вказаних факторів формуються ґрунти різного типу і ступеня засолення.

На території України основними джерелами засолення виступають засолені ґрунтоутвірні породи і мінералізовані підґрунтові води. В багатьох випадках проявляється їх спільна дія. Імпульверизація і галофітна рослинність як джерела надходження солей проявляються локально і не відносяться до головних факторів засолення ґрунтів.

На Поліссі і у Лісостепу, в межах Дніпровсько-Донецької западини, основними джерелами солей являється солі підземних куполів і циркулюючих підземних вод. Солі куполів по тектонічних розломах

переносяться циркулюючими підземними водами до підґрунтових вод, які і стають безпосередньою причиною засолення ґрунтів. Про це свідчить співпадання границь поширення содового засолення ґрунтів північного Лісостепу із заляганням бучацько-канівського гідрокарбонатно-натрієвого водоносного горизонту, а в південному Лісостепу - область змішаного засолення співпадає з територією поширення підґрунтових вод гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатно-натрієвого складу.

В даному регіоні відповідне значення має і континентальне соленакопичення - надходження солей, що утворилися у процесі вивітрювання порід Харківського ярусу, та солей, що утворилися при дії прісних гідрокарбонатно-кальцієвих вод на осадові породи. Поява двовуглекислої соди (Na_2CO_3) в підземних водах обумовлена фізико-хімічними реакціями, при яких увібраний натрій порід витісняється йонами кальцію прісних вод та процесом сульфатредуктації.

Джерела утворення солей у ґрунтах зони Сухого Степу більш різноманітні. Це обумовлено тим, що Причорноморська низовина, примикаючи до акваторії Чорного і Азовського морів несе сліди складної геологічної історії Причорномор'я і сучасного впливу морського басейну. Тут основними джерелами засолення виступають солі, які містяться у морській воді, морських сучасних і давніх відкладах та солі підґрунтових вод, що місцями зв'язані з напірними мінералізованими підземними водами.

Солі містяться у лиманно-морських і морських відкладах та надходять безпосередньо з морської води при періодичному затопленні низьких морських берегів (нагонні течії). Надходять вони і підземним шляхом. Звичайно ґрунтовий потік рухається з суші в море, але місцями спостерігається зворотне явище - морські води проникають (до 2-7 км, а інколи і далі) вглиб материка. Це призводить до збагачення ґрунтів прибережних територій морськими солями.

Суттєвим джерелом солей для приморської рівнини є їх імпульверизація. Вздовж Сиваша, Чорного і Азовського морів простяглася смуга низовинного узбережжя, зайнята приморськими солончаками. Сольовий пил захоплюється, транспортується і перевідкладається на поверхню прилеглих земель. Спостереженнями встановлено, що кількість випадючого солоного пилу в районі заповідника Асканія-Нова (Херсонська обл.) становить 300-340 кг/га на рік, а в більш віддалених місцях (Миколаївська обл.) - до 180 кг/га на рік.

У Причорномор'ї солі надходять до ґрунтів із підземних джерел. На відміну від Дніпровсько-Донецької западини тут підземні сольові куполи відсутні. Однак, в четвертинній товщі у відкладах більш давнього віку, залягають мінералізовані підземні води. Крім того, солі містяться і в породах - морських сарматських і майкопських глинах та четвертинних лесових відкладах, які в даному регіоні являються ґрунотвірними.

Отже, основними джерелами солей в Сухому Степу (Причорноморська западина) є морські і засолені підґрунтові води, осадові засолені породи і солі, що приносяться вітром з узбережжя моря.

За останні 3-4 десятиріччя ХХ століття природні умови ґрунтоутворення у Південному та Сухому Степах України зазнали значних змін. Зміни обумовлені переважно двома факторами - підвищеним атмосферним зволоженням і широким розвитком іригації, що виклало помітну зміну екологічної ситуації, а саме - зміну рівня підґрунтових вод, від якого залежить напрям процесів соленакопичення та осолонцювання ґрунтів.

Кліматологічні спостереження свідчать, що на території України протягом останніх десятиріч минулого століття і в теперішній час відбуваються значні зміни атмосферної циркуляції повітря, що проявляється в різких коливаннях випадючих атмосферних опадів. Вже в семидесяті роки ХХ століття підвищене атмосферне зволоження відзначалось метеостанціями півдня України протягом 5-7 років з восьми.

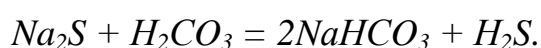
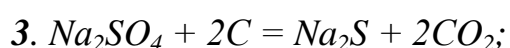
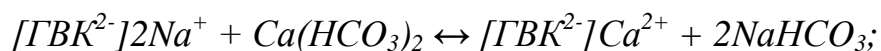
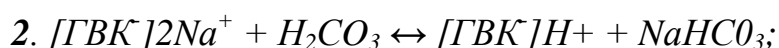
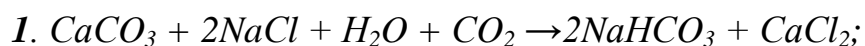
Рясні опади на територіях з неглибоким заляганням підґрунтових вод викликали підняття їх рівня, а за наявності мінералізованих підґрунтових вод - засолення ґрунтів.

Створення в Україні каскаду великих штучних водосховищ на Дніпрі, спорудження потужних іригаційних систем і зрошення на площі понад 2,3 млн.га суттєво вплинули на рівень підґрунтових вод і екологічний стан навколишнього середовища. Водосховища створені на найбільш низьких територіях лівобережжя Дніпра, переважно на заплавних терасах і його притоків. До вводу їх у дію підземний стік підґрунтових вод був направлений до русла Дніпра. За роки експлуатації Краснознам'янської зрошувальної системи і Каховського водосховища неогенові підземні води піднялися, що викликало підвищення рівня підґрунтових вод, особливо на самих низьких ділянках рельєфу.

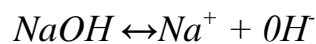
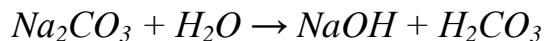
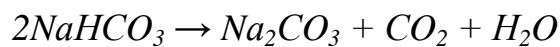
Через це у південних районах України на ряді зрошувальних систем спостерігалось швидке підвищення рівня підґрунтових вод - до 0,5-1 м в рік. Це призвело до вторинного засолення ґрунтів на значних територіях.

Суттєвого впливу на солонцеві ґрунти завдали рисові системи. На фоні штучного дренажу зрошувальні води нерідко використовуються у великих нормах (20-30 тис.м³/га). Внаслідок цього посилилось вилуговування розчинних речовин з ґрунту і відбулися глибокі зміни його складу, властивостей та родючості загалом.

Найбільш токсичною водорозчинною сіллю є сода. Існує декілька шляхів утворення соди в ґрунті - хімічний, колоїдально-хімічний та біохімічний



Гідрокарбонат натрію, який утворюється під час зазначених реакцій, може переходити у карбонат натрію, який при взаємодії з водою дає їдкий натрій, тобто іони OH^- .



Біохімічний процес утворення соди в ґрунті відбувається за участю сульфатредуктуючих бактерій. Вона негативно впливає на ріст і розвиток сільськогосподарських культур. При вмісті її в ґрунті 0,005% рослини починають в'янути і гинути.

Поряд з натрієвими солонцями значні площі займають **магнієві (мало-натрієві) солонці**. Особливість цих ґрунтів полягає у високому вмісті у ГВК увібраного магнію (до 50% від МКО) при незначному вмісті увібраного натрію. Магнієві солонці мають всі ті ж негативні властивості, що і натрієві.

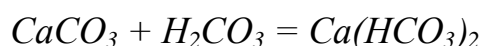
Усунення надмірної лужності і ліквідація негативних властивостей солонців і солонцевих ґрунтів - основне завдання хімічної меліорації. З цією метою застосовують гіпсування. Як меліоруючі засоби використовують гіпс і різні гіпсовмісні відходи промисловості та речовини кислотного характеру. Застосування кислих промислових відходів, усуваючи надлишкову лужність ґрунтів, сприяє одночасно їх утилізації і може вважатися як складова частина безвідходного виробництва у промисловості.

Хімічний склад водорозчинних солей різноманітний. Найбільш поширеними в засолених ґрунтах України є солі соляної, сірчаної і вугільної кислот - хлориди, сульфати і карбонати кальцію, магнію та натрію, які за відповідного вмісту викликають пригнічення росту і розвитку або навіть загибель рослин.

Карбонати (солі вугільної кислоти) дуже поширені в ґрунтах, ґрунтоутворних породах і підґрунтових водах сухостепової, степової і

лісостепової зон України. Їх роль у засоленні ґрунтів і токсичності для рослин залежить від типу карбонату, його кількості і ступеня розчинності.

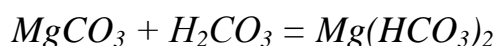
Карбонат кальцію (CaCO_3) - характеризується надто низькою розчинністю (0,065 г/л). У присутності вуглекислоти в результаті утворення бікарбонату кальцію розчинність зростає до 166 г/л. Реакція відбувається за схемою:



Карбонат кальцію, як сіль сильної основи і слабкої кислоти, чинить лужну гідролізуючу дію, а його розчини за відсутності вугільної кислоти набувають високої лужності (рН 10-10,2). Присутність CO_2 в порах ґрунту знижує лужність розчину до рН 7,5-8,5. Через низьку розчинність карбонат кальцію не спричиняє шкоди більшості сільськогосподарських культур. Він не дає ні осмотично, ні токсично небезпечних концентрацій. Проте рослини, адаптовані до кислих ґрунтів (озиме жито, картопля, льон, полин), повільніше розвиваються і не дають високих врожаїв на ґрунтах з високим вмістом CaCO_3 .

Річкові і підґрунтові води містять значну кількість карбонатів кальцію. При високому рівні підґрунтових вод CaCO_3 накопичується в ґрунті за рахунок випаровування і транспірації. В посушливих умовах вміст карбонату кальцію досягає 10-20%. Ґрунти, які містять суцільні прошарки CaCO_3 , зцементовані і непроникні для коренів і води.

Карбонат магнію (MgCO_3) має більшу розчинність (1,29 г/л) порівняно з карбонатом кальцію. Завдяки утворенню бікарбонату магнію розчинність зростає до 190 г/л. Реакція відбувається за схемою:



В результаті гідролізу лужного типу утворюються розчини з рН 10-11. Присутність карбонату магнію в ґрунтах може чинити негативну дію на рослини, утворюючи сполуки у формі подвійного бікарбонату ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) або конкрецій. Проте, вільний MgCO_3 в ґрунті

зустрічається рідко, оскільки іон магнію адсорбується ґрунтовим вбирним комплексом.

Карбонат натрію (Na_2CO_3) добре розчинний у воді (178 г/л при температурі 20°C). Відрізняється гідролізом лужного типу і утворює ґрунтові розчини з рН понад 12. Внаслідок високої лужності і доброї розчинності дуже токсичний для рослин. Наявність в ґрунті цієї сполуки викликає пептизацію колоїдів, руйнування структури і зниження водо- та повітропроникності, не піддається промиванню. Вміст вуглекислого натрію у кількості 0,05-0,1% знижує родючість ґрунту.

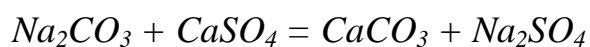
Бікарбонат натрію (Na_2HCO_3) менш розчинний, ніж карбонат натрію (99 г/л). В меншій мірі лужний і токсичний, внаслідок часткової нейтралізації вугільною кислотою. Утворюється бікарбонат натрію при взаємодії нормальної соди з вугільною кислотою за схемою:



Процес утворення бікарбонату натрію прискорюється при збільшенні вмісту CO_2 у ґрунтовому повітрі в умовах інтенсивного розкладу органічної речовини ґрунту і низької температури. Можливий і зворотній процес. Бікарбонат натрію легко перетворюється на карбонат при зменшенні вмісту CO_2 у ґрунтовому повітрі, при низькій мікробіологічній активності, низькому вмісті органічних речовин і підвищеній температурі ґрунтового розчину. Реакція проходить за схемою:



Подібні умови можуть створюватись у каштанових ґрунтах Сухого Степу, однак високий вміст Na_2CO_3 в них зустрічається дуже рідко через наявність гіпсу, у присутності якого сода перетворюється у карбонат кальцію. Реакція відбувається за схемою:



У солонцях і солончаках вміст соди може досягати 5%. В результаті зниження розчинності при температурі нижче 8°C і низької водопроникності цих ґрунтів вимивання соди в холодний і вологий

період року невелике. Завдяки цим властивостям карбонати і бікарбонати натрію накопичуються в ґрунті.

При випаровуванні підґрунтових вод, які містять карбонат натрію, в ґрунті осаджуються і накопичуються кристали подвійної солі $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (трони). Остання, маючи високу розчинність, підвищує лужність ґрунтового розчину до рН 9-10.

Річкові і підґрунтові води на Поліссі та Лісостепу мають концентрацію солей 0,5-3 г/л, з підвищеним вмістом карбонату натрію. Тому ґрунти, які формуються за участю таких вод, мають лужну реакцію.

Карбонат калію (K_2CO_3) - зустрічається в ґрунтах значно рідше карбонату натрію. Має значну розчинність (1110 г/л) і характеризується властивостями близькими до соди: гідролізом лужного типу і високою лужністю ґрунтового розчину, що є токсичною для рослин; пептизує ґрунтові колоїди і руйнує структуру ґрунту.

Сульфати (солі сірчаної кислоти) присутні у різній кількості майже в усіх типах ґрунтів.

Сульфат кальцію (CaSO_4) - важкорозчинна сіль (1,76 г/л), у великих кількостях міститься в ґрунтах і ґрунтотворних породах сухостепової зони України. Накопичується у вигляді гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), що кристалізується у різноманітних формах: у вигляді тонких прозорих кристалів, включень, конкрецій, платівок. Для рослин фізіологічно не шкідливий.

У ґрунтах з високим вмістом гіпсу формуються суцільні гіпсові горизонти у вигляді ущільненої маси. Це обумовлює їх сильну зцементованість і, як наслідок, зупиняє проникнення коренів, води і повітря.

За особливо сухих кліматичних умов гіпс збезводнюється, перетворюючись на борошністу масу напівгідрату (CaSO_4). Разом із хлоридами гіпс та інші сульфати присутні в засолених ґрунтах півдня України. Гіпс широко використовують для меліорації солонців і солонцевих ґрунтів, які містять соду.

Сульфат магнію (MgSO_4) – типовий компонент засоленних ґрунтів. Через високу розчинність (700 г/л) він є однією з найбільш токсичних для рослин солей. У вигляді епсоміту ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) міститься у підґрунтових водах і солених озерах півдня України і північної частини Криму. Сульфат магнію ніколи не накопичується в ґрунті у чистому вигляді, а тільки у сполученні з іншими легкорозчинними солями. Ґрунти, які містять у своєму складі сульфат магнію, відносяться до низькопродуктивних.

Сульфат натрію (Na_2SO_4) – типовий компонент засоленних ґрунтів, підґрунтових вод і соляних озер. Токсичність його у два-три рази менша, ніж сульфату магнію, а ступінь розчинності (529 г/л) змінюється прямо пропорційно температурі. З цієї причини сульфат натрію в теплий період року разом з іншими водорозчинними солями (MgSO_4 , MgCl_2 , NaCl) мігрує по профілю до поверхні ґрунту, в той час як у холодні періоди через понижену розчинність він є нерухомий і не вимивається низхідними токами води.

Осаджуючись, сульфат натрію утворює прозорі кристали мірабіліту ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). В міру підвищення температури мірабіліт дегідратується, перетворюючись у білий пил тенардиту (Na_2SO_4). Іноді сульфат натрію кристалізується разом з сульфатом кальцію і утворює глауберит ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$), який накопичується у вигляді пухкого пилу на поверхні солончаків.

Сульфат калію (K_2SO_4) - має аналогічні властивості з сульфатом натрію, але його токсичність, у зв'язку з меншою розчинністю (100 г/л) набагато нижча.

Хлориди - солі соляної кислоти також нерідко накопичуються у ґрунтах південних широт. Вони разом з сульфатами належать до найбільш поширених солей, які входять до складу засоленних ґрунтів і соляних озер. Характеризуються високою розчинністю (342-745 г/л) і токсичністю. Хлориди найчастіше зустрічаються на території узбережжя Сиваша, Чорного і Азовського морів.

Хлорид кальцію (CaCl_2) - рідко зустрічається в ґрунтах у присутності Na_2SO_4 і Na_2CO_3 . Він легко осаджується і переходить у CaSO_4 , CaCO_3 . Тому хлориди кальцію знаходяться в ґрунтах і водах соляних озер лише в дуже високих концентраціях (400-550 г/л). Значних концентрацій досягає його вміст у глибокозалягаючих підземних водах. Хлорид кальцію дуже токсичний для рослин, хоча поступається за даною характеристикою хлоридам магнію і натрію.

Хлористий магній (MgCl_2) зустрічається в засолених ґрунтах, підґрунтових водах і соляних озерах частіше за хлорид кальцію. Накопичується у значних кількостях в умовах сильної засоленості. Володіючи високою розчинністю (до 1600 г/л) хлорид магнію сильно токсичний для рослин. У поверхневих горизонтах сильнозасолених ґрунтів і солончаків він утворюється і накопичується внаслідок обмінних реакцій між ґрунтовим розчином, збагаченим хлоридом магнію і ґрунтовим вбирним комплексом.

Хлористий магній - сіль з високою гігроскопічністю і, навіть при низькій температурі, вона поглинає пароподібну вологу з водяної пари атмосфери. За таких умов кристалічні осади хлористого магнію швидко розчиняються і перетворюються на концентрований розчин. Тому ґрунти, що містять на поверхні MgCl_2 , тривалий час після дощу залишаються вологими або вбирають росу (мокрі солончаки). Ґрунти з високим вмістом хлористого магнію дуже важко піддаються освоєнню.

Хлористий натрій - галіт (NaCl) - постійний і найбільш розповсюджений компонент засолених ґрунтів півдня України. Висока його розчинність (357 г/л) зумовлює високу токсичність для більшості рослин. За вмісту 0,1% у рослин порушується нормальний розвиток, а ґрунти з вмістом хлористого натрію 2-5% вважаються непридатними для вирощування сільськогосподарських культур.

Хлористий калій - сильвін (KCl) - утворюється при осадженні у водоймах, басейнах, розташованих в районах із спекотним і сухим кліма-

том, часто поруч з галітом. За властивостями (розчинність 342 г/л) дуже близький до хлористого натрію, однак в засолених ґрунтах у значних кількостях зустрічається рідко. При високій концентрації токсичність КСІ така ж висока, як і у NaCl. Родовища хлористого калію використовують для виробництва калійних добрив.

Нітрати - солі азотної кислоти (HNO_3) в різній кількості присутні в усіх ґрунтах. Вони мають високу розчинність (KNO_3 - 316 г/л; $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ - 678; NaNO_3 - 880; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 1260 г/л), не сорбуються ґрунтом і тому їх вміст як правило не перевищує 0,05%. Завдяки цьому нітрати не відносяться до токсичних для рослин солей. Проте нітрати легко вимиваються водами поверхневого стоку, мігрують по профілю ґрунту до підґрунтових вод, спричиняючи їх забруднення. Значна кількість нітратів потрапляє до водойм, викликаючи їх евтрофікацію, відмирання фауни, погіршення питних і технічних якостей води.

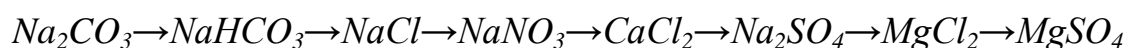
Підвищений вміст нітратів у ґрунті спричиняє інтенсивне накопичення їх у рослинах, які з їжею надходять до організму людини. Внаслідок бактеріальних перетворень нітрати трансформуються у нітрити та нітрозаміни, що викликають метабемоглобінею - хворобу, що може переходити в рак і призводити до летального кінця.

Борати - солі метаборатної (HBO_3) і ортоборатної (H_3BO_3) кислот. Їх утворення і накопичення пояснюється вивітрюванням турмаліну, який присутній у вулканічних породах. Скупчення бору в ґрунтах спостерігаються поблизу вулканів. Навіть в дуже незначній концентрації бор високотоксичний для рослин.

Борнокислі солі володіють достатньою розчинністю і рухомістю. Основними солями, що беруть участь в процесах засолення ґрунтів, є бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), борацит ($\text{Mg}_7\text{C}_2\text{B}_{16}\text{O}_{30}$), солеманіт ($\text{Ca}_2\text{B}_9\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), боронатрокальцит ($\text{Ca}_2\text{B}_9\text{O}_{11} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$).

У ґрунтах багато й інших солей. Однак, у більшості випадків їх вміст настільки малий, що не викликає засолення ґрунтів. Крім того, навіть при високому вмісті, як показано раніше, не всі солі шкідливі для рослин.

За ступенем токсичності для сільськогосподарських культур легко-розчинні солі можна розташувати у зменшуваний ряд:



Так, якщо умовно шкідливість Na_2SO_4 прийняти за одиницю, то у інших солей вона буде дорівнювати: $NaHCO_3$ - 3; $MgSO_4$ і $MgCl_2$ - 3-5; $CaCl_2$ - 5-6, а у соди Na_2CO_3 - 10. Шкідлива дія хлоридів і сульфатів починає проявлятися при концентрації 0,1% від маси ґрунту; при вмісті 0,3-0,5% культурні рослини нормально не розвиваються. Найбільш шкідливою є нормальна сода. Максимально допустима межа її вмісту в ґрунті становить 0,005%, а при більшій кількості - рослини гинуть.

Міграційна здатність солей залежить від їх розчинності у воді. Чим вона більша, тим швидше і на більшу відстань мігрують солі.

Малорозчинні солі - вуглекислий кальцій і магній, доломіт при випаровуванні ґрунтових і підґрунтових вод швидко утворюють насичені розчини, випадають в осад і акумулюються в породах і ґрунтах. Вони не можуть мігрувати на далекі відстані від місця утворення.

Вищу міграційну здатність має гіпс, особливо у суміші з іншими солями. Так, при наявності в розчині хлоридів ($NaCl$, $MgCl_2$) розчинність гіпсу збільшується з 1,76 до 10-15 г/л. Розчинність гіпсу у 27 разів вища, ніж вуглекислого кальцію, тому у природі зони їх акумуляції розміщені окремо. Проте, у багатьох випадках $CaSO_4$ і $CaCO_3$ концентруються в одних і тих же ґрунтах (чорноземах, каштанових, солонцях).

Значно вищою розчинністю наділені вуглекислі і сірчаноокислі солі натрію та кальцію. Їх міграційна здатність набагато більша. Тому вони переносяться на дальші відстані і просторово розділяються з карбонатами і сульфатами калію.

Особливо велику розчинність мають хлориди магнію і кальцію, а також нітрати натрію, кальцію і калію. Маючи надзвичайно високу міграційну здатність, вони акумулюються на значних відстанях від місця утворення. Нітратні солі формують розчини високої концентрації і відповідно ґрунти з високим ступенем засолення.

Розчинність окремих солей змінюється залежно від умов середовища (температури розчину) і наявності чи відсутності супутніх солей, які підвищують або знижують їх розчинність. Так, розчинність хлористого натрію мало змінюється в залежності від температури розчину. Тому хлористий натрій характеризується високою міграційною здатністю незалежно від періоду року, як в теплих, так і холодних ґрунтово-кліматичних умовах.

Провідну роль у перерозподілі солей в ґрунтах України відіграє гідрологічний фактор, найбільш важливими елементами якого виступають: глибина, ступінь мінералізації, хімічний склад і стік підґрунтових вод. Солі осадових порід мігрують з водою, перерозподіляються і накопичуються у понижених формах рельєфу. У процесі міграції частина води втрачається на інфільтрацію і випаровування, а солі, що досягли порогу насиченості, осаджуються у делювіях, пролювіях, конусах виносу, терасах, дельтах, улоговинах. Так відбувається гідроморфне накопичення солей в ґрунтово-ворних породах і ґрунтах.

Гідроморфне засолення ґрунтів відбувається повільно. При низькій дренажності території і високому рівні залягання мінералізованих підґрунтових вод солі крізь капілярно-плівкову мережу надходять у профіль ґрунту.

Поряд з вертикальним висхідним і низхідним сезонним пересуванням легкорозчинних солей значна роль належить їх міграції в ландшафті по ухилу місцевості. Дощові і снігові води у вигляді делювіальних і пролювіальних потоків щорічно зносять з позитивних елементів рельєфу

частки ґрунту, колоїди і легкорозчинні солі, що потім відкладаються у понижених місцях.

Велику роль у перерозподілі солей відіграє внутрішньогрунтовий бічний стік. Водонепроникні підґрунтові горизонти затримують низхідні токи вологи, накопичують гравітаційні води («верховодка»), які починають повільно стікати вздовж ухилу місцевості по поверхні водонепроникного горизонту, розчинюючи і відносячи за собою солі.

Ще більшу роль у горизонтальному перерозподілі солей відіграє місцевий потік тимчасових підґрунтових вод. Верхній шар підґрунтових вод тісно пов'язаний з ґрунтом і своїм хімічним складом формує напрямок процесу засолення.

Вуглекислий і сірчаноокислий натрій характеризуються високою розчинністю при температурах 20-30°C, яка різко спадає при 10°C і, особливо, при нульових і від'ємних температурах. Це обумовлює швидке перенасичення підґрунтових вод і ґрунтових розчинів сірчаноокислими і вуглекислими солями натрію, що випадають в осад і відокремлюються від хлоридів.

Міграційна здатність солей залежить і від їх здатності до взаємодії. Солі, що є хімічно пасивними і не реагують одна з одною, володіють найбільш високою міграційною здатністю. Вони залишаються в розчині і переміщуються ґрунтовими, підґрунтовими і поверхневими водами на значні відстані. До таких солей відносять хлористий натрій і сірчаноокислий магній.

Звичайно солі мігрують у ґрунтових розчинах і підґрунтових водах у вигляді сумішей. Наявність одних компонентів підвищує або знижує розчинність інших. Так, хлористий натрій суттєво підвищує розчинність вуглекислого кальцію, а при високих концентраціях сульфату натрію зменшується розчинність сірчаноокислого кальцію.

Вуглекислий і сірчаноокислий кальцій різко змінюють розчинність залежно від реакції середовища, температури та кількості вуглекислоти у

грунтовому повітрі і розчині. Підвищення парціального тиску вугільної кислоти або зниження температури середовища, різко збільшує розчинність вуглекислого кальцію. Присутність в розчинах нормальної або двовуглекислої соди різко знижує розчинність вуглекислого кальцію і посилює його осадження, майже до повного зникнення в розчині.

Зміни розчинності солей залежно від температури і присутності тих, чи інших компонентів обумовлюють просторову диференціацію їх хімічного складу в підґрунтових водах, наносах і ґрунтах. Підґрунтові води, переміщуючись по схилу місцевості від вододілів у балки, заплави і річки виносять у розчинній формі солі, що раніше сюди потрапили. Чим більше випадає опадів, тим більше води інфільтрується ґрунтом і відповідно зростає винесення розчинних солей підґрунтовими водами. Там, де підґрунтові води наближаються або виходять на денну поверхню і витрачаються на випаровування, у великих кількостях накопичуються принесені ними солі. Горизонтальний перерозподіл солей з сезонним рухом розчинів є однією з причин глибоких відмінностей між ґрунтами вододілів, терас і низовинних ділянок.

На перерозподіл солей по профілю ґрунту впливає і рослинність, яка, володіючи вибірковою вбирною здатністю, засвоює необхідні катіони і аніони з нижніх горизонтів ґрунту. При розкладі рослинних решток солі відкладаються у верхньому шарі ґрунту та на його поверхні. Це викликає зміну складу солей верхніх і нижніх горизонтів ґрунту.

За характером розподілу солей у ґрунтовому профілі можна визначити стадію засолення і меліоративний стан ґрунту. С.О.Владиченський виділяє чотири типи розподілу солей:

- різко виражений максимум солей у верхньому горизонті; глибше - вміст солей невисокий; профіль солончаку не глибокий; ґрунт знаходиться на початковій стадії засолення;

- солі в значній кількості по всьому профілю з максимумом у верхній частині; профіль солончаку глибокий; ґрунт знаходиться в стадії прогресивного засолення;

- солі в значній кількості по всьому профілю; декілька сольових максимумів; формування ґрунтів відбулось при тривалих періодах засолення, які змінювались періодами розсолення;

- солі по всьому профілю з максимумом в нижніх горизонтах; ґрунт знаходиться в стадії розсолення.

Про меліоративний стан засолених ґрунтів можна судити за співвідношенням хлоридів і сульфатів в ґрунтах і підґрунтових водах. Ці аніони характеризуються різною міграційною здатністю. Хлор-йони більш активні мігранти, ніж сульфат-йони. При міграції в ґрунтового профілі хлориди випереджають сульфати. Завдяки цьому, співвідношення хлоридів до сульфатів у ґрунті та підґрунтових водах можна використовувати для оцінки напрямку процесу засолення. Якщо співвідношення хлоридів до сульфатів у поверхневих шарах ґрунту вище, ніж в підґрунтових водах, то ґрунт знаходиться в стадії прогресуючого засолення. Якщо це співвідношення більше в підґрунтових водах, а в ґрунті накопичуються сульфати - то можна говорити про початок розсолення, залишкове або проміжне засолення.

Про меліоративний стан зрошуваних засолених ґрунтів можна судити за результатами морфологічних досліджень. Так, каштановим ґрунтам в умовах природного зволоження властивий наступний розподіл сольових горизонтів: карбонатний горизонт з білозіркою, глибше - гіпсовий; далі - горизонт легкорозчинних солей. Тому, якщо горизонти з більш розчинними солями залягають над горизонтами з менш розчинними солями, наприклад горизонт гіпсу розташовується над горизонтом карбонатів, то це свідчить, що в ґрунті процес засолення прогресує.

При всій різноманітності процесів руху солей з підґрунтових вод до ґрунту, вони відкладаються у вигляді осаду згідно з певною послідовністю.

Першими відкладаються карбонати кальцію, потім сульфати натрію і магнію, далі хлориди натрієво-магнієвих солей і останніми, подекуди, нітрати натрію.

В міру зменшення концентрації розчинів і випадання менш розчинних солей із збільшенням мінералізації змінюється склад підґрунтових вод і ґрунтових розчинів: відносно зростає частка сульфатів, а потім хлоридів натрію, магнію і кальцію.

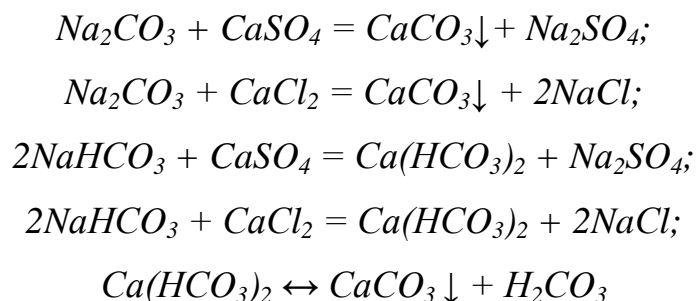
Підґрунтові води збагачуються солями в зонах живлення і транзиту за рахунок розчинення солей, що утворились при вивітрюванні первинних мінералів і солей, що накопичилися в минулому в осадових породах і континентальних наносах. При початковій стадії за низької мінералізації підґрунтових вод і активному водообміні перехід солей з твердої фази до розчину відбувається у певній послідовності, у відповідності із розчинністю.

Найбільш інтенсивно розчиняються і надходять у підґрунтові води хлориди лужних і лужноземельних елементів та сульфати магнію, за ними -сульфати і карбонати натрію та калію. Значно слабше відбувається розчинення і винос гіпсу і, особливо, карбонатів кальцію та магнію. Ще в меншій мірі розчиняється кремнезем. Стосовно випадання солей в осад, то в областях транзиту і розвантаження підґрунтових вод, воно відбувається у зворотньому порядку. Інтенсивність водної міграції макроелементів суттєво змінюється при зміні кислотно-лужних умов, та вмісту елементів з перемінною валентністю - окисно-відновних умов.

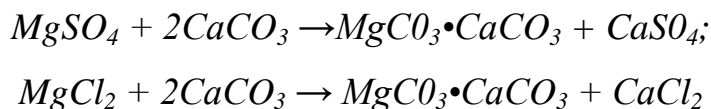
Підґрунтові води, збагачені легкорозчинними солями, діють на породи як сольові розчини, підвищуючи або знижуючи розчинність солей, що знаходяться в твердій фазі. Наприклад, розчинність гіпсу зростає при збільшенні концентрації у водах NaCl , MgCl_2 , NaNO_3 , тобто солей, що не мають з CaSO_4 однойменних іонів. Навіть, при незначному вмісті у підґрунтових водах Na_2SO_4 і MgSO_4 розчинність гіпсу знижується, а розчинність CaCO_3 зростає.

Мінералізація і хімічний склад солей підґрунтових вод при їх рухові від зони живлення до областей розвантаження змінюється ще до початку концентрації вод внаслідок випаровування. Вони збагачуються солями, що надходять з водовмісних порід і глибоких підземних вод, але втрачають частину розчинних в них компонентів при обмінних реакціях солей в розчині, взаємодії розчинених солей з водовмісними породами або при змішуванні з водами іншого хімічного складу.

Так, змішування содових вод з водами, що містять сульфати і хлориди кальцію, супроводжується зменшенням лужності та зростанням вмісту сульфатів і хлоридів натрію:

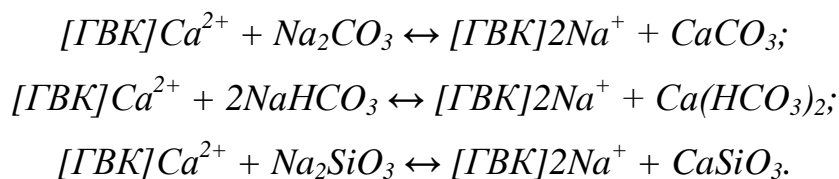


Відомі реакції незворотного зв'язування розчиненого у воді магнію карбонатами кальцію водовмісних порід з утворенням доломіту:



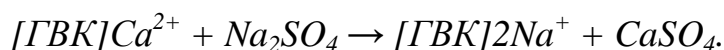
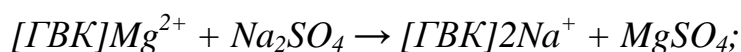
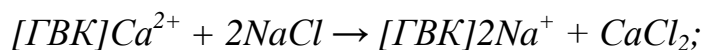
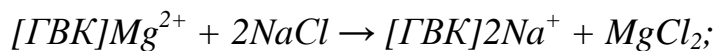
Реакції зв'язування магнію сірчаноокислих солей з доломітизацією порід супроводжуються їх огіпсовуванням.

Між катіонами солей, що містяться у підґрунтових водах і увібраними катіонами відбуваються реакції фізико-хімічного вбирання та обміну. Так, при взаємодії лужних вод з породами, що містять увібраний кальцій, мають місце такі реакції:

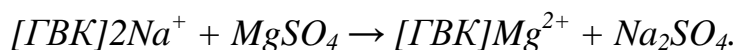
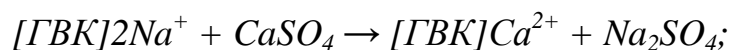


Входження катіону натрію у вбирний комплекс супроводжується появою в породах солонцевих властивостей (ущільнення, зниження

водопроникності, сильною здатністю до набрякання). У дуже мінералізованих підґрунтових водах з великим вмістом хлоридів і сульфатів натрію обмінні реакції між підґрунтовими водами і породами проходять переважно в бік насичення останніх увібраним натрієм:



Внаслідок подібних обмінних реакцій сильно мінералізовані підґрунтові води набувають сульфатно-хлоридно-кальцієво-магнієвого складу. Можуть проходити і зворотні реакції витіснення увібраного натрію, якщо підґрунтові води містять розчинні кальцієві і магнієві солі:



Цей процес поширений у водоносних горизонтах з хлоридно-сульфатними або сульфатно-хлоридними підґрунтовими водами помірної мінералізації. В областях з високою випаровуваністю з наближенням підґрунтових вод до поверхні, до хімічного зв'язування, фізико-хімічного вбирання і обміну додається також процес перетворення розчинних солей на осад внаслідок досягнення кристалізаційної концентрації.

Згідно із дослідженнями В.А.Ковди, кристалізаційна концентрація солей у підґрунтових водах починає проявлятися на глибині 3,5-4,0 м їх залягання і посилюється з глибини 2,8-3,0 м. У капілярній торочці, над підґрунтовими водами випаровування зростає і набуває максимуму в товщі ґрунту. Залежно від глибини залягання підґрунтових вод і водопідйомної здатності ґрунтоутворних порід і ґрунтів повне випаровування розчинів і випадання солей в осад настає в середині ґрунтового профілю або на поверхні ґрунту.

5.2. Встановлення типу і ступеня засолення ґрунтів

У зв'язку з тим, що різні солі неоднаково токсичні для рослин, засолені ґрунти розрізняють за складом солей. Перш, ніж встановити ступінь засолення ґрунту, необхідно визначити хімізм (тип) засолення. Останній визначається аналізом водних витяжок і заснований на співвідношенні аніонів та катіонів. Класифікація ґрунтів за хімізмом засолення, розроблена інститутом ґрунтознавства ім. В.В. Докучаєва, наведена в табл. 48.

У водній витяжці можуть бути присутні такі солі: легкорозчинні - NaCl, Na₂SO₄, Na₂CO₃, NaHCO₃, MgCl₂, CaCl₂, MgSO₄, слабкорозчинні – CaSO₄, MgCO₃, Ca(HCO₃)₂, важкорозчинні – CaCO₃. До токсичних відносяться всі легкорозчинні солі, а з слабкорозчинних – MgCO₃; до нетоксичних - всі слабо- і важкорозчинні солі. Тому дуже важливо встановити, яких та скільки токсичних і нетоксичних солей містить ґрунт.

Розрахунки вмісту токсичних солей за даними аналізу водної витяжки проводять наступним чином. До токсичних відносяться: іони Na⁺, Mg²⁺, Cl⁻, CO₃²⁻; іони SO₄²⁻ та HCO₃⁻ зв'язні з Na⁺ та Mg²⁺; іони Ca²⁺, зв'язні з Cl⁻. Залежно від складу водної витяжки можливі такі варіанти розрахунку токсичних іонів:

1. Якщо вміст іона HCO₃⁻ менше Ca²⁺, а вміст Ca²⁺ менше SO₄²⁻, то розраховують лише токсичний іон SO₄²⁻, зв'язаний з Na⁺ та Mg²⁺ за формулою:

$$SO_4^{2-} \text{ токс} = (Na^+ + Mg^{2+}) - Cl^- ,$$

Наприклад, за даними водної витяжки вміст іонів становить: HCO₃⁻ - 0,44 мг-екв; Cl⁻ - 5,38; SO₄²⁻ - 5,99; Ca²⁺ - 2,30; Mg²⁺ - 1,65; Na⁺ - 7,86 мг-екв на 100 г ґрунту.

$$SO_4^{2-} \text{ токс} = (7,86 + 1,65) - 5,38 = 4,13 \text{ мг-екв.}$$

Кількість токсичних іонів у витяжці така: Cl^- - 5,38; SO_4^{2-} - 4,13; Mg^{2+} - 1,65; Na^+ - 7,86 мг-екв.

2. Якщо вміст HCO_3^- менше Ca^{2+} , а Ca^{2+} більше SO_4^{2-} , розраховують токсичний Ca^{2+} , зв'язаний з Cl^- , за формулою:

$$Ca^{2+} \text{ токс} = Cl^- - (Na^+ + Mg^{2+})$$

3. Якщо вміст іона HCO_3^- більше Ca^{2+} , розраховують токсичний HCO_3^- за формулою:

$$HCO_3^- \text{ токс} = HCO_3^- \text{ заг.} - Ca^{2+},$$

Вміст іонів, виражений у міліеквівалентах, множать на міліеквівалентну масу, яка дорівнює: Ca^{2+} - 0,02; Mg^{2+} - 0,012; Na^+ 0,023; K^+ - 0,039; Cl^- - 0,035; HCO_3^- - 0,061; CO_3^{2-} - 0,031; SO_4^{2-} - 0,053; отримуємо вміст токсичних іонів у відсотках від маси сухого ґрунту. Сума їх дає суму токсичних солей у відсотках.

Сума токсичних солей (%) при вмісті токсичних іонів, як у нашому прикладі, буде становити:

$$Cl^- - 5,38 \cdot 0,035 = 0,18870$$

$$SO_4^{2-} - 4,13 \cdot 0,053 = 0,21889$$

$$Mg^{2+} - 1,65 \cdot 0,012 = 0,01980$$

$$Na^+ - 7,86 \cdot 0,023 = 0,18078$$

$$\text{Сума } 0,60817 \approx 0,61 \%$$

Враховуючи, що за співвідношенням іонів у даному ґрунті тип засолення хлоридно-сульфатний, за даними табл. 49 встановлюємо ступінь засолення, який відповідає градації сильнозасолений. Отже, в нашому прикладі маємо сильнозасолений ґрунт з хлоридно-сульфатним типом засолення.

Таблиця 48. Хімізм (тип) засолення ґрунтів (за Н.І. Базилевич, О.І. Панковою)

За аніонним складом	Відношення аніонів, мг-екв			Відношення катіонів і аніонів, мг-екв	За катіонним складом мг-екв	Відношення катіонів, мг-екв		
	$\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}}$	$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^-}$	$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{SO}_4^{2-}}$			$\frac{\text{Na}^+}{\text{Mg}^{2+}}$	$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+}}$	$\frac{\text{Mg}^{2+}}{\text{Ca}^{2+}}$
Хлоридний	>2,5	-	-		Напрієвий	>1	>1	-
Сульфатно-хлоридний	2,5-1	-	-		Напрієво-магнієвий	<1	>1	>1
Хлоридно-сульфатний	1-0,2	-	-		Магнієво-напрієвий	>1	>1	>1
Сульфатний	<0,2	-	-		Кальцієво-напрієвий	>1	>1	<1
Содово-хлоридний	>1	<1	>1	$\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	Кальцієво-магнієвий	<1	<1	>1
Содово-сульфатний	<1	>1	<1	Те саме	Напрієво-кальцієвий	>1	<1	<1
Хлоридно-содовий	>1	>1	>1	Те саме	Магнієво-кальцієвий	<1	<1	<1
Сульфатно-содовий	<1	>1	>1	Те саме	Магнієвий	<1	-	>1
Сульфатно-хлоридно-гідрокарбонатний	-	>1	>1	$\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+}$				

Таблиця 49. Класифікація ґрунтів за ступенем засолення (солончакуватості) залежно

від складу солей (за Н.І. Базилевич, О.І. Панковою)

Ступінь засолення	Хімізм (тип) засолення, сухий залишок (сума солей), %						
	хлоридний	сульфатно-хлоридний	хлоридно-сульфатний	сульфатний	содово-хлоридний, хлоридно-содовий, содовий	содово-сульфатний, сульфатно-содовий	сульфатно-або хлоридно-гідрокарбонатний
Незасолені	<0,05	<0,1	<0,2	<0,3	<0,1	<0,15	<0,2
Слабкозасолені	0,05-0,15	0,1-0,2	0,2-0,4	0,3-0,4	0,1-0,2	0,15-0,25	0,2-0,4
Середньозасолені	0,15-0,3	0,2-0,4	0,4-0,6	0,4-0,8	0,2-0,3	0,25-0,4	0,4-0,5
Сильнозасолені	0,3-0,7	0,4-0,8	0,6-0,9	0,8-1,2	0,3-0,5	0,4-0,6	Не зустрічаються
Дуже сильнозасолені (солончаки)	>0,7	>0,8	>0,9	>1,2	>0,5	>0,6	Те саме

Користуючись табл. 50 встановлюємо, що на такому ґрунті слід очікувати сильне пригнічення і випадки рослин, яке супроводжується зниженням урожаю на 50-80%.

Про направленість сольового режиму ґрунтів (відбувається процес засолення чи розсолення) можна судити за характером аніонного складу водної витяжки. *Хлоридний* тип засолення характерний для ґрунтів з прогресивним соленакопиченням, *хлоридно-сульфатний* - ґрунтам проміжного ряду, а *сульфатний* - ряду розсолення (при наявності акумуляції гіпсу).

Таблиця 50

Ступінь засолення і стан польових культур

Ступінь засолення ґрунтів	Стан середньостійких рослин
Незасолені	Добрий ріст і розвиток (рослини не випадають, врожай нормальний)
Слабкозасолені	Слабке пригнічення (спостерігаються випадки рослин, зниження врожаю на 10-20%)
Середньозасолені	Середнє пригнічення (випадки рослин, зниження врожаю на 20-50%)
Сильнозасолені	Сильне пригнічення (випадки рослин, зниження врожаю на 50-80%)
Дуже сильнозасолені	Вживають поодинокі рослини (врожай практично відсутній)

5.3. Елементи меліорації засолених ґрунтів

Регулювання токсичного вмісту солей в сторону його зменшення включає комплекс профілактичних заходів, які направлені на регулювання сольового режиму ґрунтів залежно від потреб рослин до складу ґрунтів. Оптимальна концентрація легкокорозчинних солей в ґрунтових розчинних не повинна перевищувати 5-6 г/л. Граничнодопустимий вміст солей залежно від типу засолення ґрунту наведено в табл. 51. За рахунок дренажу та інших заходів необхідно забезпечити зниження вмісту рухомих солей у кореневмісному шарі до наведених значень.

Враховуючи, що одним з основних джерел засолення ґрунтів є неглибоко залягаючі мінералізовані підґрунтові води - їх рівень необхідно підтримувати на глибині, близькій до критичної, для створення умов, щоб водообмін ґрунту з підґрунтовими водами за вегетаційний період був від'ємним і були відсутні висхідні токи води в зоні аерації.

Критична глибина залягання підґрунтових вод для ґрунтів, що утворились на лесах, залежно від ступеня їх мінералізації за А.М. Костяковим становить при мінералізації 3 г/л – 1,7-2,2 м, 3-5 г-л – 2,2-3,0 м, 5-7 г/л – 3,0-3,5 м.

Таблиця 51. Верхня межа допустимого вмісту солей у ґрунті залежно від типу засолення, % на суху наважку

(за даними аналізу водної витяжки, ґрунт : розчин 1:5)

Параметри	Тип засолення							
	хлорид- ний	сульфатно- хлоридний	хлоридно- сульфатний	сульфатний	содово- хлоридний, хлоридно- содовий	содово- сульфатний, сульфатно- содовий	сульфатно- або хлоридно гідрокарбо- натний	
Загальний вміст солей (су- хий залишок)	0,15	0,20	0,4 (1,2)*	0,6 (1,2)*	0,20	0,25	0,40	
Сума токсичних солей	0,10	0,12	0,25	0,30	0,15	0,25	0,30	
Токсичний сульфат-іон	0,02	0,04	0,11	0,14	–	0,07	0,10	
Хлор-іон	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	–	0,03	
Рухомий натрій-іон	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	
Гідрокарбонат-іон	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	
РН у суспензії 1:2,5	8,3	8,3	8,3	8,3	8,5	8,5	8,5	
Вибраний натрій	У високогумусних та малогумусних ґрунтах верхня межа не повинна перевищувати відповідно 10 і 5% від суми катіонів							

*Цифри без дужок відповідають вмісту гіпсу в ґрунтах до 0,5%, у дужках – понад 0,5%.

На важких ґрунтах критична глибина на 20% більша, ніж наведені дані. В залежності від кліматичних умов місцевості критичну глибину залягання ґрунтових вод ($H_{кр}$, м) можна розрахувати за формулою В.А.Ковди

$$H_{кр} = 170 + 8 \cdot t^0,$$

де t^0 - середньорічна температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

При освоєнні засолених ґрунтів дуже важливо підбирати рослини, враховуючи їх солестійкість. Відносна солестійкість рослин наведена в табл. 52.

Таблиця 52

Відносна солестійкість рослин

Нестійкі	Середньостійкі	Стійкі
Полеві культури		
Квасоля, горох	Жито, пшениця, сорго, соя, боби кінські, кукурудза, льон, соняшник	Ячмінь, цукровий і кормовий буряк, ріпак
Кормові трави		
Конюшина повзуча, шведська, лучна, лисохвіст	Буркун білий і жовтий, райграс багаторічний, кострець, канаркова трава, суданська трава, люцерна, вівсяниця лугова, лядвенець, грястиця збірна	Споробулус, безкильниця, пирій високий і американський, вівсяниця висока, мятлик
Овочеві культури		
Редис, селера, квасоля на зелені боби	Томати, капуста кочанна та цвітна, кукурудза цукрова, картопля, перець, морква, цибуля, горох, гарбузи столові, огірки	Буряк столовий, капуста листовая, спаржа, шпинат, ріпа
Плодові культури		
Груша, яблуня, слива, мигдаль, абрикос, персик, полуниця	Гранат, виноград	Відсутні

Плодові культури взагалі не слід розміщувати на засолених ґрунтах. Навіть глибокозасолені ґрунти (солі на глибині 150-200 см) несприятливі для росту і плодоношення саду, здебільшого викликаючи його передчасну загибель.

За дією на плодові дерева, розрізняють дві групи шкідливих солей: нейтральні та лужні. Кількість нейтральних солей ($MgSO_4$, $MgCl_2$, Na_2SO_4 , $NaCl$, $CaCl_2$) в кореневмісному шарі не повинна перевищувати для яблуні і груші 3,5-4, для абрикоса 4,0-4,5 мг-екв на 100 г ґрунту. Лужні солі (Na_2CO_3 , $NaHCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$) більш отруйні, їх гранично допустимий вміст не повинен перевищувати 1 мг-екв на 100 г ґрунту.

Для плодових культур запропоновано межу солестійкості визначати вмістом солей, що дозволяє збирати 50% урожаю порівнянно з незасоленими ґрунтами. Дані про гранично допустимі концентрації солей під плодові культури наведено в таблицях 53, 54.

Таблиця 53

Гранично допустимі концентрації солей у ґрунтах, які відводяться під плодові насадження, мг-екв на 100 г ґрунту (за С.Ф. Неговеловим)

Група ґрунтів	Шкідливі солі	Глибина шарів ґрунту, см				Придатність ґрунтів під плодові насадження
		0-100	100-160	160-200	200-300	
I	Сульфати	2,0	2,0	2,0	2,0	Добрі для всіх плодових культур
II	Хлориди	0,3	0,3	0,3	0,3	Задовільні для всіх плодових культур
	Сульфати	2,0	2,0	2,0	2,0-3,0	
III	Хлориди	0,3	0,3	0,3	0,3-0,5	Задовільні для кісточкових порід, крім черешні; незадовільні для зерняткових
	Сульфати	2,0	2,0-2,5	2,0-3,0	3,0-3,5	
IV	Сульфати	2,0	3,0	5,0	5,0	Непридатні під плодові насадження

Отже, регулювання токсичного вмісту солей в сторону його зменшення включає систему профілактичних заходів: спорудження зрошувальних систем з проведенням протифільтраційних робіт, будову дренажу, підбір солестійких культур і дотримання технологій їх вирощування, оптимізацію поливного режиму, періодичне промивання ґрунтів та ін.

Таблиця 54

**Гранично допустимі концентрації лужних солей у ґрунтах,
які відводяться під плодові насадження в шарі 50-100 см
(за В.Ф. Івановим)**

Порода	Підщепа	Вміст лужних солей, мг-екв на 100 г ґрунту			
		Загальна лужність (НСО ₃ ⁻)	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃	Mg(HCO ₃) ₂
Черешня	Черешня	0,60	Не допустимо		<0,20
Яблуня	Дика лісова яблуня	0,80	Те саме	<0,20	<0,20
Груша	Дика лісова груша	0,80	Те саме	<0,20	<0,20
Слива	Алича	1,00	<0,05	<0,25	<0,25

5.4. Забруднення ґрунтів важкими металами, радіонуклідами та пестицидами

Забруднювачами ґрунту, згідно з визначенням експертів ВООЗ, називають хімічні речовини, біологічні організми (бактерії, віруси, найпростіші, гельмінти) і продукти їх життєдіяльності, які зустрічаються в неналежному місці, в неналежне час і в неналежних кількостях. Під забрудненням ґрунту слід розуміти лише той вміст хімічних і біологічних забруднювачів у ньому, який стає небезпечним для здоров'я при прямому контакті людини із забрудненим ґрунтом або через контакт з ґрунтом в екологічних ланцюжках: ґрунт - вода - людина; ґрунт - атмосферне повітря - людина; ґрунт - рослина - людина; ґрунт - рослина - тварина - людина і ін.

Хімічні забруднювачі ґрунту діляться на дві великі групи. До першої групи належать хімічні речовини, які вносяться в ґрунт цілеспрямовано, найчастіше - в сільському і лісовому господарствах: пестициди, мінеральні добрива, структуроутворювачі ґрунту, стимулятори росту рослин та ін. Цей процес є керованим. При недотриманні агрохімічних і гігієнічних регламентів застосування (внесення в ґрунт надлишку) екзогенні хімічні речовини (ЕХР) стають забруднювачами ґрунту і можуть становити небезпеку для здоров'я людей.

До другої групи хімічних забруднювачів відносяться хімічні речовини, що надходять у ґрунт випадково з техногенними (антропогенними) рідкими, твердими і газоподібними відходами. Це речовини, що надходять у ґрунт разом з побутовими та промисловими стічними водами і твердими відходами, атмосферними викидами промислових підприємств, вихлопними газами автотранспорту та ін.

Ступінь забруднення ґрунту ЕХР залежить від:

- 1) рівня їх надходження в ґрунт;
- 2) фізико-хімічних властивостей (структури, розчинності у воді, летючості та ін);
- 3) місцевих ґрунтово-кліматичних умов;
- 4) інтенсивності процесів міграції ЕХР з ґрунту в атмосферне повітря, відкриті водойми, підземні води, рослини;
- 5) можливості трансформації і деградації ЕХР в результаті фізико-хімічних процесів (гідроліз, фотоліз) або дії біологічних агентів (мікроорганізми, в меншій мірі водорості) та їх ферментативних систем, здатних розщепити молекули багатьох токсичних речовин до безпечних метаболітів.

Проблема забруднення довкілля важкими металами весь час загострювалась і нині набула загрозливих розмірів. У багатьох індустріальних районах світу з'явилися техногенні біогеохімічні зони з аномально високим вмістом у ґрунті важких металів.

Метали, густина (питома вага) яких більша 5 г/см^3 , називаються **важкими металами**. Важкі метали, як мікроелементи, містяться в різних кількостях і у різному складі в ґрунтах. Високі дози цих елементів є наслідком діяльності людини (антропогенного навантаження).

Основними джерелами надходження важких металів на земну поверхню є пило-газові викиди гірничорудної, металургійної та хімічної промисловості. Підвищений уміст важких металів у ґрунті також може бути наслідком застосування в сільськогосподарському виробництві меліорантів, добрив та пестицидів, а також використання для зрошення забруднених побутових і промислових стічних вод.

Відомо, що промислові підприємства України викидають в атмосферу близько 16 млн. т шкідливих речовин, у тому числі і важких металів, велика кількість яких потрапляє у ґрунт. За оцінками вчених Української академії аграрних наук (УААН) майже 20% орних земель України так чи

інакше забруднені важкими металами: нікелем, цинком, кобальтом, хромом, свинцем, міддю.

Найбільш високий вміст нікелю виявлено у ґрунтах Житомирської, Київської, Черкаської, Чернівецької областей та Донецько-Луганського регіону (25-50 мг/кг ґрунту при ГДК – 50 мг/кг). Чистими є сільськогосподарські землі Одеської, Волинської, Кіровоградської, Полтавської, Вінницької і частково інших областей з рівнем забруднення 5-10 і 10-15 мг/кг ґрунту. Ґрунти із середнім забрудненням нікелем (15-25 мг/кг) поширені переважно в Чернігівській, Сумській, Запорізькій, Івано-Франківській, Рівненській та Закарпатській областях.

Подібна закономірність спостерігається в забрудненні ґрунтів цинком і кобальтом, ГДК яких дорівнює 300 і 50 мг/кг ґрунту при відповідних кларках (валовому вмісту) відповідно 50 і 8 мг/кг ґрунту. Спільним для цих трьох важких металів є те, що на більшій частині території України їх вміст у ґрунті не перевищує ГДК.

Найбільшу стурбованість викликає ситуація із забрудненням ґрунтів свинцем, який навіть у невеликих концентраціях дуже негативно впливає на здоров'я людини. ГДК валових форм свинцю становить 32, а кларк – 10 мг/кг ґрунту. На більшій частині території України середній вміст свинцю перебуває на рівні ГДК або її перевищує (Волинська, Рівненська, Львівська, Житомирська, Київська, Чернігівська Харківська та Херсонська області). Біогенна активність свинцю збільшується у напрямку з півдня на північ і є найбільшою в зоні Полісся.

На межі санітарно-гігієнічної безпеки або з деяким перевищенням гранично допустимих параметрів склалася ситуація щодо міді, вміст якої в ґрунтах Закарпатської, Волинської, Житомирської, Чернігівської та інших областей перебуває в інтервалі 65-320 мг/кг при фоновому вмісті - 20 і ГДК (валові форми) 100 мг/кг ґрунту. Забруднення хромом не перевищує

ГДК, але в Донбасі, Харківській, Запорізькій і Чернівецькій областях його рівень найвищий – 25-80 мг/кг.

Ця інформація необхідна для визначення екологічно чистих агрозон, коли, наприклад, потрібно враховувати межу нетоксичної дії конкретного забруднювача на рослину і дуже важко це зробити через те, що в реальних умовах завжди простежується поліелементне забруднення, антагонізм та синергізм іонів, різний гранулометричний склад, уміст гумусу, неоднакова вбирна здатність і кислотність ґрунту, які дуже сильно впливають на розчинність сполук важких металів, процеси трансформації та надходження їх в рослини. Дослідженнями доведено, що в чорноземах важкого гранулометричного складу з нейтральною реакцією ґрунтового розчину коефіцієнт дифузії важких металів у 2-3 рази нижчий, ніж у дерново-підзолистих піщаних і супіщаних ґрунтах з низьким вмістом гумусу та кислотною реакцією середовища. Тому в чорноземній зоні ймовірність забруднення врожаю та зниження продуктивності сільськогосподарських культур, очевидно, буде нижчою порівняно із зоною Полісся.

Локальне забруднення сільськогосподарських угідь важкими металами можуть спричинити транспортні засоби. Вздовж автомобільних доріг з високою інтенсивністю руху (10-20 тис. машин на добу) забруднення зазнає придорожня смуга на відстані до 200 м з переважанням свинцю, що міститься в антидетонаційних присадках до бензину. З продуктами дизельного палива, мастильними матеріалами та відходами автопокришок у довкілля потрапляють кадмій та цинк.

Розподіл важких металів вздовж шляхів залежить від інтенсивності та швидкості руху автотранспорту, напрямку вітру, тощо. Максимальне забруднення ґрунтів спостерігається на відстані 7-10 м від дороги, а в зоні 30-80 м відмічаються зниження врожайності і різке погіршення якості сільськогосподарської продукції.

Гранично допустимі концентрації важких металів та їхні кларки наведені у табл. 55 та 56.

Зрозуміло, що реакція сільськогосподарських культур на забруднення ґрунтів важкими металами неоднозначна. Найбільш толерантне до них озиме жито, озима пшениця, овес, а найменше – ячмінь. Екологічно чистий урожай зернових колосових культур формується за умови вмісту в ґрунті важких металів на рівні 1-2 кларків або меншому вдвічі ГДК. Лише на фоні 5-6 кларків спостерігається пригнічення росту рослин, знижується їхня продуктивність та якість продукції. Характерно, що найбільша кількість важких металів у цієї групи культур накопичується в кореневій системі та вегетативних органах.

Таблиця 55

Гранично допустимі концентрації важких металів в ґрунті і рослинній продукції (В.І. Кисіль, 1997 р.)

№ п/п	Важкі метали	ГДК рухомих форм у ґрунті, мг/кг	ГДК валового вмісту в рослинницькій продукції, мг/кг абсолютно сухої речовини
1	Цинк	≤ 23	≤ 10
2	Кадмій	$\leq 0,7$	$\leq 0,003$
3	Свинець	≤ 2	$\leq 0,5$
4	Мідь	≤ 3	≤ 5
5	Хром	≤ 6	$\leq 0,3$
6	Ртуть	0	$\leq 0,02$

Кларки і ГДК важких металів у ґрунтах

№ п/п	Елемент	Кларки, мг/кг	ГДК, мг/кг (валові форми)
1	Ванадій	100	-
2	Марганець	850	1400
3	Хром	75	100
4	Кобальт	8	50
5	Нікель	40	500
6	Мідь	20	100
7	Цинк	50	300
8	Селен	0,01	10
9	Кадмій	0,5	3
10	Ртуть	0,02	2
11	Свинець	10	32
12	Стронцій	300	1000

Соняшник та кукурудза витримують забруднення ґрунту важкими металами до 4 кларків або 1,0-15 ГДК. Але найкращі умови вирощування, як і для зернових колосових культур, створюються у разі фонового вмісту важких металів 1-2 кларки або менше 0,5 ГДК.

Найсильніше потерпають від важких металів картопля та цукрові буряки. В разі валового вмісту більше 3-х кларків (> 1,0 ГДК) ці культури неспроможні сформувати повноцінний урожай. Оптимум для них коливається в межах 1-2 кларків.

Здійснюючи моніторинг важких металів необхідно враховувати те, що згідно з ГОСТом 17.4.02-8.3 всі вони за ступенем екобезпеки та можливого негативного впливу на ґрунт, рослини, тварин і людей поділяються на три класи:

- високонебезпечні елементи - миш'як, кадмій, ртуть, селен, свинець, цинк, фтор;
- середньонебезпечні – бор, кобальт, нікель, молібден, хром;
- малонебезпечні – барій, ванадій, марганець, стронцій.

До забруднювачів ґрунтів належать також мінеральні добрива і хімічні меліоранти, істотним недоліком яких є наявність в них баластних речовин, у тому числі токсичних елементів і сполук. Найбільше забруднені важкими металами фосфорні добрива, меншою мірою азотні і калійні (табл. 57).

Таблиця 57

Вміст важких елементів в мінеральних добривах, г/т діючої речовини

Добрива	Мідь	Цинк	Кадмій	Свинець	Нікель	Хром
Азотні	51	63	1,23	21	6,83	0,38
Фосфорні	127	164	3,0	34	92	121
Калійні	9,4	20	1,05	28	9,1	0,89
Всі мінеральні добрива	59	77	1,62	26	30	33

Особливу екологічну небезпеку становить ненормальне застосування хімічних меліорантів і відходів промисловості. Наприклад, при внесенні фосфогіпсу в нормах 2-20 т/га у ґрунт надходить 100-400 мг стронцію. Використання на добриво піритних огарків забруднює ґрунт свинцем.

При фосфоритуванні у ґрунт потрапляють фтор і стронцій, при внесенні сечовини – арсен.

Небезпечними для ґрунту є систематичне використання як добрива осадів стічних вод, забруднених важкими металами. Шкіряні, годинникові та інструментальні заводи істотно забруднюють осади хромом, електронна промисловість – кадмієм.

Високий вміст металів в осадах у багатьох випадках обумовлює їх непридатність навіть до захоронення. У таких місцях існує загроза істотного забруднення взаємодіючих природних об'єктів: ґрунту, поверхневих та підґрунтових вод.

Потрапляючи до екосистем, важкі метали постійно рухаються, переходячи з однієї форми в інші. Виділяють такі системи транслокації (переходу) важких металів: повітря-ґрунт, ґрунт-вода; ґрунт-рослина; ґрунт-рослина-тварина; ґрунт-рослина-тварина; ґрунт-рослина-людина та ін.

Постійне надходження важких металів у ґрунт викликає формування зон підвищеної екологічної токсичності. В межах цих зон змінюється характер міграції елементів і деякі геохімічні параметри ґрунту. Взаємодія металів з ґрунтом відбувається за типом реакції сорбції, осадження – розчинення, комплексоутворення, солеутворення, тощо. Швидкість і спрямованість процесів трансформації залежить від реакції середовища, гранулометричного складу ґрунту, вмісту гумусу та інших чинників.

Рухомість важких металів тісно пов'язана зі складом рідкої фази ґрунту: низька розчинність оксидів та гідроксидів важких металів і внаслідок цього їх низька міграційна здатність характерні для ґрунтів з нейтральною та лужною реакцією. Рухомість важких металів зростає в ґрунтах з дуже кислою реакцією ґрунтового розчину. У загальному випадку для ґрунтів з кислою реакцією з урахуванням розчинності сполук різних важких металів

останні за спаданням токсичності можна розмістити у такий ряд: Cd→Ni→Zn→Mn→Cu→Pb→Hg. Токсичність елементів для рослин безпосередньо пов'язана з їх рухомістю у ґрунтах. Ґрунт служить потужним геохімічним бар'єром для потоку важких металів.

За О. Перельманом, геохімічний бар'єр – це “ділянки земної кори, де на короткій відстані відбувається зменшення міграції хімічних елементів і, як наслідок, їхня концентрація”. За класифікацією вченого, бар'єри за напрямом руху вод поділяють на латеральні й вертикальні, за способом масоперенесення – на дифузійні та інфільтраційні. Для характеристики більших за площею ландшафтів уживають термін *ландшафтно-геохімічні бар'єри*, які класифіковано на такі типи: біогеохімічні, фізико-хімічні, механічні та техногенні. За визначенням М. Глазовської, під ландшафтно-геохімічним бар'єром треба розуміти блок системи чи ділянку, де простежується різка зміна фізико-хімічних або термодинамічних умов: окисно-відновних, кислотно-лужних, фільтраційно-сорбційних, седиментаційних, біогеохімічних, а також температури й тиску, де низка речовин втрачає рухомість, трансформується в інертні нерозчинні форми та накопичується, очищуючи потоки речовин і обмежуючи сферу забруднення. За механізмом зміни швидкості міграції ландшафтно-геохімічні бар'єри поділяють на відновлювальні, окислювальні, кислотно-лужні, карбонатні, сорбційні, термодинамічні, випаровувальні, механічні, біогеохімічні, техногенні та комплексні.

Садовнікова Л.В виділяє такі основні етапи у реакції ґрунтів на техногенний вплив та їх еволюцію від природного до техногенного порушеного стану:

- накопичення хімічних забруднювачів до критичного стану;
- значна зміна фізичних і хімічних властивостей ґрунтів
- несприятливі зміни рН, ємності катіонного обміну, втрата

структури;

- нестрятливий вплив ґрунтових умов на рослинний покрив;
- розвиток процесів ерозії та дефляції;
- повне руйнування горизонтів ґрунту, деградація ґрунтів;
- утворення техногенної пустелі.

Важкі метали забруднюють не лише ґрунти. До 30-40% важких металів та інших похідних потрапляє із ґрунту у підґрунтові води. Накопичення у верхніх горизонтах ґрунтів надлишку важких металів збіднює видовий склад рослин, знижує їх темпи росту та розвитку, різко зменшує схожість насіння культурних та дикорослих видів. Під дією забруднення гинуть трав'янистий покрив і лісові насадження, знижується врожайність сільськогосподарських культур і погіршується якість продукції.

Забруднення ґрунтів важкими металами різних класів небезпеки у переважній більшості випадків викликає погіршення їх основних властивостей і порушення екологічних функцій. Ступінь їх негативної дії залежить як від параметрів самого забруднення (концентрації, особливостей міграції в ґрунті, форми сполуки, терміну експозиції), так і від генетичних властивостей ґрунту (гранулометричного складу, вмісту гумусу, буферності, біологічної активності і окислювально-відновних умов).

Найбільш стійкими до забруднення є показники фізичних властивостей ґрунтового покриву, проте навіть у цьому випадку при забрудненні важкими металами погіршується структура ґрунту, збільшується його щільність, знижується водопроникність, погіршується повітряний режим. Наслідком цього є пригнічення рослин і мікробіоти, порушуються біогеохімічні цикли елементів живлення, посилюються процеси водної та вітрової ерозії.

Високі дози важких металів викликають збільшення у складі гумусу вмісту вуглеводнів, зростання ступеня окислення і концентрації

органічного вуглецю. Забруднення важкими металами змінює і якісний склад гумусу, сприяючи зменшенню вмісту гумінових кислот і збільшенню вмісту фульвокислот.

Антропогенне забруднення ґрунтів важкими металами суттєво пригнічує активність процесів мінералізації азотвмісних органічних сполук і нітрифікації, призводить до зменшення вмісту у ґрунті рухомого азоту мінеральних сполук. Проте, невисокі концентрації важких металів або в високогумусованих ґрунтах викликають посилення процесів азотфіксації, амоніфікації, нітрифікації та мінералізації, внаслідок чого в ґрунті зростає вміст рухомих форм азоту і фосфору доступних рослинам.

Важкі метали, як правило, викликають і підкислення ґрунтового розчину. Доведено, що рН ґрунтових розчинів переважно має тенденцію до підкислення по мірі заповнення вбирного комплексу іонами важких металів, внаслідок чого настає зміна рухомості багатьох елементів у системі «ґрунт-розчин», зокрема кальцію і магнію.

Під впливом важких металів виникають також порушення в структурі комплексу ґрунтових мікроорганізмів, що впливає на рівень ферментативної активності ґрунту, яка є порівняно більш стійким і чутливим показником біогенності ґрунту, ніж кількість і склад мікрофлори. Зміни ферментативної активності виникають вже при забрудненні ґрунту важкими металами на рівні 1 ГДК і більше. При цьому, високі концентрації забруднювачів призводять до пригнічення ферментативної активності, а невеликі дози важких металів стимулюють активність окремих ферментів, зокрема аскорбатоксидази та протеази. Вплив важких металів на ферментативну активність ґрунту залежить і від його типу, наприклад, висока концентрація пригнічує активність ферментів у дерново-підзолистому ґрунті на 40-70%, тоді як в чорноземі – лише на 10-20%.

У техногенно забруднених ґрунтах знижується активність біохімічних процесів: гальмується розкладання клітковини, синтез вільних амінокислот, процес виділення вуглекислоти і зниження кількості рухомої органічної речовини.

Актуальним питанням системи моніторингу вмісту важких металів залишається їх нормування в компонентах навколишнього середовища. Завдяки правильно розробленим гранично допустимим концентраціям (ГДК) забруднюючих речовин можливо здійснювати оцінку забрудненості природних об'єктів, визначати темпи накопичення токсикантів у навколишньому середовищі і оцінювати ефективність природоохоронних заходів.

На думку П.П. Надточія, дослідники, які займаються проблемою забруднення довкілля важкими металами, вважають, що розробка нормативів ГДК елементів-токсикантів для ґрунту – справа набагато важча, ніж розробка таких же нормативів для води і атмосфери [27]. Причиною цього є гетерогенність ґрунту, як основна перепона на шляху до здійснення ефективного нормування вмісту забруднювачів. Розроблені наразі вітчизняні нормативи ГДК важких металів у ґрунті виявились у логічній невідповідності з їх фоновим вмістом, будучи або меншими за нього, або навпаки, значно перевищуючи його.

Багато спроб здійснити нормування забруднення ґрунтів важкими металами зводились до того, щоб визначити ГДК металу у ґрунті. Але використання єдиного для всіх ґрунтів показника фонового вмісту валових форм важких металів і оцінка за ним ступеня забруднення ґрунту неприпустима, оскільки фоновий вміст елементів різниться залежно від ґрунтової відміни. Встановлено, що фонові значення вмісту хімічних елементів навіть у межах одного регіону різняться у 7-10 разів [27] і обумовлені впливом мінералогічного та гранулометричного складу,

вмістом гумусу, колоїдно-хімічними та кислотно-основними властивостями.

До сьогоднішнього часу в Україні немає єдиної концепції визначення ГДК елементів в основних ґрунтових відмінах, тому, на думку П.П. Надточія [27], першим етапом нормування вмісту рухомих форм важких металів у ґрунтах має стати вибір еталонних ґрунтів. За еталон можуть братися:

- цілинний ґрунт або ґрунти на території об'єктів природно-заповідного фонду, на якій мінімізований або повністю виключений антропогенний вплив;
- переліг, за умови, що він не використовувався в ріллі не менше, ніж 20-25 років (за відсутності цілинного еталону);
- розораний ґрунт з параметрами періоду проведення початкових спостережень за станом ґрунтів (матеріали крупномасштабного обстеження ґрунтів України 1957-1961 рр.).

Метод визначення важких металів у ґрунтах (відповідно до ГОСТ 17.4.3.03-85 (СТ СБВ 4469-84) повинен забезпечувати:

- визначення кількості забруднювача (елемента) на порядок нижче ГДК;
- відтворюваність методу не більше 30%;
- селективність відносно компоненту, який підлягає аналізу;
- використання реактивів із зазначенням їх чистоти, приладів та апаратури, що забезпечує відтворення методу.

Дуже важливо при цьому використовувати стандартні зразки ґрунтів. За ініціативою Ґрунтового інституту ім. В.В. Докучаєва розроблені стандартні зразки за хімічним складом для таких ґрунтів: дерново-підзолистий, сірий лісовий, чорнозем, каштановий, сірозем та червонозем.

При наявності стандартних зразків результати аналізів щодо визначення валового елементного складу атомно-адсорбційними методами є досить

точними. Атомно-адсорбційний метод дозволяє на теперішній час визначити до 70 елементів (переважно метали) і має цілий ряд переваг у порівнянні з іншими: чутливість, селективність, висока продуктивність, достатньо добре відтворення результатів і простота виконання аналізу. Він забезпечує межу знаходження багатьох елементів на рівні 0,1-0,01 мг/дм³, що у багатьох випадках дає можливість аналізувати ґрунтові і рослинні зразки без попереднього концентрування елементів.

При дуже високих концентраціях окремих елементів-забруднювачів в стандартні зразки вносять відповідні добавки у формі чистих солей. Аналітична помилка не повинна перевищувати приблизно 1/3 помилки репрезентативності змішаного ґрунтового зразка .

Визначенню загального вмісту металів у забрудненому ґрунті часто заважає високий вміст заліза, кількість якого у сотні і тисячі разів перевищує вміст елементів, які визначаються .

Детоксикацію ґрунту від надлишку важких металів проводять наступними заходами :

- вапнування ґрунту;
- внесення органічних добрив;
- внесення фосфорних добрив;
- застосування адсорбентів;
- фітомеліорація;
- промивка ґрунту.

При вапнуванні і досягненні рівня рН 6,5 рухомість важких металів є найнижчою, що підсилює також антагонізм між ними та кальцієм. Вапнування значно зменшує надходження в рослини кадмію .

При внесенні гною, торфу та органо-мінеральних сумішей , багатих на органічні сполуки, через комплексоутворення важкі метали зв'язуються

або у малорухомі металоорганічні комплекси, або у ті, що неспроможні подолати клітинні мембрани на межі «грунт-корінь».

Внесення фосфорних добрив переводить важкі метали (свинець, цинк) у важкорозчинні сполуки, малодоступні для рослин. Для зменшення витрат на суперфосфат доцільно використовувати фосфоритне борошно, яке на кислих ґрунтах досить ефективно інактивує надлишкові кількості важких металів.

Для детоксикації надлишку важких металів у ґрунті можна використовувати цеоліти як природного, так і штучного походження. Проте, вони здатні нейтралізувати метали, що знаходяться в ґрунтовому розчині у вигляді катіонів, а надходження аніонної форми в рослини при внесенні цеолітів не знижується. Застосування різних видів цеоліту на кислих ґрунтах, забруднених свинцем, зменшило його вміст на 30%.

До біологічних заходів детоксикації ґрунту від надлишку важких металів відносять вирощування толерантних культур чи сортів, технічних, лісових культур чи розведення квітів.

Пестициди – речовини хімічного чи біологічного походження, які використовують проти організмів, що завдають шкоди сільськогосподарським культурам і лісовим насадженням, запасам сільськогосподарських продуктів, а також для знищення небажаної рослинності, збудників хвороб і переносників захворювань тварин та рослин, для регулювання розвитку організмів. Залежно від призначення їх поділяють на інсектициди, акарациди, фунгіциди, гербіциди нематоциди та ін. Вони небезпечні для людей і тварин, тому їх використання вимагає суворого дотримання науково обґрунтованих регламентів. Потенційна можливість негативних наслідків застосування пестицидів зумовлюється насамперед їх здатністю викликати гострі отруєння та забруднювати біосферу шкідливими хімічними сполуками.

Критерієм отруйності є доза (кількість речовин, що надходить в організм), яка викликає загибель 50% піддослідних тварин (LD_{50}) і вимірюється в мг/кг маси тіла.

Потенційна небезпека забруднення навколишнього середовища і продуктів харчування залежить від стійкості хімікату, що характеризується періодом його напіврозпаду (T_{50}), - часом, за який кількість отруйної речовини в досліджуваному об'єкті зменшується на 50%. Пестициди вважаються майже безпечними, якщо їхня доза LD_{50} , не перевищує 1000 мг/кг, а T_{50} – не менше 3 діб.

Ступінь небезпечності окремих препаратів оцінюється за шкалою інтегральної класифікації, яка враховує токсиколого-гігієнічні та екотоксикологічні показники і має 7 ступенів. Пестициди 1 і 2 ступенів характеризуються як дуже небезпечні, 3 – небезпечні, 4 і 5 – помірно небезпечні, 6 і 7 – малонебезпечні.

Асортимент пестицидів, дозволених до використання в Україні, становить майже 990 препаратів, які застосовуються на понад 40 млн. угідь сільськогосподарського призначення [27]. Ряд асортиментних препаратів за критерієм токсичності, стійкості в навколишньому середовищі, міграції, біоконцентрації та фактичного забруднення об'єктів довкілля належить до 1-2 класу безпеки і є потенційними забруднювачами компонентів довкілля, насамперед, ґрунту. Перелік пестицидів, заборонених до використання в сільському господарстві, або таких, що не можуть бути зареєстровані або перереєстровані в Україні, наразі налічує 87 позицій. Найбільш небезпечним серед них є хлорорганічні сполуки (ХОС). До цієї групи пестицидів входять ДДТ, гексахлорциклогексан (ГХЦГ), гептахлор, поліхлоркамфен, хлорбензол та інші [27]. Відмінною особливістю хлорорганічних сполук є те, що вони довго зберігаються в довкіллі через значну стійкість до дії температури, вологості, мікроорганізмів, тощо. Найстійкішими з них є ДДТ та ГХЦГ, які

можуть зберігатись в навколишньому середовищі десятки років, згубно діючи на всі ланки екосистеми.

За даними Міністерства аграрної політики України, незважаючи на те, що використання стійких високотоксичних хлорорганічних пестицидів було заборонено більше ніж півстоліття тому, їх залишки виявляються у пробах ґрунту від 8,5 % (сума ізомерів ГХЦГ) до 12,9% (продукти розпаду ДДТ). Найбільш забрудненими хлорорганічними сполуками є території хмільників, садів, ягідників та овочеві ділянки. Найсильніше забруднені пестицидами ґрунти Лісостепу, причому тут також зосереджено найбільше земель, які містять вищі за норму залишки фосфорорганічних сполук, а умовна щільність забруднення в 1,4 рази вища, ніж в Поліссі і Степу [27].

Наявність значних кількостей заборонених та непридатних до використання пестицидів на території колишніх сільськогосподарських підприємств також є значною загрозою для ґрунтової екосистеми і як високотоксичні відходи становлять підвищену небезпеку для здоров'я людей. Непридатними до використання ці речовини стають внаслідок протермінування, порушення умов зберігання або транспортування, відсутності маркування та ін. Пестициди на території вказаних вище господарств часто зберігаються в незакритих контейнерах, паперовій чи поліетиленовій тарі, а подекуди – й під відкритим небом. Тому з дощовими та весняними талими водами вони забруднюють ґрунт, поверхневі і підземні води внаслідок чого погіршується родючість земель, а високотоксичні компоненти пестицидів по трофічних ланцюгах переходять в організми людей і тварин, викликаючи в першу чергу захворювання імунної і репродуктивної систем.

Пестициди як біологічно активні речовини не повинні накопичуватись у ґрунті в концентраціях, які негативно впливають на життєдіяльність мікроорганізмів. Вплив засобів захисту рослин на ґрунтові живі організми різниться залежно від речовини та типу організму. Побічні дії на

біологічну активність не більше як 90 днів після застосування вважаються допустимими. Ґрунтові організми вступають в контакт з агрохімікатами через пряме надходження, а також поглинання гербіцидів в процесі харчування. Круглов Ю. (1983) виділив три найважливіші процеси, що відбуваються у процесі взаємодії мікроорганізмів з пестицидами:

- вплив на ґрунтові мікроорганізми та санітарний стан ґрунту;
- трансформація пестицидів;
- деградація та утилізація пестицидів ґрунтовими мікроорганізмами.

Нешкідливих пестицидів для людини та рослин не існує. Потрапляючи в організм людини, пестицидні препарати можуть спричинити низку захворювань: алергію, дерматит, бронхіальну астму та ін.

Особливі ситуації забруднення об'єктів навколишнього середовища виникають в разі підвищених норм витрати пестицидів. Використання максимальних норм витрати пестицидів є найбільш поширеною причиною їх негативного впливу на довкілля.

У ґрунт пестициди завжди потрапляють у всіх випадках їх використання. Певна їх частина розкладається на нетоксичні продукти протягом кількох місяців і не залишає помітного негативного впливу, інша частина зберігається роками й потрапляє в систему колообігу речовин в природі. Пестициди потрапляють в атмосферу у процесі випаровування, а потім випадають з дощем, вимиваються опадами або ґрунтовими водами у глибокі підґрунтові шари, виносяться коренями рослин на поверхню з ґрунтовим розчином і в мікрокількості надходять у продукти харчування і знову у ґрунт. Швидкість розкладу пестицидів залежить у ґрунті залежить від його типу, мінералогічного і гранулометричного складу, ступеня окультуреності.

Екологічна інтерпретація хімічного захисту рослин полягає в тому, що застосування пестицидів розглядається як засіб управління агроценозом з

метою збереження врожаю й запобігання негативним наслідкам через забруднення навколишнього середовища.

Робота з пестицидами вимагає абсолютного дотримання регламентів їхнього транспортування, зберігання та використання. Одним із важливих показників впливу пестицидів на живі організми й довкілля є токсичність, мірою якої є доза. Токсичність залежить від впливу та кількості діючої речовини, основних або розчинних інгредієнтів. Особливо небезпечними є такі форми, як пил, гранули та порошки.

За мірою токсичності сучасні пестициди поділяють на чотири групи:

- сильнодіючі, які мають LD_{50} менше 50 мг/кг живої маси;
- високотоксичні - LD_{50} - 200 мг/кг;
- середньотоксичні - LD_{50} - 200-1000 мг/кг;
- малотоксичні - LD_{50} більше 1000 мг/кг;

У комплексі заходів щодо попередження негативної дії хімічних засобів захисту рослин на людину головним є обґрунтування гігієнічних нормативів допустимого вмісту пестицидів у продуктах харчування, ґрунтах та визначення умов, що регламентують їх застосування.

Патика В.П, Макаренко Н.А. та співавт. пропонують зокрема використовувати наступні критерії оцінки негативної дії пестицидів на ґрунти, воду, повітря та продукти харчування:

- гранично допустима концентрація (ГДК) – максимальна концентрація, за якої речовина не має негативного прямого або опосередкованого впливу на здоров'я людини;
- орієнтовно безпечний рівень дії (ОБРД) – рівень дії забруднювачів у природних середовищах (ґрунт, вода, повітря) і продуктах харчування умовно безпечний для людини;

- залишкова кількість пестициду (ЗКП) – залишкова кількість пестициду, що зберігається в ґрунті впродовж певного часу після його застосування;
- орієнтовно допустима концентрація (ОДК) – тимчасовий показник, допустима кількість забруднюючої речовини в компонентах агроєкосистеми, що не спричиняє негативної дії на людину;
- гранично допустима доза (ГДД) – максимальна кількість забруднюючої речовини, що не призводить до патологічних змін в організмі за відносно короткий проміжок часу;
- летальна доза пестициду (ЛД₅₀) – доза пестициду, що призводить до загибелі 50% піддослідних тварин;
- фітотоксична дія гербіциду (ЕД₅₀) або ГДК за фітотоксичністю – концентрація гербіциду в ґрунті, яка знижує масу рослин на 50%;
- період розкладу пестициду (Т₅₀, Т₉₅, Т_{ГДК}) – період розкладу початкової кількості пестициду в певному середовищі на 50%, 95% та до значення ГДК відповідно.

Під **радіонуклідним забрудненням** ґрунту розуміють забруднення радіоактивними речовинами, вміст яких перевищує рівень, установлений згідно зі стандартами, нормами і правилами радіаційної безпеки. На думку Г.А. Романенка радіоактивне забруднення педосфери як компонента навколишнього середовища слід поставити в один ряд з іншими типами фізичної, фізико-хімічної і біологічної деградації ґрунтів, що відноситься до найважливіших соціально-екологічних проблем і створює загрозу екологічній, економічній і національній безпеці держави. Радіоактивне забруднення ґрунтів у нинішніх умовах розглядається як самостійний тип хімічного забруднення, що має специфічні особливості. Підставою для віднесення радіоактивно забруднених ґрунтів до категорії деградованих є значна втрата властивостей щодо можливостей виробництва доброякісної сільськогосподарської продукції. На радіаційно небезпечних землях неможливе подальше проживання людей, одержання

сільськогосподарської продукції, продуктів харчування, що відповідають національним та міжнародним допустимим рівням вмісту радіоактивних речовин.

Рівень радіоактивного забруднення ґрунту визначається як природною радіоактивністю (радіонукліди ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th), так і радіоактивними елементами техногенного походження. Значний вклад у вивчення природної радіоактивності ґрунтів України зробив Д.М. Гродзинський. Узагальнення результатів досліджень дало змогу виділити території з підвищеною радіоактивністю (> 850 Бк/кг, $> 230 \cdot 10^{10}$ Кі/кг) – Вінницька, Черкаська, Київська, Кіровоградська та Запорізька області .

Техногенне радіоактивне забруднення ґрунтів та навколишнього середовища відбувається з наступних джерел:

- видобуток із надр великої кількості радіоактивних металів разом із кам'яним вугіллям, нафтою, газом, металевими рудами тощо;
- уранова промисловість, яка займається видобутком, переробкою, збагаченням урану і виготовленням ядерного палива;
- ядерні реактори різних типів;
- радіохімічна промисловість;
- місця захоронення радіоактивних відходів;
- використання радіоактивних ізотопів в народному господарстві;
- випробування ядерної зброї.

Необхідно окремо відзначити, що сільськогосподарська діяльність не викликає істотних змін фонові радіоактивності ґрунтів, не зважаючи на те, що відповідна кількість ^{40}K постійно надходить у ґрунт з калійними добривами.

Численні дослідження підтверджують, що отримати екологічно чистий урожай можливо лише при щільності забруднення ґрунтів на рівні природного фону або який не перевищує $1,0$ Кі/км² по цезію-137 та $0,02$ Кі/км² по стронцію-90 (табл. 58).

Шкала деградованості ґрунтів за рівнем їх радіоактивного забруднення по цезію-137 (Патика В.П., Тарарико О.Г., 2002)

Ступінь деградованості	Щільність забруднення ґрунтів, Кі/км ²		
	дерново-підзолисті		торфові
	легкі	важкі	
Недеградовані	На рівні природного фону		
Слабодеградовані	1,0	1,0	0,5
Середньодеградовані	1,0-3,0	1,0-6,0	0,5-2,0
Сильнодеградовані	3,0-15,0	6,0-15,0	2,0-4,0
Дуже сильнодеградовані	>15,0	>15,0	>4,0

Сільськогосподарське виробництво на територіях, забруднених радіонуклідами, повинне забезпечити максимальна зниження міграції нуклідів по трофічному ланцюгу: ґрунт-рослина-тварина-продукти тваринництва-людина і одержати сільськогосподарську продукцію з допустимими рівнями забруднення. Згідно з даними Науково-дослідного інституту сільськогосподарської радіології УААН, практично всі продукти рослинництва, що мають харчове значення, можуть бути отримані на ґрунтах з рівнем забруднення ¹³⁷Cs до 1,5 ГБк·км². У сільськогосподарському виробництві використовують землі першої та другої груп, що зазнали радіоактивного забруднення відповідно до 15 Кі/км² та від 15 до 40 Кі/км².

На забруднених територіях виробнича діяльність регламентується рівнем вмісту радіонуклідів у вироблюваній продукції для чого було введено допустимі рівні вмісту радіонуклідів ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr у харчових продуктах і воді. Основне завдання сільськогосподарського виробництва в

умовах радіоактивного забруднення полягає в необхідності забезпечення зниження надходження радіонуклідів у рослини. Для реалізації цього завдання було розроблено чимало агроеліоративних заходів, але широкого застосування набули лише ті з них, що виявились екологічно обґрунтованими, технічно здійсненими та економічно виправданими.

До комплексу заходів, що знижують надходження радіонуклідів у продукти рослинництва, відносять:

- розведення радіонуклідів, що надходять у ґрунт їх хімічними аналогами (К, Са та ін.);
- зменшення рухомості радіонуклідів у ґрунті шляхом внесення речовин, що переводять їх у менш розчинні форми (органіка, сапропелі, торфокомпости, фосфати, калійні солі, карбонати, глинисті мінерали);
- зароблення забрудненого шару ґрунту в підорний горизонт за межі значного поширення кореневих систем – на глибину 60-70 см;
- підбір культур і сортів, що накопичують мінімальну кількість радіонуклідів;
- зниження рівня ґрунтових вод;
- розміщення технічних культур на забруднених ґрунтах, використання цих площ для одержання насіння.

Дослідженнями встановлено, що внесення сапропелю різних типів в рік застосування знижувало перехід радіоцезію-137 в урожай вівса майже вдвічі (на другий рік), концентрація радіоцезію залежно від типу сапропелю зменшувалась у зерні озимого жита та бульбах від 1,5 до 2 разів; зеленій масі вики – в 1,1-2,6 разів; кукурудзі на силос – від 0,9 до 2,8 рази. Дія органічного сапропелю була більш ефективною ніж карбонатного: перший зменшував коефіцієнти переходу та нагромадження радіоцезію в зерні озимого жита в 1,3-2,0 рази, тоді як карбонатний сапропель - в 1,5 рази. Найбільш ефективною дозою сапропелю під

картоплю (Поліський район Київської області) виявилась доза 60-80 т/га, яка забезпечила максимальний врожай і знизила перехід радіонуклідів ґрунту у продукцію в 1,5 рази. Результати досліджень Поліської філії ІГА показали, що сапропель є найбільш ефективним меліорантом в умовах радіоактивного забруднення дерново-підзолистих ґрунтів Полісся Волині. Внесення його в дозі 100 т/га в залежності від родовища зменшувало перехід цезію-137 в бульби картоплі в 2,7-4,3 рази; зерно вівса – в 2,7-3,2 рази; зелену масу люпину в порівнянні з контролем (без добрив) – у 2,3-5,2 рази. Удобрювальна дія 60 т/га підстилкового гною сукупно з мінеральними добривами у порівнянні з внесенням такої ж дози сапропелю знижувалась, проте коефіцієнти переходу цезію-137 в аналогічних варіантах з внесенням сапропелю були дещо вищими. На жаль, більшість покладів озерних сапропелів потрапила в зону радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Обстеження озер Поліської групи показало, що інтенсивно забруднений, як правило, верхній – 0-30 см шар сапропелевих покладів. Тому при проектуванні робіт потрібно передбачати або залишення цього шару на дні озера, що досягається сучасними технологіями добування сапропелів, або зняття і подальше зберігання його в спеціально відведених чеках для використання на сильно забруднених радіонуклідами землях згідно з існуючим регламентом для торфу. До ефективних прийомів, що знижують надходження радіонуклідів в рослини, слід віднести звичайну і глибоку оранку, внесення підвищених доз мінеральних добрив, вапнування кислих ґрунтів, впровадження сівозмін із наявністю бобово-злакових трав та сидеральних культур.

5.5. Головні аспекти регулювання токсикозного режиму ґрунту

Система управління токсикозним режимом передбачає застосування двох груп заходів, що забезпечують стабільну відсутність у ґрунті токсичних для рослин речовин. Перша (профілактична) група направлена на

недопущення надходження у ґрунт токсичних речовин (промислових відходів з атмосфери у ґрунт, забруднених водостоків, нормоване використання гербіцидів чи відмова від них, раціональне використання добрив та меліорантів ґрунту, тощо). Друга група заходів направлена на усунення вже наявних у ґрунті токсикантів вище рівня ГДК. До них належать промивання ґрунту, внесення хімічних меліорантів та адсорбентів, що сприяють переведенню токсичних речовин у зв'язану, індиферентну для рослин форму.

Серед токсичних розчинних солей, що зустрічаються у ґрунтах слід виділити Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaCl , Na_2SO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 . Найбільш токсичні нормальні карбонати (CO_3^{2-}) і хлориди. Токсичність Na_2CO_3 на порядок вища від токсичності NaCl . Токсичні також і не зв'язані з кальцієм бікарбонати (переважно NaHCO_3), але їх токсичність для більшості рослин у 3-3,5 рази нижча, ніж токсичність NaCl . Досить токсичними є і не зв'язані з кальцієм сульфати (переважно Na_2SO_4), але їх токсичність у 5-6 разів нижча від токсичності NaCl . До водорозчинних солей належать також CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 , з яких токсичною є MgCO_3 , а CaCO_3 і CaSO_4 (гіпс) не є токсичними, та ще й розчинність їх у воді досить низька. Але наявність у ґрунті гіпсу у великій кількості (гіпсові кори та ґрунти, *gypsyferous soils*) призводить до зниження родючості ґрунтів.

При надходженні токсичних солей у ґрунт з поливними та ґрунтовими водами, а також з добривами, зростає осмотичний тиск ґрунтового розчину, що викликає гальмування споживання рослинами води та елементів живлення з ґрунту. Внаслідок надмірного накопичення водорозчинних солей у ґрунтового розчині, зменшується біопродуктивність та якість продукції.

У нашій країні для засолених ґрунтів ще традиційно рекомендують аналіз водної витяжки (*soil extract analysis*), котрий дає змогу визначити тип (хімізм) та ступінь засолення ґрунту. В нас час ступінь засолення ґрунтів визначають, вимірюючи електропровідність (ЕС, *electrical*

conductivity) ґрунтових паст при повній вологоємності (ПВ) ґрунту. Водна витяжка дає змогу визначити вміст у ґрунті твердого залишку (total dissolved solids percent), але цей вміст можна розрахувати і за величиною електропровідності ґрунту (EC):

$$TDS \text{ (мг/л)} \approx EC \text{ (мф·см}^{-1}\text{)} \cdot 640,$$

де *TDS* – вміст твердого залишку;

EC – електропровідність у мілісіменсах на см.

Крім того, за величиною електропровідності (EC) можна приблизно розрахувати загальні вмісти катіонів чи аніонів:

$$ЗБК \text{ (ммоль(+)/л)} \approx EC \text{ (мф·см}^{-1}\text{)} \cdot 10,$$

$$ЗБА \text{ (ммоль(+)/л)} \approx EC \text{ (мф·см}^{-1}\text{)} \cdot 10,$$

де *ЗБК* та *ЗБА* – загальний вміст катіонів та аніонів у мілімоль на літр.

Осмотичний тиск у ґрунтових пастах при їх електропровідності від 3 до 30 децисіменсів на метр (мілісіменсів на сантиметр) можна розрахувати за формулою:

$$ОП \text{ (атм)} \approx EC \text{ (мф·см}^{-1}\text{)} \cdot (-0,36),$$

де *ОП* - осмотичний потенціал, що вимірюється від'ємним тиском.

Осмотичний тиск $ОТ = - ОП$.

Шкідлива дія солей залежить від виду рослин та їх віку, засолення ґрунту, тобто складу водорозчинних солей та інших ґрунтових умов (вмісту органічної речовини, гранулометричного складу, складу обмінних катіонів, тощо). Зважаючи на характер шкідливої дії солей, для кожного конкретного випадку розробляють меліоративні та агротехнічні заходи усунення токсичного впливу солей на біопродуктивність вирощуваних культур. Основним принципом усунення сольового токсикозу є строго диференційований підхід: на основі сольової зйомки та результатів ґрунтово-меліоративного обстеження галогенних земель розробляють конкретний комплекс заходів управління сольовим режимом. У нас час всі заходи оперативного впливу на ґрунт мають бути екологічно виваженими,

тобто пройти екологічну експертизу. Найбільш екологічно ефективними є заходи фітобіологічної меліорації.

Фітобіологічна меліорація полягає у правильному виборі сільськогосподарських культур, котрі можуть не лише добре рости і давати задовільні врожаї, а й створювати від'ємний сольовий баланс ґрунту. До таких рослин можна віднести різні види пирію, костер безостий, райграс французький, сорго, цукровий буряк, брюкву, вівсяницю лучну, безкльницю, кормову капусту, тощо. На слабо і середньо засолених ґрунтах можна отримувати непогані врожаї ячменю, жита, вівса, пшениці на зелений корм та сіно, спаржі, тимофіївки, люцерни, буркуна, польового гороху, проса, вики та кінських бобів.

Хімічна меліорація направлена на зміну реакції ґрунту та співвідношення солей внесенням хімічних речовин, переважно гіпсу. Встановлено, що суміші солей менш токсичні, ніж кожна з цих солей окремо, що пояснюється їх антагоністичною дією. При хімічній взаємодії меліоранта з солями ґрунтового розчину, відбуваються реакції внаслідок яких утворюються нові солі, менш токсичні, ніж вихідні. Однак слід враховувати і можливість зворотного явища при неправильних хімічних меліораціях. Наприклад, внесення вапна на засолений сульфатами натрію ґрунт спричиняє до утворення найбільш токсичної солі – Na_2CO_3 .

Але токсикозний режим ґрунту – це не лише вплив на нього розчинних солей. І коли мова йде про внесення гіпсу, то зрозуміло, що цей меліорант буде більш ефективним на солонцюватих-засолених ґрунтах (sodic-saline soils) чи на солонцюватих і незасолених ґрунтах (sodic soils). Содова солонцюватість створює найбільшу лужність ґрунту і реакцію ґрунтового розчину, яку не витримують більшість рослин.

А на кислих ґрунтах токсичність може спричинити надлишок алюмінію у ґрунтовому розчині, особливо на ґрунтах важкого гранулометричного складу, де достатньою мірою присутній алюмосилікатний комплекс мінералів. На таких ґрунтах слід вносити вапно у повній нормі за

гідролітичною кислотністю, котру можна визначати за спрощеною процедурою метода Каппена, тобто за рН суспензії ґрунту (40 г) та 1Н CH_3COONa (100 мл) після одногодинного збовтування. При цьому гідролітичну кислотність ґрунту можна визначити за спеціальною таблицею чи розрахувати за формулою (Л.Р. Петренко, Є.М. Бережняк):

$$H_2 = 7,66 \cdot 10^6 \exp(-2,167pH_s),$$

де H_2 – гідролітична кислотність ґрунту в мг.-екв. на 100 г ґрунту;

pH_s – рН суспензії отриманої за вказаними вище умовами аналітичної процедури.

Доза вапна (CaCO_3) розраховується за формулою:

$$D(\text{CaCO}_3) \text{ м/га} = 0,05 \cdot H_2 \cdot h \cdot d,$$

де h – глибина (см) шару, у який потрібно заробити вапняковий матеріал;

d – щільність складення ґрунту у цьому шарі, г/см^3 чи т/м^3 .

Окремі сільськогосподарські культури добре розвиваються на кислих ґрунтах, але при підвищенні вмісту рухомого алюмінію різко знижують врожайність. По відношенню до вмісту рухомого алюмінію в ґрунті рослини поділяють на чотири групи:

1. Стійкі до високого вмісту – тимофіївка, овес, кукурудза;
2. Середньостійкі – люпин, горох, вика, квасоля;
3. Чутливі – ячмінь, льон, озиме жито;
4. Дуже чутливі – люцерна, конюшина, цукрові буряки, озима пшениця.

При $\text{pH}_{\text{КСІ}}$ понад 5 рухомість алюмінію знижується.

Гідромеліорація. Для видалення шкідливих солей з кореневмісного (активного) шару ґрунту на зрошуваних масивах вдаються до промивання ґрунту з одночасним влаштуванням дренажу для відведення промивних вод. На практиці цього досягають 1,5-2-кратним підвищенням зрошувальних норм з урахуванням характеру вилуговування ґрунту від солей. Орієнтовно, для того щоб зменшити на 80% вміст розчинних солей

у суглинковому чи глинистому засоленому ґрунті на 1 метр активного шару цього ґрунту треба пропустити через нього 1 метр прісної води (тобто $10\,000\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$). Таку орієнтовну норму промивання можна розрахувати за теоретично виведеною Л.Р. Петренком формулою:

$$НП, м = h[3 - \ln(12,5 - c_1/c_2)],$$

де *НП* – норма промивання в метрах водяного стовпа;

h – глибина засоленого активного шару ґрунту, м;

*c*₁ – початкова (вихідна) концентрація солей у активному шарі ґрунту, %;

*c*₂ – кінцева (бажана, доцільна, допустима) концентрація солей у цьому ж шарі, %.

Для більш точного розрахунку концентрації можна замінити на відповідні запаси солей (т/га). Для ще більш точного встановлення норми промивання варто звернутися до відомих у меліорації формул (В.Р. Волобуєва та ін..)

Агротехнічна меліорація є важливим доповненням до інших заходів, що підвищує їх ефективність. На слабо засолених ґрунтах вона має самостійне значення. До заходів агротехнічної меліорації належать: глибоке меліоративне розпушування ґрунту, внесення підвищених норм органічних добрив, недопущення утворення кірки частими розпушуваннями, мульчування поверхні ґрунту, снігозатримання, лиманне зрошення, впровадження правильних сівозмін, котрим останнім часом не приділяють достатньої уваги, через що прогресує виснаження і деградація ґрунтів.

Перспективна система управління токсикозним режимом ґрунтів передбачає удосконалення всіх видів меліорацій та вибір найбільш ефективних їх поєднань (комплексів). Потрібно досконало вивчити фізіологічну реакцію сільськогосподарських культур та інших рослин на різні види ґрунтового токсикозу, щоб таким чином виявити ефективні

рослини-фітомеліоранти. Необхідно також розробити нові технологічні заходи застосування хімічних меліорантів та розширити їх асортимент.

Важливе практичне значення можуть мати розробки по вивченню різних поєднань видів меліорацій у загальній системі управління родючістю ґрунтів з несприятливим токсикозним режимом .

Є велика потреба у випуску приладів і датчиків, котрі дозволяють б оцінювати ситуації токсикозного режиму ґрунту безпосередньо у полі, при вологості ґрунту, що дозволяє це зробити. Адже зрозуміло, що лабораторні дослідження ґрунту направлені вже на іншу систему, не ту що була у полі. Наприклад, вже при висушуванні зразків ґрунту у них можуть з'явитися карбонати (закипання від 10% HCl), котрі не виявлялися при обстеженнях у полі. Відновлені форми Fe та Mg можуть при цьому частково окислятися. І взагалі слід пам'ятати у якій системі ми управляємо режимами – тій, що перебуває в польових умовах чи тій, що доводиться до певних кондицій для подальших лабораторних досліджень. Адже не секрет, що у ДСТУ зазначається, що активна кислотність ґрунту це кислотність ґрунтового розчину чи водної витяжки чи суспензії, хоча насправді це три різні системи, а для управління режимами нас цікавить кислотність ґрунтового розчину у польових умовах, характер її динаміки під час вегетації різних культур, тощо.

Для переважної частини автоморфних ґрунтів, у тому числі і зрошувальних прісними водами, особливої небезпеки накопичення токсичних речовин немає. Хоча і в цьому випадку варто звернути увагу на те чого більше (мг.-екв. на літр) Ca^{2+} чи Mg^{2+} навіть у воді невисокої мінералізації. Якщо Mg^{2+} більше ніж Ca^{2+} , то вже має бути зрозумілим, що користі від такої води не буде, а при високих нормах зрошення може відбутися і розвиток вторинного магнезого осолонцювання ґрунту, про що свідчать численні публікації у 80-ті роки про використання для зрошення води з озера Сасик («розведеною» дунайською водою).

За умов інтенсивного землеробства зростає вірогідність забруднення ґрунтів залишками добрив, отрутохімікатів, гербіцидів та ін.. Раніше рекомендувалося на «сигнальних» полях (з інтенсивним застосуванням хімікатів) проводити контроль токсикозного режиму ґрунту і, в разі потреби, вдаватися до заходів його детоксикації.

Серед мінеральних добрив у цьому відношенні найбільш небезпечні азотні, так як нітрат- та нітритіони на певному рівні накопичення у продуктах харчування викликають захворювання нирок, нервової системи, печінки, тощо. Накопичення нітратів в рослинній продукції в токсичних кількостях відбувається через недотримання технології оптимізації поживного режиму ґрунтів: внесення невиправдано високих норм добрив, незбалансовість живлення, особливо при недостатчі фосфору, ігнорування фізіологічних особливостей живлення рослин у органогенезі.

Потенціально небезпечними у відношенні накопичення мінеральним азотом ґрунтових та поверхневих вод, ґрунту і рослинної продукції є органічні добрива, що їх отримують з великих тваринницьких комплексів (feedlots) промислового типу. У стічних водах у таких комплексів концентрації органічних та мінеральних солей у багато разів вищі, ніж у побутових стоках. Наприклад, у стічних водах свинарських комплексів вміст сухої речовини може досягати 10 г/л, вміст азоту у формі аміаку складає 0,4-0,5 г/л. Таким чином, маючи високу удобрювальну цінність, рідкий гній при безсистемному його використанні у високих нормах стає джерелом забруднення ґрунту та навколишнього середовища. Для зниження концентрації мінерального азоту в ґрунтовому розчині використовують повільно діючі азотні добрива, а також їх дробне внесення. В таких випадках, азот, що надходить в ґрунт, (нітратний) поглинається рослинами, не створюючи надмірної концентрації у ґрунтовому розчині. З точки зору екології, це цілком виправдано, насамперед, для ґрунтів легкого гранулометричного складу. Локальне внесення добрив порівняно з традиційним уроzkид забезпечує високий

коефіцієнт використання поживних речовин з добрив та зменшення їх непродуктивних втрат. Слід також пам'ятати про те, що коефіцієнт використання поживних речовин з ґрунту, як показує аналіз кривих реагування (response curves), зменшується при підвищенні доз, що вносяться з добривами, що цей коефіцієнт ніколи не буває стійкою величиною, як це вважають при розробці методів розрахунку балансу того чи іншого елемента живлення, наприклад у сівозміні.

У перспективі, великого значення у системі управління токсикозним режимом ґрунту має набути пошук ефективних препаратів комплексної дії, наділених гербіцидним, інсектицидним, нематоцидним та іншими ефектами. У плані екології, використання таких препаратів стане більш ефективним, ніж окремих препаратів та добрив специфічної дії. Особливої уваги заслуговує питання поєднаного внесення добрив та гербіцидів. Добрива підсилюють ріст не лише культурних рослин, а й бур'янів, а в комплексі з гербіцидами – лише культурних рослин. Як вже зазначалося, більшість культурних рослин, вирощуваних в Україні, не витримують надмірного вмісту в ґрунтовому розчині водню (кислот), рухомого алюмінію та лугів. Рухомість всіх елементів живлення у ґрунті дуже залежить від реакції середовища. В даному випадку токсикозний та поживний режим ґрунту утворюють єдину систему, якою треба правильно управляти. При кислій та лужній реакції ґрунту рослини втрачають здатність поглинати елементи живлення і одночасно збільшують поглинання марганцю, алюмінію та заліза, що негативно впливає на їх ріст та розвиток. Наприклад, найбільша рухомість азоту у ґрунті спостерігається в межах рН ґрунтового розчину від 6,0 до 8,5. При нижчих значеннях рН страждає процес нітрифікації, а при вищих – виникають газоподібні втрати азоту у формі аміаку. Для P_2O_5 найвища рухомість в ґрунті характерна в діапазоні рН від 6,5 до 7,5, хоча вона і зростає у високолужних ґрунтах, котрі є дуже токсичними з інших причин. Для K_2O зберігається висока рухомість при $pH > 6$, а для заліза при $pH < 6$.

Марганець і бор мають достатню рухомість при рН 5,0-7,0. Але у високолужних ґрунтах (рН>8,7) рухомість бору знову зростає. При рН<7 різко зменшується доступність рослинам молібдену. Все це треба враховувати, здійснюючи одночасне управління режимом елементів живлення та токсикозним режимом ґрунту. Але і тут виникає дилема між оптимальним рН ґрунтового розчину для поживного режиму (рН 6,5) та втратою Ca^{2+} і руйнуванням структури ґрунту, для яких було б добре мати рН ґрунтового розчину 7,0-7,2. Якщо враховувати специфічні вимоги до реакції середовища і режиму елементів живлення різних культур, стає зрозумілим чому управління ґрунтовими режимами є дуже складним.

Вибір і обґрунтування критеріїв оцінки стану земельних ресурсів відносно забруднення є складовою частиною ширшої проблеми – проблеми нормування антропогенних навантажень на екосистеми. За об'єктивними еколого-токсикологічними критеріями можна не тільки визначати екологічну ситуацію на конкретній території, але і оцінювати характер антропогенного впливу на оточуюче середовище.

Найбільшу небезпеку для навколишнього середовища становить забруднення ґрунтів радіонуклідами, важкими металами і пестицидами. Найбільш інтенсивне забруднення ґрунтів важкими металами відмічається поблизу джерела забруднення. З віддаленням від нього рівень забруднення ґрунтів зменшується. Рівень забруднення ґрунтів залишковими кількостями пестицидів та радіонуклідами у різних регіонах країни також має специфічні відміни. У ґрунтах діють механізми, які призводять до трансформації техногенних потоків, зв'язування ксенобіотиків в малорухомі і не доступні для рослин форми. Проте діють ці механізми у певних межах. Тому екологічна ситуація, що обумовлена техногенним впливом на ґрунти, може змінюватися від благополучної до катастрофічної.

Тому в залежності від ступеня техногенного забруднення, слід вживати відповідних заходів з підтримання або відтворення екологічної стійкості

земельних ресурсів. На думку В.І. Кисіля [17,19], доцільно розділити ці заходи на три типи:

1. Профілактичні
2. Оперативні
3. Перспективні

Профілактичні заходи – це такі , що запобігають розвитку процесів техногенного забруднення ґрунтів. Вони можуть бути або технічного характеру, тобто спрямовані на вдосконалення очисних споруд на промислових підприємствах, модернізацію знарядь для внесення мінеральних добрив і пестицидів , або технологічного плану, тобто, спрямовані на суворе дотримання екологічних вимог до промислового чи сільськогосподарського виробництва. Ці заходи найбільш доцільні на територіях із сприятливою, задовільною і передкризовою екологічною ситуацією.

Оперативні заходи необхідні у випадках термінового реагування на різке погіршення екологічного стану земель внаслідок порушення технологічної дисципліни на промислових підприємствах, сільськогосподарському виробництві або при виникненні аварійних ситуацій. Такі заходи повинні вживатися на територіях із кризовою екологічною ситуацією для недопущення подальшого погіршення стану земель.

На сільськогосподарських угіддях в разі різкого погіршення їх екологічного стану слід збільшити норми внесення гною, застосувати кальцієвмісні сполуки, переорієнтувати характер використання продукції, наприклад, з харчових цілей на технічні , і т.д. На землях несільськогосподарського призначення з відповідним видом імпактного забруднення необхідно використовувати радіопротектори , кальцієвмісні сполуки, цеоліти, адсорбенти різних видів, фітомеліоранти, тощо.

Слід звернути особливу увагу на ґрунти, що містять у собі великі кількості радіонуклідів, важких металів, нафтопродуктів та інших

токсичній речовин. Коли це стосується сільськогосподарських угідь, найпершим оперативним заходом є виведення цих земель з категорії «сільськогосподарського призначення» до зон відчуження. У подальшому ці землі підлягають або консервації, або, коли це виправдано, - детоксикації.

Перспективні заходи – це заходи для створення умов екологічної рівноваги у природному середовищі, а відтак і екологічної стабільності земель. Ці заходи включають:

1. Зміцнення служби контролю за діяльністю атомних електростанцій та підприємств хімічної і важкої індустрії;
2. Створення державного науково-технічного центру з розробки нових систем очисних споруд для відповідних шкідливих підприємств;
3. Вирішення проблеми комунальних відходів, впровадження сучасних технологій їх утилізації;
4. Розробка суворих екологічних вимог до застосування нових неадаптованих до умов України іноземних пестицидів;
5. Вдосконалення правового забезпечення охорони земельних ресурсів від техногенного забруднення.

Такі заходи, на думку В.І. Кисіля [17,19]., треба покласти в основу концепцій екологічної безпеки земельних ресурсів України стосовно забруднення. Ці концепції мають забезпечити оцінку, контроль, охорону, підтримку і відтворення екологічної стійкості земельних ресурсів, без якої ефективно управління токсикозним режимом окремих ґрунтів неможливе. Разом з тим, заходи детоксикації на окремих ґрунтових об'єктах сприятимуть створенню ефективної системи управління екологічним станом земельних ресурсів України.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Як , на Вашу думку, можна визначити токсикозний режим ґрунту і в яких аспектах він може проявитися?
2. Що таке токсикозний режим засолених ґрунтів і що спричиняє його розвиток?
3. Заходи послаблення токсикозного впливу розчинних солей на сільськогосподарські культури. Які з цих заходів профілактичні та оперативні?
4. Що Вам відомо про техногенне забруднення ґрунтів України та зональність його прояву?
5. Що Вам відомо про радіоактивне забруднення ґрунтів України та заходи по його подоланню?
6. Які заходи Ви б рекомендували для зменшення (усунення) пестицидного забруднення ґрунтів України?
7. Як відрізнятимуться між собою заходи послаблення токсикозного режиму ґрунтів зони Полісся та Лісостепу України?
8. Які б Ви запропонували перспективні заходи для створення умов екологічної рівноваги у природному середовищі і, зокрема, в ґрунтах?
9. Як би Ви запропонували враховувати прояв різних аспектів токсикозного режиму ґрунту у бонітуванні ґрунтів і якісної оцінки земель?
- 10.Що Вам відомо про фітобіологічну меліорацію в системі заходів покращення токсикозного режиму ґрунтів?

6. РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКЦІЇ ГРУНТОВОГО РОЗЧИНУ

6.1. Регулювання реакції ґрунтового розчину кислих ґрунтів

В Україні понад 11 млн. га дерново – підзолистих, сірих, лісових, буроземних ґрунтів, чорноземів опідзолених і вилугуваних з підвищеною кислотністю, з яких 7,8 млн. га орних земель і понад 3 млн. га – природні кормові угіддя.

На значних площах, у ґрунтах з нейтральною реакцією спостерігаються процеси декальцинації, що призводить до інтенсивного їх підкислення і зниження продуктивності. Явище підкислення ґрунтів має прихований, а в багатьох випадках – вторинний характер. Спочатку відбувається процес декальцинації, а пізніше спостерігається підкислення ґрунту. Нерідко вже провапновані ґрунти знову стають кислими. З'являються кислі ґрунти і в районах де їх раніше не було.

Причин підкислення багато. Найбільш істотними з них є кислотні дощі, низький рівень удобрення ґрунтів органікою, необґрунтовано інтенсивне застосування засобів хімізації в землеробстві. Всі вони переважно антропогенного походження.

Тому дуже важливо забезпечити всебічне вивчення природи кислотності ґрунтів і розробці методів регулювання реакції ґрунтового розчину.

6.1.1. Визначення потреби ґрунтів у вапнуванні

Для підвищення родючості кислих ґрунтів, покращення їх фізичних властивостей, структурного стану, регулювання реакції ґрунтового середовища, підвищення ефективності органічних і мінеральних добрив необхідно проводити хімічну меліорацію ґрунтів, спрямовану на підвищення ступеню їх насичення кальцієм. Підвищення насичення кальцієм потребують не тільки ґрунти зони Полісся; високі результати від цього заходу отримують і на опідзолених чорноземах та сірих лісових ґрунтах.

Потреба ґрунтів у вапнуванні визначається комплексом показників: ступенем та величиною кислотності ґрунту, ступенем насиченості його основами, гранулометричним складом, вмістом органічної речовини та відношенням культур сівозміни до реакції середовища тощо.

За мірою кислотності та потребою у вапнуванні ґрунти України поділяють на 5 груп (табл. 59).

Таблиця 59

Потреба ґрунтів України у вапнуванні залежно від pH_{KCl}

Міра кислотності	pH_{KCl}	Потреба у вапнуванні
Дуже сильна	<4,0	Потребує першочергового вапнування в усіх типах сівозмін
Сильна	4,1-4,5	Те саме
Середня	4,6-5,0	Першочергова потреба вапнування в овочевих сівозмінах та кормових на супіщаних та суглинкових ґрунтах; середня потреба у польових сівозмінах на піщаних ґрунтах
Слабка	5,1-5,5	Велика потреба у вапнуванні супіщаних і суглинкових різновидностей, особливо в сівозмінах з травами, кормових та овочевих. В останню чергу вапнують піщані та глинисто-піщані ґрунти
Близька до нейтральної	5,6-6,0	Вапнуються вибірково супіщані та суглинкові ґрунти і в першу чергу в сівозмінах з вимогливими до вапна культурами. Не потребують вапнування ґрунти з pH_{KCl} понад 6,5, незалежно від зони їх поширення

Для визначення потреби ґрунтів у вапнуванні за величиною гідролітичної кислотності користуються шкалою, наведеною в табл. 60.

За ступенем насиченості основами та потребі у вапнуванні ґрунти поділяють на 4 групи:

<50% - необхідно вапнувати в першу чергу;

50-70% - є потреба у вапнуванні;

70-90% - вапнування проводять з урахуванням набору культур у сівозміні та рівня внесення мінеральних добрив;

>90% - вапнування не потрібне.

За реакцією на вапнування сільськогосподарські культури також поділяють на 4 групи:

1. Конюшина, люцерна, столові, кормові та цукрові буряки, капуста, коноплі, ріпак - дуже добре реагують на вапнування;

2. Пшениця, кукурудза, ячмінь, горох, соняшник, огірки, цибуля - добре реагують на вапнування;

3. Жито, овес, гречка, льон, томати - сприятливо реагують на вапнування;

4. Картопля, люпин, брюква, середела - мають слабку реакцію на вапнування.

**Потреба ґрунтів України у вапнуванні залежно від
гідролітичної кислотності**

Гідролітична кислотність, мг-екв/100 г ґрунту	Потреба у вапнуванні
>4	Ґрунти потребують першочергового вапнування в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України
4-3	Ґрунти потребують першочергового вапнування в зонах Полісся та Лісостепу. Середня потреба у вапнуванні ґрунтів Прикарпаття та Західного Лісостепу, слабка - в гірських районах Карпат
3-2	Середня потреба ґрунтів у вапнуванні в зонах Полісся та Лісостепу, слабка - в Прикарпатті, відсутня - в гірських районах Карпат
2-1,8	Доцільне вапнування опідзолених ґрунтів Лісостепу; необхідне - на Поліссі на супіщаних, піщаних та глинисто-піщаних ґрунтах
1,8-1,5	Слабка потреба у вапнуванні піщаних та глинисто-піщаних ґрунтів
<1,5	Вапнування не потребують

Примітка Якщо в чорноземах Лісостепу лінія скипання карбонатів знаходиться на глибині понад 50 см, а гідролітична кислотність перевищує 2 мг-екв/100 г ґрунту, то в зерно-бурякових сівозмінах вапно слід вносити раз на ротацію під цукрові буряки чи багаторічні трави.

Важкі за гранулометричним складом кислі ґрунти легше переносять підвищені норми вапна. На легких ґрунтах доцільно вносити менші дози.

Реакція ґрунтового середовища має особливо важливе значення для плодкових насаджень. Нормальною реакцією вважається pH_{H_2O} 6-8. На кислих ґрунтах при рН нижче 5 для зерняткових і при рН нижче 6 для

зерняткових порід необхідне вапнування. При виборі ділянок під сади і визначенні потреби ґрунтів у вапнуванні користуються шкалою, наведеною в табл. 61.

Таблиця 61

Оцінка реакції ґрунтового середовища під плодові насадження (за В.Ф.Вальковим)

pH_{H_2O}	Придатність під сади і потреба ґрунту у вапнуванні
<3,5	Під сади не придатні
3,5-4,5	Придатні під плодові насадження лише після вапнування
4,5-6,0	Придатні під плодові насадження, бажане вапнування для кісточкових порід
6,0-8,0	Придатні під сади без меліорацій
8,0-8,5	Добрі ґрунти для кісточкових і задовільні для зерняткових порід
>8,5	Під сади не придатні

6.1.2. Методи визначення доз вапна

В Україні, в усіх зонах поширення кислих ґрунтів, незалежно від вирощуваних культур, дозу вапна визначають за величиною гідролітичної кислотності ґрунту:

$$D = \frac{0.5 \cdot H_{г} \cdot S \cdot h \cdot dv}{100}$$

де D – доза CaCO_3 , т/га;

0.5 – кількість грамів CaCO_3 необхідних для нейтралізації 1 мг-екв. кислотності в 1 кг ґрунту;

$H_{г}$ – гідрологічна кислотність, мг.екв. на 100 г ґрунту;

S – площа 1 га – 10000 м²

h – глибина шару ґрунту, в який вноситься вапно, м;

dv – щільність ґрунту, г/см³.

В останні роки для розрахунку норм вапна в Україні широко використовується нормативний метод – за величиною витрати CaCO_3 для зміни рН на 0,1 (табл. 62).

Дозу розраховують за формулою:

$$D = 10 \cdot \Delta pH \cdot X$$

де D – доза CaCO_3 , т/га;

ΔpH – різниця між оптимальним і фактичним значенням pH_{KCL}

($\Delta pH = pH_{\text{опт.}} - pH_{\text{факт.}}$);

X – норма витрат CaCO_3 на зміщення pH_{KCL} на 0.1, т/га;

10 – коефіцієнт перерахунку на весь діапазон зміни рН.

Допускається визначення дози вапна за показниками pH_{KCL} і гранулометричним складом для кислих ґрунтів Полісся, а також піщаних та супіщаних ґрунтів західних регіонів України. Ці дози вапна (табл.63) приблизно відповідають 0.5 – 0.75 дози, які встановлюють за показниками гідролітичної кислотності.

Однак, результати досліджень і практика агрохімічної служби свідчать, що дози вапна, визначені за таблицею, не дають повного ефекту. При вапнуванні такими дозами не досягаються задані параметри реакції ґрунтового розчину, а позитивний вплив на урожайність культур обмежується 4 – 5 роками.

Таблиця 62

**Нормативи витрат вапнякових меліорантів для кислих ґрунтів
України (Грінченко Т.О., 1991)**

Гранулометричний склад ґрунту	Інтервал рН _{КСІ}	Норматив витрат СаСО ₃ для зміни рН _{КСІ} на 0,1, т/га
Дерново-підзолисті		
Піщаний і супіщаний	<4,5	0,45
	4,6 – 5,0	0,61
	5,1 – 5,5	0,63
Легко- і середньосуглинковий	<4,5	0,71
	4,6 – 5,0	0,81
	5,1 – 5,5	0,84
Сірі лісові і чорноземи опідзолені		
Піщаний і супіщаний	<4,5	0,48
	4,6 – 5,0	0,62
	5,1 – 5,5	0,65
Легко- і середньосуглинковий	<4,5	0,66
	4,6 – 5,0	0,80
	5,1 – 5,5	0,91
Важкосуглинковий	<4,5	0,68
	4,6 – 5,0	0,81
	5,1 – 5,5	0,93

При застосуванні підвищених доз мінеральних азотних добрив кислотність ґрунтового розчину підвищується. На кожний центнер фізіологічно кислих добрив необхідно додатково вносити вапно (табл. 64).

Отже, при встановленні дози вапна потрібен диференційований підхід до вибору методу: на високобуферних ґрунтах її визначають за гідрологічною кислотністю; на слабкобуферних легкого гранулометричного складу – за рН сольової витяжки, а при наявності місцевих диференційованих нормативів – за величиною витрачення CaCO_3 , для заміщення рН на 0,1. Останній можна застосовувати під час розрахунків загальної потреби сільського господарства у вапнякових добривах, а також у разі проведення додаткового вапнування та з метою оптимізації реакції ґрунтового розчину кислих ґрунтів на полях з інтенсивними технологіями вирощування культур.

Таблиця 63

Дози CaCO_3 для вапнування кислих ґрунтів легкого гранулометричного складу при різній глибині орного шару, т/га

ґрунти	Обмінна кислотність, рН _{КСІ}								
	<4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	<4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	<4,5	4,6-5,0	5,1-5,5
Шар	0-20 см			0-25 см			0-30 см		
Піщані	3,7	2,5	1,2	4,6	3,1	1,5	5,0	3,7	1,9
Супіщані	4,4	3,4	1,9	5,5	4,1	2,4	6,5	5,0	2,7

**Дози CaCO₃ для нейтралізації фізіологічно кислих добрив,
ц на 1 ц добрив**

Назва добрив	Хімічна формула	Доза CaCO₃
Хлористий амоній	NH ₄ Cl	1,40
Сульфат амонію	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,20
Сульфат амонію-натрію	(NH ₄) ₂ SO ₄ · Na ₂ SO ₄	0,90
Амонійна селітра	NH ₄ NO ₃	0,75
Амонійна вода	NH ₃ + H ₂ O	0,40
Аміак безводний	NH ₃	2,90
Сечовяна	CO(NH ₂) ₂	0,80
Амофос	NH ₄ H ₂ PO ₄	0,65

Якщо для вапнування ґрунтів застосовують матеріали, котрі містять крім CaCO₃ інші форми кальцію та магнію (наприклад, доломітове борошно, гідроксид кальцію, магнію), то під час розрахунків доз вапна їх потрібно переводити в CaCO₃. Коефіцієнти переводу наведені в табл. 65.

**Коефіцієнти для перерахунку різних меліорантів із сполуками
кальцію й магнію в CaCO₃**

Назва сполуки	Хімічна формула	Коефіцієнт перерахунку
Карбонат магнію	MgCO ₃	1,20
Оксид кальцію	CaO	1,78
Оксид магнію	MgO	2,50
Гідроксид магнію	Mg(OH) ₂	1,72
Гідроксид кальцію	Ca(OH) ₂	1,35

Приклад. Якщо вапняковий матеріал містить 50% CaCO₃ та 40% MgCO₃, то вміст вапна у перерахунку на CaCO₃ складає не 90, а 98% (50+(40*1,2))

Під час вапнування ґрунтів слід розрізняти дози CaCO₃ і фізичні норми конкретних вапнякових матеріалів. У розрахунку фізичної норми слід вводити поправки на вміст вологи, домішок і недіяльних (надто великих) часток CaCO₃:

$$N_{\text{ф}} = \frac{D_{\text{CaCO}_3} \cdot 100^3}{(100 - W) \cdot (100 - B) \cdot C}$$

де $N_{\text{ф}}$ – фізична норма вапнякового матеріалу, т/га;

D_{CaCO_3} – рекомендована доза CaCO₃, т/га;

W – вміст вологи в матеріалі, %;

B – вміст недіяльних часток матеріалу, розміром понад 3 мм, %;

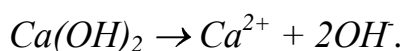
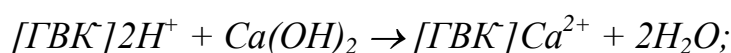
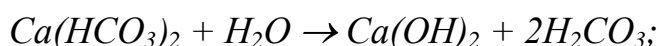
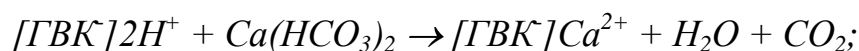
C – сума карбонатів (CaCO₃ і MgCO₃) в матеріалі, %.

6.1.3. Строки і місце внесення вапна у сівозмінах

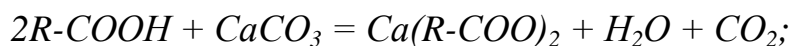
Оптимальні умови реакції ґрунтового розчину для розвитку сільськогосподарських культур у сівозмінах регулюють агротехнічними заходами: дозою вапнякового матеріалу, його видом і якістю, місцем, строками та способом внесення.

Для регулювання кислотності ґрунту застосовують різні меліоранти. Найчастіше це осадові породи, які складаються переважно з кальциту (CaCO₃), доломіту (CaCO₃·MgCO₃), тощо.

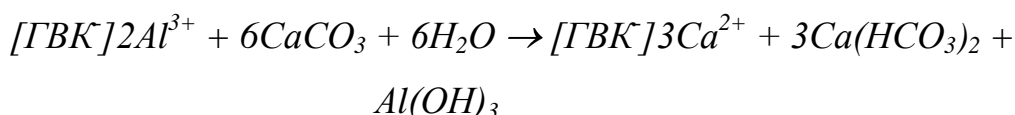
При взаємодії вапна з ґрунтом відбуваються наступні реакції:



Вапно взаємодіє також з вільними органічними кислотами і азотною, яка утворюється внаслідок нітрифікації, нейтралізуючи їх:

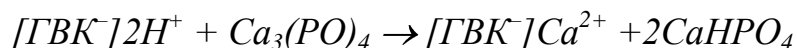


На кислих ґрунтах, які містять алюміній в обмінній формі, з вуглекислим кальцієм відбувається наступна реакція:



Кальцій переходить у ввібраний стан, а ґрунтовий розчин збагачується на бікарбонат кальцію.

На ґрунтах з гідролітичною кислотністю понад 5 мг-екв на 100 г ґрунту (сильно кислі), нейтралізуючу дію на ґрунт чинить фосфоритне борошно:



Фосфорит переходить у більш розчинну сполуку, чим досягається краще живлення рослин фосфором.

Враховуючи різне ставлення сільськогосподарських культур до реакції ґрунтового розчину, вапно вносять з таким розрахунком, щоб його максимальна дія проявлялась на культурах першої і другої груп, та меншою мірою – на культурах третьої й четвертої.

Кращий спосіб внесення вапнякових матеріалів під дискування з подальшою оранкою плугом з передплужником. Чим довший період взаємодії вапна з ґрунтом, тим вища його ефективність. Після внесення вапнякових матеріалів сприятлива реакція ґрунтового середовища встановлюється поступово, тому вапно бажано вносити у відповідності з особливостями культури що висівається, враховуючи спеціалізацію сівозміни (табл.66).

З організаційних причин не завжди вдається провести вапнування в теплу пору року. Допускається внесення вапна взимку по зябу або не ораному полю на рівних за рельєфом площах, чи пологих схилах (до 4 - 5°) у безвітряні дні; по неглибокому свіжому снігу (не більше 20 см) під вимогливі до вапна культури або їх попередники на вперше освоєних землях, луках і пасовищах.

Таблиця 66

Місце внесення вапна в сівозмінах різної спеціалізації

Сівозміна	Місце внесення вапна
Зернотрав'яна	У пару під озимі, під ярі культури, особливо з підсівом багаторічних трав
Кормова прифермерська	У пару під озимі, під ярі культури, особливо з підсівом багаторічних трав і під кормові коренеплоди
Зерно-льонотрав'яна	Під покривні для конюшини культури
Зернокартопляна	Безпосередньо під картоплю перед оранкою, можна поверхнево по сходах або після картоплі
Овочева	Під капусту і буряк чи їх попередники; під картоплю або по її сходах
Зернобурякова	Під буряк, у сівозмінах з багаторічними травами під покривну культуру

Не рекомендується проводити вапнування взимку на землях, що затоплюються навесні, а також під час відлиг та бездоріжжя. На практиці рекомендується використовувати календар робіт із вапнування (табл.67).

Календар робіт із вапнування кислих ґрунтів

Місяць	Місце проведення робіт
Квітень – травень	Під культури ярого сіву і перш за все під покрив багаторічних трав
Червень – серпень	Після збирання парозаймаючих культур і трав першого та другого років використання під озимі
Вересень – жовтень	Після збирання озимих, ярих і просапних культур
Листопад – березень	По мерзлому ґрунту або снігу на рівних полях, під всі ярі культури (крім картоплі і льону) на вперше освоєних землях, луках і пасовищах

Під час складання плану робіт необхідно приймати до уваги міру потреби ґрунтів у вапнуванні, особливості дії вапнякових матеріалів на окремі культури і враховувати технологію їх вирощування.

6.2. Регулювання реакції ґрунтового розчину лужних (солонцюватих) ґрунтів

6.2.1. Визначення потреби ґрунтів у гіпсуванні

При вирішенні питань хімічної меліорації солонців і солонцюватих ґрунтів, яких на території України понад 4 млн. га, важливо встановити ступінь їх солонцюватості. Даний показник відображає, в якій мірі ґрунтовий вбирний комплекс насичений обмінним натрієм.

Ступінь солонцюватості розраховують за формулою:

$$A = \frac{a \cdot 100}{E_o} ,$$

де А – ступінь солонцюватості, % від МКО;
а – вміст обмінного натрію, мг-екв на 100 г ґрунту;
Ео – ємність катіонного обміну, мг-екв на 100 г ґрунту;
100 – коефіцієнт для перерахунку в проценти.

Згідно з класифікацією Антипова-Каратаєва, залежно від вмісту увібраного натрію в орному шарі (% від МКО) ґрунти поділяють на 5 груп (табл. 68).

Приклад розрахунків. Вміст обмінного натрію в ґрунті – 9,6; величина МКО – 35,4 мг-екв на 100 г ґрунту. Підставляючи дані у формулу отримуємо:

$$A = \frac{9,6 \cdot 100}{35,4} = 27,1\%$$

Отже, згідно з класифікацією Антипова-Каратаєва даний ґрунт слід віднести до солонців.

Таблиця 68

Класифікація солонцюватих ґрунтів за Антиповим-Каратаєвим

Ступінь солонцюватості ґрунту	Вміст обмінного натрію, % від МКО
Несолонцюватий	<5
Слабкосолонцюватий	5-10
Середньосолонцюватий	10-15
Дуже солонцюватий	15-20
Солонець	>20

Ступінь солонцюватості ґрунту можна визначити за ілювіальністю профілю. Розрахунки ведуть за формулою:

$$N = \frac{B - A}{A + B} \cdot 100 \quad ,$$

де N - ступінь ілювійованості профілю, %;

A – вміст мулу в елювіальному горизонті, %;

B - вміст мулу в ілювіальному горизонті, %;

100 – коефіцієнт для перерахунку в проценти.

Оцінку ступеня солонцюватості здійснюють за шкалою (табл. 69).

Градації ґрунтів за ступенем солонцюватості

Ступінь солонцюватості ґрунту	Ступінь ілювіюваності профілю, %
Несолонцюватий	<4
Слабкосолонцюватий	4-12
Середньосолонцюватий	12-19
Дуже солонцюватий	19-27
Солонець	>27

Для оцінки інтенсивності солонцевого процесу інститутом ґрунтознавства і агрохімії УААН запропоновано визначати співвідношення активності іонів Na^+ і Ca^{2+} у ґрунтовому розчині. За даним показником ґрунти поділяють на 6 градацій (табл. 70).

Таблиця 70

Межі інтенсивності солонцевого процесу за співвідношенням активності іонів Na^+ та Ca^{2+}

Інтенсивності розвитку солонцевого процесу	$a \text{Na}^+ / a \text{Ca}^{2+}$
Процес не розвивається	< 0,5
Розвивається дуже повільно	0,5-1,5
Розвивається повільно	1,5-3,0
Розвивається дуже прискорено	3,0-6,0
Розвивається інтенсивно	6,0-10,0
Розвивається дуже інтенсивно	>10,0

6.2.2. Розрахунок доз і норм меліорантів

Теоретичною основою хімічної меліорації солонців і солонцюватих ґрунтів є до насичення ґрунтового вбирного комплексу кальцієм за рахунок витіснення увібраних натрію і магнію. Найвища ефективність спостерігається при внесенні меліоранту безпосередньо в солонцевий горизонт і рівномірному перемішуванні його з ґрунтом фрезою або культиватором із наступною оранкою.

При хімічній меліорації важливо встановити оптимальну дозу гіпсу, яка повинна забезпечити нормальні умови розвитку рослин і протікання фізико-хімічних та біологічних процесів у ґрунті. Дози меліорантів розраховують за формулами:

для малонатрієвих солонців нейтрального засолення

$$D = 0,086 \cdot Na \cdot dv \cdot h$$

де D – доза гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), т/га;

0,086 – 1 мг-екв. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;

Na – вміст увібраного натрію, мг-екв на 100 г ґрунту;

h – глибина меліоративного шару ґрунту, см;

dv – щільність ґрунту, г/см³.

для середньо- і багатонатрієвих солонців ($Na > 20\%$ МКО)

$$D = 0,086 \cdot (Na - 0,1\text{МКО}) \cdot h \cdot dv,$$

де МКО – місткість катіонного обміну, мг-екв. на 100 г ґрунту;

0,1 – неактивна частина натрію, що становить у багатонатрієвих солонців 10% МКО.

для солонців содового засолення

$$D = 0,086 \cdot [(Na - 0,1\text{МКО}) + (S' - M)] \cdot h \cdot dv,$$

де S' – вміст $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ у водній витяжці, мг-екв. на 100 г ґрунту;

M – вміст $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ у водній витяжці, мг-екв. на 100 г ґрунту.

для магнієвих солонців ($Mg > 30\%$ МКО)

$$D = 0,086 [(Na - 0,1\text{МКО}) + (Mg - 0,3\text{МКО})] \cdot h \cdot dv,$$

де Mg – вміст увібраного магнію, мг-екв. на 100 г ґрунту.

Для меліорації солонців, крім гіпсу, використовують глино гіпс, хлорид кальцію, сірку, сульфат заліза, сульфат амонію, мінеральні кислоти (сірчану, соляну, азотну) тощо. Вибір меліоранту визначається ефективністю його впливу на ґрунт і розчинністю у воді. Використовуючи замість гіпсу інші меліоранти враховують зміст меліоруючи речовин, еквівалентний 1 тонні гіпсу (табл.71).

Таблиця 71

Розчинність хімічних речовин, які застосовуються при меліорації солонцевих ґрунтів і коефіцієнти перерахунку їх на гіпс

Назва меліоранту	Хімічна формула	Розчинність на 100 мл води, при 20°C, г	Коефіцієнт перерахунку на гіпс
Гіпс	CaSO ₄ · 2H ₂ O	0,241	1,00
Хлорид кальцію	CaCl ₂ · 6H ₂ O	5,6	0,85
Сульфат заліза	FeSO ₄ · 7H ₂ O	26,5	1,62
Сірчана кислота	H ₂ SO ₄	Не обмежено	0,57
Фосфогіпс	CaSO ₄ · 2H ₂ O	0,250	1,00
Сірка	S	Не розчинна	0,19

Фізичну норму меліоранту обчислюють з урахуванням вмісту гіпсу та вологи в матеріалі за формулою:

$$H_{\phi} = D_{CaSO_4} \cdot 100 / C(100 - W),$$

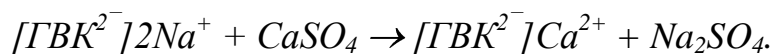
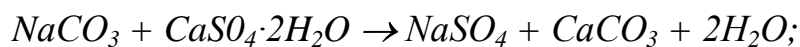
де H_{ϕ} – фізична норма меліоранту, т/га;

C – вміст CaSO₄ · 2H₂O в матеріалі, %;

W – вміст вологи в матеріалі, % на суху наважку.

6.2.3. Строки і місце внесення гіпсу в сівозміні

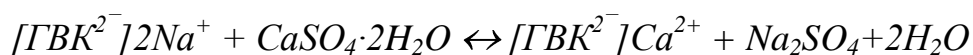
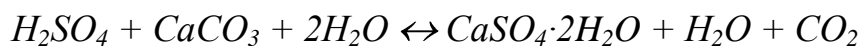
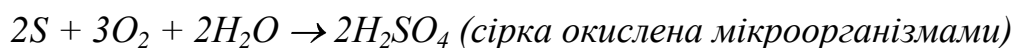
При внесенні гіпсу в ґрунт іони кальцію нейтралізують соду ґрунтового розчину і витісняють увібраний натрій з ГВК:



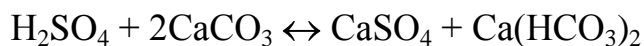
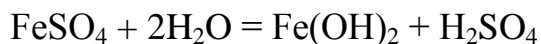
При невеликих кількостях Na_2SO_4 , який утворюється при гіпсуванні, не шкодить рослинам. При гіпсуванні багатонатрієвих солонців у ґрунті утворюється надмірна кількість Na_2SO_4 , котрий необхідно видаляти з кореневмісного шару промиванням. В умовах богарного землеробства цей захід можна здійснити снігозатриманням та акумуляцією поверхневого стоку.

Крім гіпсу та фосфогіпсу, для меліорації солонців застосовують сірку, сірчану кислоту, залізний купорос, пірит та інші меліоранти. При внесенні їх у ґрунт відбуваються наступні реакції:

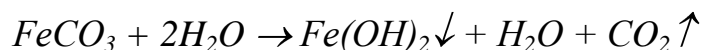
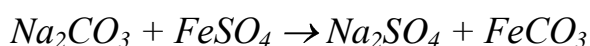
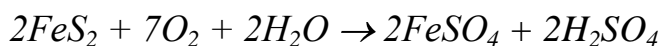
Сірка (сірчана кислота)



Залізний купорос



Пірит



Хімічні реакції можуть відбуватися в той чи інший бік, тому солі натрію, які утворюються, необхідно вилучати за межі ґрунтового профілю.

Хімічні меліоранти не вирішують всіх питань докорінного поліпшення солонців. Їх необхідно застосовувати в комплексі з агротехнічними і біологічними методами. Лише за цієї умови реалізується максимальна ефективність хімічної меліорації.

При освоєнні солонцевих ґрунтів, перевагу слід віддавати солонцестійким рослинам (табл.72). Вони в меншій мірі знижують урожайність, порівняно з несолонцестійкими рослинами.

На солонцевих ґрунтах Лісостепу з невеликою кількістю плям солонців, доцільно вводити п'ятипільні сівозміни з чергуванням культур: буряки цукрові або кормові, ярі зернові з підсівом люцерни, люцерна, озима пшениця, а на площах з великою кількістю содових солонців – чотиріпільні: буряк цукровий, просо або овес з підсівом буркуну, буркун, озима пшениця.

Таблиця 72

Солонцестійкість сільськогосподарських культур

Міра стійкості	Культура
Дуже сильна	Донник жовтий і білий, гірчиця
Сильна	Волосянець ситніковий, пирій безкореневищний, сизий, повзучий і солончаковий, регнерія волокниста, ячмінь, буряк кормовий і цукровий
Середня	Люцерна строкатогібридна, синьогібридна і жовтогібридна, житняк гребенчатий і широколистий, кострець безостий, суданська трава, просо зернове, овес, жито
Слаба	Еспарцет, озима пшениця, сорго

Щоб досягти високої ефективності хімічних меліорантів, необхідно підвищити їх розчинність і забезпечити добре перемішування з ґрунтом. У польових сівозмінах меліоранти слід вносити під просапні культури, що

сприяє нагромадженню вологи і додатковому перемішуванню меліоранту з ґрунтом при міжрядному обробітку (табл. 73).

Таблиця 73

Місце внесення гіпсу в сівозмінах різної спеціалізації

Сівозміна, угіддя	Місце внесення гіпсу
Зернопарова	У пару під озимі
Зернопросапна	Під просапні культури
Зернопаропросапна	У пару і під просапні культури
Зернобурякова	Під буряк, чи його попередник
Зрошувана	Під першу культуру при зяблевій оранці
Природні кормові угіддя	На початку освоєння земель

У степовій зоні та зоні сухого степу найкращим місцем внесення гіпсу в богарних умовах є парове поле, або поле просапних культур. На зрошуваних землях гіпс можна вносити під першу культуру при зяблевій оранці, або навесні під культивуацію.

На природних кормових угіддях меліоранти вносять на початку освоєння земель під найбільш солевитривалі культури – буркун, сорго, просо, суданську траву. Високі дози меліорантів вносять у два прийоми: половину – під основний обробіток ґрунту восени, решту – навесні під дискуванням або культивуацію.

На солонцюватих відмінах чорноземів звичайних, південних і каштанових ґрунтах, де солонцевий шар не виноситься на поверхню під час оранки, всю норму меліоранту загортають під оранку; на зрошуваних землях – вносять після оранки і загортають боронами. На кіркових і стовпчастих солонцях, де при оранці виноситься на поверхню значна частина солонцевого шару, половину норми гіпсу вносять під оранку, а другу половину – під культивуацію.

При нейтральному засоленні, рекомендується проведення триярусного або плантажного обробітку з метою включення до орного

шару кальцієвих солей (CaCO_3 або $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), що знаходяться у підсолонцевому горизонті. Добрі результати дає також агробіологічна меліорація. Окультурення високо стовпчастих солонців, на яких гіпсування малоефективне, можна досягти шляхом нанесення на «солонцеві плями» чорноземного ґрунту, багатого на кальцій, органічні речовини, з ділянок, що розташовані поряд. Позитивні результати забезпечує внесення на такі плями високих доз органічних добрив разом з меліорантами. При комплексному окультуренні засолених ґрунтів ефективно їх промивання.

Отже, комплекс заходів меліорації солонців і солонцюватих ґрунтів повинен включати:

- хімічні заходи – внесення меліорантів;
- обробіток ґрунту чизельними розпушувачами на глибину 15 – 45 см, чи плантажну оранку на 60 – 70 см;
- планіровку (вирівнювання) поверхні поля;
- створення за рахунок зрошення, снігозатримання, регулювання поверхневого стоку і влаштування дренажу – промивного типу водного режиму;
- використання органічних та мінеральних добрив, як засобів, що прискорюють хімічну меліорацію і підвищують родючість ґрунтів;
- створення після меліорації сприятливого агробіологічного фонду висівом солестійких рослин (у перші роки – буркуна, суданки, люцерни, а по мірі окультурення – ячменю, пшениці, сорго, буряків цукрових).

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке хімічна меліорація і хімічні меліоранти? Які існують їх види?
2. Причини зниження продуктивності кислих ґрунтів. Що спричиняє підвищення токсичності ґрунтів? Як різні сільськогосподарські культури та інші рослини переносять цю токсичність?

3. Антропогенні фактори та механізми антропогенного підкислення ґрунтів. Як вони взаємодіють з іншими факторами деградації ґрунтів та які нові деградації спричиняють?
4. Розрахунки норм вапна. Як врахувати фактори антропогенного підкислення, зокрема внесення мінеральних добрив?
5. Кислотні атмосферні опади і підкислення ґрунтів. Як Ви оцінюєте його масштаби?
6. Як застосувати криві буферності ґрунту для розрахунку норм хімічних меліорантів?
7. Хімічна меліорація солонцюватих ґрунтів. Як запобігти вторинному осолонцюванню?
8. Розрахунок норм гіпсування. Як визначити норму гіпсового матеріалу за порогом коагуляції суспензії солонцевого ґрунту з дистильованою водою?
9. Як визначити гідролітичну кислотність, потрібну для розрахунку норм вапна за рН суспензії ґрунту і 1N ацетату натрію отриманої згідно з методом Каппена?
10. Як можна за результатами багаторічних польових досліджень встановлювати норми хімічних меліорантів?

7. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА РЕЖИМІВ ҐРУНТУ

Родючість ґрунтів – здатність забезпечувати урожайність, яка залежить від поживного, водного, повітряного, теплового і токсикозного режимів ґрунту. Усі ці фактори різною мірою характеризуються водно-фізичними, агрохімічними і фізико-хімічними властивостями ґрунтів, які мають певний зв'язок з урожаєм культур. Залежність урожаю культури від фактора продуктивності ґрунту може бути відображена кривою реагування (response curve). У 80-ті роки минулого століття в УНДіГА була проведена велика робота з узагальнення залежностей врожайності різних культур від рівнів умісту рухомих форм фосфору та калію. І на сьогодні для ґрунтів України дуже актуальна оптимізація їх поживного режиму – одного з мобільних факторів управління родючістю. Криві реагування у формі параболи (параболічна модель) були побудовані для найпоширеніших типів ґрунтів і основних польових культур.

Параболічна форма кривої реагування випливає із диференціального рівняння першого порядку;

$$dy/dx = k(x_{opt} - x),$$

де y – врожайність культури;

x – фактор цієї врожайності, наприклад, вміст у ґрунті K_2O (мг/100 г);

k – константа, дуже залежна від типу фактора впливу на врожайність;

x_{opt} – оптимальне значення даного фактора продуктивності ґрунту, наприклад, вмісту у ґрунті K_2O (мг/100 г).

Розділення змінних та інтегрування наведеного вище диференціального рівняння дає такий його загальний розв'язок:

$$y = k \cdot x_{opt} \cdot x - 0,5k \cdot x^2,$$

за початкової умови, що при $x=0$, $y=0$ (при повній відсутності фактора врожайність дорівнює нулеві).

Побудова кривої реагування дає можливість визначити оптимальну величину фактора врожайності культури (x_{opt}).

Агрохіміки усього світу найчастіше вдаються до опису впливу фактора продуктивності ґрунту на врожайність різних культур рівнянням Мітчерліха:

$$dy/dx = k(A - y),$$

де A – максимальна врожайність культури за певних важкозмінюваних умов, а решта членів рівняння мають такий же зміст, як і в попередньому рівнянні. Перед тим, як інтегрувати це рівняння, треба розділити змінні:

$$dy/A - y = k \cdot dx$$

Інтегрування отриманого рівняння методом заміни змінної дає результат, котрий і є загальним розв'язком рівняння Мітчерліха:

$$y = A - e^{-c} \cdot e^{-kx},$$

де c – стала інтегрування.

Якщо x – такий параметр продуктивності ґрунту при відсутності якого $y=0$, то загальний розв'язок рівняння Мітчерліха має вигляд:

$$y = A \cdot (1 - e^{-kx})$$

Цим рівнянням можна користуватися для встановлення бажаного значення x , котрого потрібно досягти при управлінні ґрунтовими режимами. При цьому слід пам'ятати, що максимальне значення $y = A$ ніколи не досягається, а лінія $y = A$ є асимптотою кривої реагування. Ця обставина робить рівняння Мітчерліха більш придатним до встановлення оптимальних норм внесення добрив та інших факторів врожайності. З цією метою слід враховувати такі граничні умови при перетворення загального розв'язку рівняння Мітчерліха у його частковий розв'язок:

$$y = A - e^{-c} \cdot e^{-kx}$$

при $x=0$; $y=y_0$:

$$y_0 = A - e^{-c}, \quad -\ln A(A - y_0) = c$$

Розв'язування рівняння Мітчерліха за умови $x=0$; $y=y_0$ дає змогу визначити коефіцієнт використання поживного елемента з ґрунту по

відношенню до цього ж елемента внесеного з добривом. Для цього сам Мітчерліх записував своє рівняння у такій формі:

$$\lg(A - y) = \lg A - e(x + b)$$

Ч. Блек у своїй навчально-науковій монографії «Родючість ґрунту: оцінка і управління» подає приклад застосування кривих реагування для визначення оптимальної дози елемента живлення в управлінні поживним режимом ґрунту. Для цього потрібно подати в одних координатах (у вартісному вигляді, наприклад, дол./акр) дві криві: криву реагування (врожайність у вартісному виразі) і криву (чи пряму, як найчастіше і буває) затрат. Найменша відстань між цими кривими по перпендикуляру до осі x (норма внесення елемента з добривами) відповідає оптимальному (з точки зору максимальної економічної, а не біологічної врожайності) значенню дози даного елемента живлення. Якщо відшукано алгебраїчні (аналітичні) вирази для обох кривих, тобто їх рівняння, то потрібно відшукати похідну першого порядку для кожного з цих виразів, поставити знак рівності між цими похідними і розв'язати отримане рівняння відносно x . Дійсний розв'язок рівняння і буде оптимальною дозою внесення даного елемента живлення для забезпечення максимальної економічної (економічно доцільної) врожайності культури.

Так у прикладі самого Ч. Блека (Soil Fertility Evaluation & Control, p. 84) у вартісному виразі врожайність пшениці під впливом зростаючих доз азоту змінюється за квадратичною параболою:

$$\text{Вартість врожаю} = v = 307,92 + 5,16x - 0,0252x^2$$

Затрати на отримання врожаю (c) описувались прямою лінією:

$$c = 10 + 0,40x$$

Подальші операції такі:

$$dv/dx = 5,156 - (2)(0,0257x),$$

$$dx/dc = 0,40,$$

$$5,156 - (2)(0,0257x) = 0,40,$$

$$x = 92,5 \text{ кг N на 1 га}$$

До певної міри, для визначення оптимальних параметрів властивостей та режимів ґрунту, без яких не обійтися в управлінні ґрунтовими режимами, можна застосувати і функції бажаності Т.О. Грінченка, як унімодальну, так і бімодальну, з котрою студенти познайомилися при вивченні курсу «Якість ґрунтів, стандартизація і сертифікація», котрий передує даному курсу. Якщо значення Y у функції бажаності відповідає очікуваній врожайності культури (чи продуктивності ґрунту) в балах з максимумом $Y = 100$, то унімодальна функція Грінченка запишеться так:

$$Y = 100 \exp \{ - \kappa_1 [(x_{opt} - x)/x_{opt}]^{\kappa_2} \}$$

Знаючи ціну в балах показника продуктивності ґрунту x , підставляємо цю кількість балів замість Y , а значення показника – замість x . Розв'язуємо рівняння відносно x_{opt} , При $x_{opt} > x$,

$$x_{opt} = x / (1 - \kappa_2^{-1/\kappa_1} \ln 0,01 Y)$$

Стосовно κ_1 і κ_2 , то їх значення можна вибирати із застосування функції бажаності до добре вивіrenих експериментальних даних. Сам Т.О. Грінченко рекомендував для багатьох показників ґрунтових властивостей та режимів брати $\kappa_1 = -5$, $\kappa_2 = 3$. При таких значення констант:

$$x_{opt} = x / (1 - 0,2 \ln 0,01 Y)^{1/3}$$

Якщо вміст у ґрунті P_2O_5 складає 10 мг/100 г за методом Чирікова і це оцінюється у 50 балів, то оптимальне значення цього показника складатиме :

$$x_{opt} = 10 / (1 - 0,2 \ln 0,5)^{1/3} = 10 / 0,482 = 20,7 \text{ мг/100 г} \approx 21 \text{ мг } P_2O_5 / 100 \text{ г}$$

Вираз для x_{opt} при цих же значеннях κ_1 і κ_2 для випадку, коли $x_{opt} < x$, пропонуємо вивести студентам самостійно.

Слід визнати, що оцінювання конкретного значення x певною кількістю балів несе в собі і елементи суб'єктивного підходу. У розглянутому випадку, для вмісту рухомого P_2O_5 , що визначається за

методом Чирікова, ми керувалися рекомендаціями проф. Сірого А.І. , але існують і інші рекомендації, котрі потребують прискіпливого експертного аналізу. Основним джерелом інформації для розробки систем управління ґрунтовими режимами повинні бути дані багаторічних даних польових стаціонарних дослідів. Інколи швидше одержати інформацію з вегетаційних дослідів, але їх результати не завжди підтверджуються за умов польової практики вирощування культур. Такі добре вивчені показники якості ґрунтів, як вміст рухомих поживних речовин, щільність складення, структурний склад, вміст гумусу, глибина гумусованого шару, вміст фізичної глини, реакція ґрунтового розчину в основному тісно корелюють з врожаєм культур і свідчать про рівень ефективної родючості ґрунтів.

Монографія В.В. Медведєва та І.В. Пліско «Бонітування і якісна оцінка орних земель України» [21], також містить інформацію про оптимальні показники ґрунтових властивостей та режимів і їх бальну оцінку. Автори пропонують і множину поліноміальних рівнянь для розрахунку відповідних бонітувальних балів. Для тих випадків, коли розрахунок балу за ґрунтовими чи ґрунтово-кліматичними (термін авторів) критеріями утруднений чи взагалі відсутня відповідна формула розрахунку, автори даної розробки пропонують свої рівняння, в котрих x – конкретне значення ознаки, а y – бал за цією ознакою:

x_1 = глибина кореневмісного шару ґрунту в см.

$y_1 = 1,33x_1 - 6,67$. Значення носить функціональний характер; ваговий коефіцієнт для балу за ознакою. $k = 1$;

x_2 = вміст гумусу в орному шарі ґрунту, %.

$y_2 = 3,6x_2^{2,476}$. Залежність регресійна. $k = 1$;

x_3 = рівноважна щільність складення ґрунту в основній частині кореневмісного шару, $г/см^3$.

$y_3 = 100exp\{-5|(x_3 - 1,2)0,5|^3\}$. Залежність регресійна. $k = 1,5$;

x_4 = вміст рухомого P_2O_5 в орному шарі ґрунту, мг/100 г.

$y_4 = 5,8 x_4 - 3,8$. Залежність функціональна. $\kappa = 1,5$;

x_5 = вміст рухомого K_2O в орному шарі ґрунту, мг/100 г.

$y_5 = 6,68x_4 - 35,95$. Залежність функціональна. $\kappa = 1,5$;

x_6 = вміст фізичної глини, %.

$y_6 = 100 \exp\{-5 |(x_6 - 40)35|^3\}$. Залежність регресійна. $\kappa = 1$;

x_7 = реакція ґрунтового розчину, рН_{H₂O}.

$y_7 = 100 \exp\{-5 |(x_7 - 6,5)3|^3\}$. Залежність регресійна. $\kappa = 1,5$;

x_8 = запас продуктивної вологи в умовному орному шарі ґрунту (0-20см) під час сходів ранніх ярих культур, мм.

$y_8 = 2x_8$. Залежність функціональна. $\kappa = 2$;

x_9 = запас продуктивної вологи у метровій товщі ґрунту під час цвітіння, мм.

$y_9 = 0,667x_9 - 26,667$. Залежність функціональна. $\kappa = 2$;

x_{10} = питомий опір ґрунту до обробітку (оранка), кг/см².

$y_{10} = -133x_{10} + 120$. Залежність функціональна. $\kappa = 1,5$.

Це далеко не всі критерії методики В.В. Медведєва, до роботи над якими могли долучитися і студенти – магістри.

При оптимізації факторів продуктивності ґрунту необхідно враховувати не тільки генетичні особливості ґрунтів, а й особливості різних рослин. До найбільш вимогливих культур до ґрунтового розчину насамперед належать цукрові буряки, озима пшениця, горох, картопля; до менш вимогливих – ярі зернові. Оптимум ґрунтових умов, які відповідають високо вимогливим культурам, негативно не впливає на ріст і розвиток менш вимогливих (Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України, 1994).

Агрофізичні параметри родючості (щільність, пористість, структурний стан, запаси продуктивної вологи, водопроникність, тощо) є важливою частиною загальної проблеми оптимізації середовища для вирощування культур. У цьому відношенні найбільш вивчені чорноземні ґрунти.

Дослідження агрофізичних властивостей ґрунтів у багатофакторних дослідах дали змогу розробити модель (табл. 74) оптимального кореневмісного шару для вирощування зернових колосових культур (Медведєв В.В.,[22])

Таблиця 74

**Модель кореневмісного шару чорнозему типового
для вирощування зернових колосових культур**

Параметр	Діапазон
Структурний стан орного шару перед посівом	У сприятливих умовах зволоження і мінерального живлення: 20-5 мм – до 25%; 5-0,25 мм – до 60%; < 0,25 мм – не більше 15%. При несприятливих умовах зволоження і нестачі елементів живлення: 20-5 мм – 10-15%; 5-2 мм – 20%; 2-0,25 мм – 45-60%; < 0,25 мм – не більше 15%.
Щільність орного шару перед посівом, г/см ³	Без диференціації: 1,1-1,3 (при нестачі вологи і підвищеній нормі добрив 1,2-1,3) Із диференціацією на поверхневий шар (0-4 см): 1,0-1,3 (вплив щільності на врожай не достовірний) На наднасінний ущільнений прошарок (4-5 см): 1,2-1,3 На наднасінний шар (8-30 см): 1,1-1,2 (при підвищеній нормі добрив – 1,2); 1,1-1,3 (вплив щільності на врожай не достовірний)
Вміст вологи	0,7НВ

Оптимізація основних агрофізичних параметрів досягається системним застосуванням органічних добрив, не менше 10-12 т/га сівозмінної площі у поєднанні з періодичним внесенням речовин, що містять кальцій.

Важливим інтегральним показником рівня родючості ґрунтів є вміст гумусу, який забезпечує вищий і стабільний рівень живлення рослин,

насамперед азотний, за рахунок збільшення місткості вбирання ґрунту, створює умови для акумуляції вологи, поживних речовин добрив, підтримує повітряний, тепловий і біологічний режим ґрунтів. Високі врожаї культур одержують при таких оптимальних параметрах вмісту гумусу:

- на дерново-підзолистих супіщаних і легкосуглинкових ґрунтах – 2,0-2,5%;
- на чорноземах типових середньосуглинкових – 4-5%;
- на чорноземах типових важкосуглинкових – 5,5-6%;

Ці параметри залежать від ступеня зволоженості та континентальності клімату. Вони вищі в умовах більш континентального клімату і характеризуються нижчими рівнями врожайів. Головну причину тут треба шукати у гідротермічному коефіцієнті, забезпеченні рослин вологою у критичні періоди їх росту і розвитку.

Створення і підтримка оптимальної реакції ґрунтового середовища необхідні для одержання максимального врожаю і високої якості продукції. Оптимальна реакція ґрунтового розчину зумовлюється багатьма факторами, але насамперед біологічними особливостями культур. Для більшості сільськогосподарських культур найсприятливіший режим рН₂₀ розташований в діапазоні від 5,5 до 7,5. Озиме жито, овес, картопля, люпин і льон добре ростуть на ґрунтах із кислою реакцією ґрунтового середовища. На нашу думку, максимальна доступність елементів живлення із ґрунту, як макро-, так і мікро-, спостерігається при рН₂₀ на рівні 6,5.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Як можна пов'язати між собою закон оптимуму і параболічну модель зв'язку продуктивності ґрунту з її фактором?
2. Рівняння Мітчерліха як теоретичний опис закону обмежуючої дії фактора продуктивності ґрунту. Чи можна вважати графік залежності врожайності культури від її фактора, що впливає з рівняння Мітчерліха, кривою реагування. Який, на Вашу думку, основний недолік такої кривої?

3. Як застосувати криву реагування для оцінки вмісту у ґрунті певного елемента живлення культури?
4. Як, виходячи з кривих реагування, дійти до встановлення оптимальних норм внесення добрив?
5. Що Вам відомо про досвід УНДІГА у встановленні оптимальних значень вмісту у ґрунтах України елементів живлення при вирощуванні основних польових культур?
6. Що Вам відомо про функції бажаності Т.О. Грінченка. Як їх застосовують для встановлення оптимальних значень властивостей ґрунту?
7. Які оптимальні параметри властивостей ґрунту можна встановити з моделей кореневмісного шару даного ґрунту для даної культури?
8. Які оптимальні параметри ґрунтових властивостей та режимів впливають з методики бонітування ґрунтів В.В. Медведєва?
9. Чому при оптимізації факторів продуктивності ґрунтів треба враховувати їх гранулометричний склад?
10. Що Вам відомо про оптимальні екологічні вимоги сільськогосподарських культур до ґрунтово-кліматичних умов? Для яких культур встановлені такі вимоги?
11. Запропонуйте власний підхід до застосування функцій бажаності Грінченка до розрахунку бальних індексів якості ґрунту?
12. Які оптимальні параметри вмісту гумусу для отримання високих врожаїв польових культур на різних ґрунтах України (залежно від гранулометричного складу і генези ґрунтів)?

8. ЗОВНІШНІ ПЕРЕДУМОВИ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ГРУНТОВИМИ РЕЖИМАМИ

Системний підхід до такого управління передбачає розуміння ієрархічної підпорядкованості (структурованості) системи: водозбір → агроландшафт → земельні угіддя → поля → ґрунтові відміни. Для регулювання ґрунтових режимів у межах ґрунтових відмін, полів і земельних угідь потрібно об'єктивно оцінити ерозійну і водорегулюючу ситуацію в агроландшафтах, котра визначається насамперед раціональним співвідношенням угідь. На думку О.Г. Тараріко (1998) загальним нормативом є розораність території – 40-45%, співвідношення екологічно стійких угідь (сіножаті, пасовища, ліси) до ріллі не менше одиниці. Але для формування екологічно стійких агроландшафтів потрібно знати ерозійно-гідрологічну ситуацію конкретної місцевості.

Нормальна ерозійна ситуація відзначається тим, що інтенсивність ерозії компенсується інтенсивністю ґрунотвірного процесу. В цілому в Україні схили крутістю більше 3° вже еродовані більше, ніж на 80%. При цьому середньо багаторічні втрати ґрунту на них перевищують 10 т/га (О.Г. Тараріко, М.Г. Лобас, 1998). Ніяка інтенсивність процесу ґрунтоутворення не може компенсувати таку велику втрату ґрунту.

Отже першою передумовою ефективного управління ґрунтовими режимами є організація ґрунтозахисних агроландшафтів або контурно-меліоративна організація території (КМОТ). У США, завдяки успішній діяльності служби охорони ґрунтів, що проіснувала до 1999 року, на контурно-меліоративну організацію території перейшли ще до середини 60-х років 20 століття. В Україні, незважаючи на повне теоретичне і практичне забезпечення такого переходу, він відбувся лише фрагментарно, на обмеженій території.

Згідно з нормативами ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства, розроблених під керівництвом академіка НААН О.Г. Тараріко (1998) , така організація території проектується в межах

землекористування підприємств (КСП, акціонерних товариств, державних підприємств, фермерських господарств) з урахуванням організації території прилеглих землекористувань, що мають єдині водозбірні площі басейнів малих річок, балок і малих водозборів. Основою КМОТ є диференційоване використання земельних угідь в залежності від ґрунтово-ландшафтних умов і ґрунтозахисної здатності сільськогосподарських культур. Лінійні рубежі між групами земель розміщуються поперек схилів в напрямку наближення до горизонталей місцевості. Контурні рубежі фіксуються на місцевості різними засобами постійного упорядкування території (валами різних типів, лісосмугами, буферними смугами з багаторічних трав). При цьому враховується існуюча гідрографічна мережа, котра виконує функції водотоків, забезпечуючи безерозійне скидання надлишку талих і зливових вод (залужені улоговини, днища балок, штучні споруди) в річки, ставки, водоймища, озера.

Виділяються еколого-технологічні групи (ЕТГ) і підгрупи земель. До земель першої ЕТГ, входять повнопрофільні і слабоеродовані ґрунти, розташовані на рівнинах і схилах до 3° , характер рельєфу і якісний стан яких дозволяє вирощувати всі культури, включаючи і просапні. До земель другої ЕТГ входять ті, що розташовані на схилах від $2-3$ до 5° з повнопрофільними, слабо- і середньозмитими ґрунтами. На землях другої ЕТГ розміщуються ґрунтозахисні сівозміни. Не дозволяється розміщення пару і просапних культур. До земель третьої ЕТГ включаються схиліві землі з крутістю понад 5° , а також землі з малорозвиненими ґрунтами на елювії твердих порід, піску і таке інше, з малоеродованими, але низькопродуктивними ґрунтами, які виводяться з обробітку для послідуєчого залуження або заліснення.

Загальним принципом формування системи сівозмін кожної ЕТГ є її спроможність попереджувати ерозійні процеси, відновлювати родючість

грунту, зокрема підтримувати бездефіцитний баланс гумусу та досягати високої продуктивності агрофітоценозів.

Саме забезпечення бездефіцитного балансу гумусу при сільськогосподарському використанні ґрунтів і є другою важливою передумовою ефективного управління ґрунтовими режимами.

При втратах гумусу, які не компенсуються природним шляхом, його запаси поповнюються за рахунок усіх наявних органічних добрив і відходів рослинної продукції. При невиконанні цієї умови, змінюється набір культур у сівозміні в напрямку зменшення питомої ваги просапних культур і збільшення багаторічних трав. Цей принцип, на думку О.Г. Тараріко та М.Г. Лобаса (1998), дає можливість запобігати деградації ґрунтів і повинен розповсюджуватись на всіх рівнях систем землеробства при будь-якій формі землекористування – від окремого поля, сівозміни до району, області і держави. Не може бути рентабельним і екологічно збалансованим виробництво, якщо деградують ґрунти. Так само, не можна говорити і про будь-яке ефективне управління системою ґрунтових режимів за таких умов.

Гумус, або органічна речовина (soil organic matter, SOM) – інтегральний показник родючості ґрунту. Від його загального вмісту залежать запаси основних поживних речовин. Запаси гумусу визначають агрофізичні властивості ґрунту, в т.ч. його щільність, вологоємність, структурний стан, протиерозійну стійкість, ефективність засобів хімізації, тощо. За 100 років (1882 – 1981) вміст гумусу в ґрунтах України знизився на 0,92%, при цьому майже половину його (0,44%) втрачено за 1960-1970 рр, що співпадає з початком інтенсифікації землеробства. Баланс гумусу в землеробстві України залишається дефіцитним. Опубліковані дані про його втрати часто не узгоджуються між собою. О.Г. Тараріко та М.Г. Лобас (1998) вказують, що на 1995 рік в усіх зонах спостерігався дефіцитний баланс гумусу (- 0,15 т/га в середньому по Україні). С.Ю. Булигін (1994) вказує, що щороку з української ріллі

втрачається 24 млн. т гумусу, при середньорічних ерозійних втратах гумусу 15-18 т/га ріллі. За даними I-го туру ґрунтового моніторингу в Україні втрати гумусу в зоні Полісся складають лише 0,1 т/га в рік, в зоні Лісостепу вони сягають 0,8 т/га в рік.

Один з авторів даної розробки – Петренко Л.Р. пропонує прогнозне рівняння:

$$\% \text{ гумусу у верхньому шарі ріллі в Україні} = 4,17 \exp[-2,33 \cdot 10^{-5} (T-1882)^2],$$

де T – рік, на який треба зробити прогноз.

Наприклад, на 2013 рік:

$$\% \text{ гумусу} = 4,17 \exp[-2,33 \cdot 10^{-5} (2013-1882)^2] = 2,80\%.$$

Тобто, за 131 рік вміст гумусу в ріллі зменшився з 4,17 до 2,80% - рівно на третину, втрачаючись в середньому щороку на 0,2-0,3 т/га лише в шарі 0-20 см (умовному орному шарі).

На дослідному полі ВСП НУБіП України АДС «Митниця» за 40 років – з 1968 по 2008 рік вміст гумусу в олучнілому (періодично напівгідроморфному) типовому чорноземі знизився в шарі 0-30 см (орний шар сівозміни з цукровим буряком) з 5,16 до 3,88%. При середній щільності складення ґрунту $1,20 \text{ г/см}^3$, втрати гумусу у цьому шарі за 40 років склали:

$$(5,16 - 3,88) \cdot 30 \cdot 1,20 = 46 \text{ т/га},$$

а середньорічний баланс гумусу мусив складати – 1,25 т/га, а це не що інше, як щорічна недостача майже 20 т/га підстилкового гною чи 5,5 т/га пшеничної соломи+N₅₅.

Не всі вчені НУБіП України вірять в реальність подібних втрат, але інших даних поки що немає. Переважаюча ґрунтова відміна дослідної ділянки в АДС «Митниця» - чорнозем типовий глибокий. Оглеєння спостерігається лише в горизонті материнської породи (лесу) на глибині 130-150 см. Але умови забезпечення ґрунту вологою значно кращі, ніж типового чорнозему з рівнем ґрунтових вод понад 6м глибини. Обробіток такого ґрунту спричиняє і більші втрати гумусу з нього. Передбачити це

неможливо, якщо вдаватися лише до методів розрахунку балансу гумусу в сівозміні, котрі, хоча і ґрунтуються на польових дослідах, все ж не позбавлені цілком штучного (бухгалтерського) підходу.

І все ж таки, до даного часу, визначення балансу гумусу і потреб в органічних та мінеральних добривах проводиться співставленням приходних і витратних частин. Баланс гумусу розраховується за різницею між сумарною середньозваженою величиною новоутвореного внаслідок гуміфікації рослинних решток гумусу та мінералізованого з урахуванням втрат через ерозію в межах її допустимої величини. Для цього використовується формула (О.Г. Тараріко, М.Г. Лобас, 1998):

$$B_g = [\sum_{i=1}^n (M_p \cdot K_g - G_m) \cdot S_i] / \sum_{i=1}^n S_i - Пер., \text{ де}$$

B_g – баланс гумусу, т/га в рік;

n – кількість культур в сівозміні;

M_p – маса рослинних решток кожної культури (i), розрахованих за рівняннями регресії або взяті з довідників;

K_g – коефіцієнт гуміфікації рослинних решток для кожної культури;

G_m – мінералізація гумус (т/га) за довідковими даними;

S_i – площа кожної культури в сівозміні;

$Пер$ – втрати гумусу від ерозії.

Після досягнення бездефіцитного балансу гумусу в сівозмінах можна ставити завдання підвищення його до оптимальних чи максимальних значень, характерних для відповідних аналогів нееродованих ґрунтів. З цією метою розраховують додаткову норму внесення органічних добрив чи збільшують площі посіву багаторічних трав. При розрахунку балансу гумусу використовують додаткові дані, які уточнюються відповідно до зональних рекомендацій.

Управління родючістю, за В.І. Вернадським, слід розглядати як явище ноосферного характеру, що формується в систему динамічних цілеспрямованих антропогенних впливів на ґрунтово-рослинний покрив. Загальну систему управління продуктивністю ґрунтів можна описати як

комплекс взаємозв'язаних процесів розробки та реалізації меліоративних, агротехнічних та інших заходів, направлених на успішне вирішення таких взаємообумовлених цільових задач: оптимізація ґрунтових режимів, підвищення рівня внутрішньої організації ґрунтових тіл як саморегульованих систем (термінологія О.В. Демиденка), постійне удосконалення та зміна структури самих управляючих впливів. Процеси управління продуктивністю ґрунту направлені на максимально можливе обмеження чи повне усунення негативного впливу на ґрунтово-рослинний покрив неконтрольованих чи важко контрольованих природно-кліматичних та антропогенних факторів, а також на високу віддачу у формі біопродукції всіх засобів, що виділяються на інтенсифікацію систем землеробства. Кінцевою метою системи управління продуктивністю ґрунтів (і управління ґрунтовими режимами як її складовою) є стійкі темпи приросту біопродукції на одиницю матеріальних та енергетичних затрат.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати першочергову задачу системи управління – оптимізацію ґрунтових режимів у відповідності до фізіологічних ритмів та екологічних вимог вирощуваних культур. Цю проблему вирішують за допомогою тактичних (оперативних) управляючих агровпливів. Вони повинні одночасно сприяти вирішенню стратегічної цільової задачі управління – розширеному відтворенню родючості ґрунту або його окультуренню, що забезпечується покращенням структурної організації ґрунтового тіла, як основи здатності ґрунту до саморегулювання процесів, що у ньому відбуваються. Ця система повинна бути гнучкою і своєчасно коректуватися в залежності від стану ґрунту, елементів його родючості і зовнішнього середовища. Обов'язковим елементом системи управління продуктивності ґрунту повинна бути чітка, об'єктивна і безперервно отримувана інформація про зміну стану елементів родючості у кореневмісному шарі ґрунту.

Особливістю технологічних операцій у землеробстві є їх проведення послідовно у певні моменти чи періоди часу. Характер і частота

агрооперацій залежить від умов середовища і рівня саморегулюючої (буферної) здатності ґрунту. Через це загальна структура (модель) системою управління продуктивністю ґрунту включає такі підсистеми об'єктів управління: структурна (матрична) частина ґрунту (морфологія, склад і властивості) та функціональна (водно-повітряний, поживний, тепловий, токсикозний та інші режими), діагностичних елементів родючості, зовнішнього середовища, рівня окультуреності ґрунтів (інформаційна частина системи), управляючі антропогенні впливи, що включають і комплекс технологічних процесів окультурення ґрунтів і оптимізації ґрунтових режимів.

Кожна з названих підсистем складається із численних взаємозв'язаних елементів, котрі у загальній сукупності забезпечують функціонування усієї єдиної системи управління. Об'єктами безпосереднього управління є ґрунтові режими, тобто функціональна частина ґрунту. Але практична реалізація меліоративних та агротехнічних заходів повинна бути направлена на покращення не лише функціональної, але і структурної частини ґрунтової системи, не допускаючи її деградації.

У практиці землеробства і сільськогосподарської меліорації покращення структурної частини ґрунту (морфологія, склад, властивості) мають займати пріоритетне положення, бо лише це може гарантувати екологічну стабільність систем управління. Оптимізація водного режиму одним лише зрошенням руйнує агрегованість ґрунту, призводить в окремих випадках до вторинного засолення, осолонцювання, злитизації; осушення торфовищ та їх надмірний обробіток можуть призводити до розпилення торфу, підвищення його мінералізації, озалізнення, окарбоначення, тощо; інтенсивне внесення одних лише мінеральних добрив може руйнувати структуру ґрунту, викликати підкислення, втрату обмінного кальцію, накопичення у ґрунті токсичних баластних залишків. У кінцевому підсумку, начебто оптимізована функціональна частина (ефективна родючість) стає нестійкою і також деградує.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що можна вважати моделлю системи? Яку системну вимогу вона має задовольняти?
2. Продуктивність (родючість) ґрунту як система. Що розуміють під матричним і функціональним компонентами цієї системи?
3. Модель продуктивності ґрунту як множина оптимальних параметрів його властивостей та режимів. Які можливості є в українському ґрунтознавстві для побудови таких моделей?
4. Що таке параболічна модель та як її використано в УНДІГА для моделювання ґрунтів високої родючості?
5. Які програмні комплекси для управління продуктивності ґрунту створювались в Україні?
6. Які функції мають виконувати моніторингові дослідження ґрунтів як джерело інформації для моделювання продуктивності ґрунту?
7. Які зовнішні передумови слід враховувати для ефективного управління ґрунтовими режимами на конкретних ґрунтах?
8. Екологічна стійкість агроландшафтів як зовнішня передумова управління ґрунтовими режимами.
9. Забезпечення оптимального «гумусового стану» ґрунту як зовнішня передумова ефективного управління ґрунтовими режимами.
10. Як не допустити виникнення кризових екологічних ситуацій при застосуванні систем заходів для ефективного управління ґрунтовими режимами на зрошуваних та осушених землях?

9. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГРУНТОВИМИ РЕЖИМАМИ

Найбільшого успіху в Україні було досягнуто ще на рубежі тисячоліть в управлінні режимом елементів живлення. Розробка автоматизованих систем управління стало елементом діяльності державного об'єднання «Украгрохім». Основною метою його діяльності стало високоефективне використання засобів хімізації, підвищення родючості ґрунтів і продуктивності землеробства, збереження екологічного стану навколишнього середовища та одержання високоякісної сільськогосподарської продукції. Великий обсяг агрохімічних робіт і різноманітність операцій потребують постійного удосконалення та розробки нових форм управління агрохімічним обслуговуванням сільського господарства. Цього можна досягти лише при широкому використанні сучасних ЕОМ і програмних засобів.

Розробка автоматизованих систем управління дає змогу використати значний обсяг виробничої і наукової інформації, врахувати регіональні особливості, розробити прогресивні технології використання добрив і хімічних меліорантів. Основною метою автоматизованих систем управління (АСУ) було визначено створення автоматизованих робочих місць (АРМ) агронома-агрохіміка. Були розроблені спеціальні програмні засоби для АРМ агронома-агрохіміка, що дозволило проводити такі автоматизовані розрахунки: визначення потреби у мінеральних добривах на різних рівнях управління сільськогосподарським виробництвом, аналіз ефективності використання добрив, розрахунок ресурсного врожаю сільськогосподарських культур, розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві, комплексне агрохімічне окультурення полів, розрахунок норм азотних добрив для підживлення озимих культур на основі ґрунтової та рослинної діагностики, розробка технологічного проекту підвищення родючості ґрунтів, тощо. При цьому автоматизовані системи приділяли велику увагу питанням охорони навколишнього

середовища і одержання екологічно чистої сільськогосподарської продукції.

Програмний комплекс «Визначення потреби у мінеральних добривах на рівні область-держава» передбачає розрахунок потреби у мінеральних добривах нормативним методом. В основу розрахунку покладено заплановані валові врожаї і нормативи витрат поживних речовин на формування одиниці врожаю. Множенням запланованого валового збору врожаю на нормативи кожного елемента живлення знаходять їх потребу. Розрахунок проводять для кожної культури окремо. Для визначення потреби у мінеральних добривах адміністративної області знаходять суму потреб їх за культурами. Для виконання автоматизованого розрахунку необхідна виробнича і нормативно-довідкова інформація, що сформована у базі даних. До виробничої інформації належить: структура посівних площ, валові збори врожаю, кількість запланованих добрив та ін.. Нормативно-довідкова інформація включає нормативи витрат поживних речовин на формування одиниці врожаю, вміст поживних речовин у ґрунті, пріоритет культур, коефіцієнти використання поживних речовин рослинами з органічних добрив, окупність добрив приростами врожаїв. Вихідну виробничу і нормативно-довідкову інформацію вводять у базу даних і обробляють за допомогою прикладних програм. Результат обробки даних дозволяє отримати такі документи:

- потреба у мінеральних добривах адміністративних областей і держави в цілому;
- потреба у мінеральних добривах польових культур, багаторічних насаджень, сіножатей і пасовищ.

Розрахунок проводять окремо для всіх земель і окремо для зрошуваних і суходільних. Вихідні документи надходять у плануючі органи для практичного використання на обласному і державному рівнях.

Програмний комплекс «Визначення потреби у мінеральних добривах і розподіл їх на рівні господарств» передбачає розробку планів

використання добрив для господарства. Для цієї мети були розроблені кодифікатори і довідники. Коди складено для полів, виробничих ділянок, багаторічних насаджень, сіножатей і пасовищ, які мають шість цифрових символів. Перші два символи – назва сівозміни або сільськогосподарського угіддя: 01 – польова сівозміна, 02 – кормова, 03- сидеральна, 04 – прифермська, 05 – овочева, 06 – рисова, 07 – лукопасовищна, 08 – ґрунтозахисна, 09 – спеціальна, 10 – зрошувана, 11 – польова зрошувана, 12 – овочева зрошувана, 13 – кормова зрошувана, 20 – поза сівозміною, 40 – багаторічні насадження, 61 – сіножаті докорінного поліпшення, 62 – сіножаті поверхневого поліпшення, 71 – пасовища докорінного поліпшення, 72 – пасовища поверхневого поліпшення. Якщо на початку коду стоїть 0, це означає без зрошення, якщо 1 – із зрошенням. Третій символ визначає номер сівозміни, четвертий і п'ятий – номер поля, шостий – виробничої ділянки.

Розроблено коди для ґрунтів (дерново-підзолисті – 0205, ясно-сірі лісові – 0310, чорноземи типові – 0407 та ін.), для культур (пшениця озима – 1925, цукрові буряки – 2300, картопля – 3110, тощо), органічних і мінеральних добрив (гній великої рогатої худоби – 010000, курячий послід – 050000, селітра аміачна – 111010, суперфосфат гранульований – 211032, нітрофоска – 611010 та ін.) Сформована база даних нормативно-довідкової інформації : характеристика полів і виробничих ділянок, норми мінеральних добрив під культури, коефіцієнти використання поживних речовин з органічних і мінеральних добрив у післядії, вміст поживних речовин у добривах, окупність добрив приростами врожаїв, поправкові коефіцієнти на попередник, тощо.

Виробничу інформацію готують оперативно і вона включає: розміщення культур на полях на наступний рік, посівну площу, попередник, вміст поживних речовин у ґрунті, фактичне внесення добрив під урожай поточного року, норми і розміщення органічних добрив під урожай наступного року, умови вирощування.

Нормативно-довідкову і оперативну інформацію заносять у спеціальні форми і дискети чи інші носії інформації. Вся інформація концентрується у базі даних. Дані обробляють за допомогою прикладних програм і одержують вихідні документи: норми мінеральних добрив під культури, потреба у мінеральних добривах полів і виробничих ділянок, потреба у мінеральних добривах культур, потреба у мінеральних добривах господарств і районів.

Автоматизовані розрахунки дають змогу оперативно складати плани використання мінеральних добрив у господарствах, розраховувати норми добрив з урахуванням екологічних вимог до навколишнього середовища.

Програмний комплекс «Розрахунок балансу поживних речовин у землеробстві» застосовують для аналізу стану і напрямку змін родючості ґрунту та ефективного використання добрив. Баланс складають за статтями надходження поживних речовин у ґрунт і їх витратами. Поживні речовини надходять у ґрунт з органічними і мінеральними добривами, посівним матеріалом, атмосферними опадами і в результаті фіксації азоту бобовими культурами. Втрати поживних речовин відбуваються через винос основної і побічної продукції, фільтрації з атмосферними опадами, ерозійних втрат ґрунту. Нормативно-довідкову інформацію (вміст поживних речовин у насінні, в атмосферних опадах, тощо) заносять у базу даних. Обробку оперативної та нормативної інформації виконують за допомогою програмних засобів.

Програмні комплекси було також створено для розрахунку ресурсного врожаю сільськогосподарських культур, норм азотних добрив для підживлення озимих у весняно-літній період на основі ґрунтової і рослинної діагностики, аналізу ефективності використання ресурсів землі і добрив.

Через прискорену дегуміфікацію ґрунтів української ріллі, дуже важливою була розробка програмного комплексу «Розрахунок балансу гумусу в ґрунті і норм органічних добрив для його бездефіцитності». Саме

забезпечення бездефіцитності гумусу є основною передумовою оптимізації всіх ґрунтових режимів і ефективного управління ними. Для того, щоб оцінити спрямованість та інтенсивність змін вмісту гумусу, необхідно знати його баланс, який визначають як різницю між прибутком і витратами гумусу в ґрунті за певний період часу, наприклад, за період ротації сівозміни. Звичайно, що в агроґрунтознавстві його розраховують для умов окремої сівозміни, але дуже важливо, щоб сівозміни відповідали еколого-технологічним групам земель, на яких вони розміщені. Ця обставина мусить спрямовувати подальшу діяльність спеціалістів на розробку та впровадження програмних комплексів (комп'ютерних моделей) для оцінки балансу гумусу, а точніше – усієї динаміки гумусного стану ґрунтів при тривалому (постійному) залуженні та залісненні, але для таких ґрунтів ще не розроблено нормативів, таких, як наприклад для чорноземних ґрунтів України (Г.Я. Чесняк) чи нечорноземної зони Росії (О.М. Ликов).

При застосуванні нормативів Г.Я. Чесняка користуються коефіцієнтами гуміфікації рослинних решток ($K_{гум}$) і гною (0,058) у ґрунті та коефіцієнтами мінералізації ($K_{мінер}$) гумусу під окремими культурами чи у полі чорного пару. Розрахунок кількості рослинних решток під окремими культурами проводять за рівняннями регресії. Множенням кількості рослинних решток кожної культур сівозміни на відповідний коефіцієнт гуміфікації знаходять загальну кількість новоутвореного гумусу з рослинних решток. Кількість новоутвореного гумусу за рахунок гноб знаходять множенням його норми внесення на 0,058 (для дерново-підзолистих ґрунтів Полісся цей коефіцієнт складає 0,042). Втрати гумусу визначають на основі мінералізації його під окремими культурами. Враховують також втрати гумусу в процесі ерозії ґрунту. Програму для розрахунку балансу гумусу у сівозміні за методом Г.Я. Чесняка можна скласти на основі досить простого алгоритму, що передбачає використання таких довідкових і оперативних показників бази даних:

- Врож – врожайність культури сівозміни, ц/га;
- А, В, А₁, В₁ – коефіцієнти рівня регресії для визначення маси (ц/га) поверхневих і корневих пожнивних решток культури;
- К гум – коефіцієнт гуміфікації рослинних решток культури;
- К гум. гн – коефіцієнт гуміфікації підстилкового гною (0,058 для чорноземів Лісостепу за Г.Я. Чесняком);
- Нгн – норма підстилкового гною (т/га), що вноситься під дану культуру сівозміни;
- Кмінер – величина (т/га в рік) мінералізації гумусу під даною культурою сівозміни;
- ЕВГ – ерозійні втрати гумусу (середні щорічні за нормативами Гахова-Можейка), т/га, даний параметр стосується лише силових земель:
- n – кількість полів у сівозміні;
- % гум – вміст гумусу в орному шарі ґрунту сівозміни, %;

З використанням цієї системи параметрів, алгоритм методу Г.Я. Чесняка набуває вигляду:

$$B, \text{ гум. т/га} \cdot \text{рік} = 1/n \sum_{i=1}^n 0.1 (A \cdot \text{Врож} \pm B + A_1 \cdot \text{Врож} \pm B_1) \cdot K_{\text{гум}} + \\ K_{\text{гум. гн}} \cdot \text{Нгн} - K_{\text{мінер}} - 0,01 (\% \text{ гум} \cdot \text{ЕВГ}),$$

де B гум. т/га · рік – баланс гумусу на 1 га площі сівозміни в середньому за рік, т/га.

Методика розрахунку балансу гумусу в дерново-підзолистих ґрунтах поліських сівозмін набагато складніша за методику Г.Я. Чесняка. За основу в даному методі взято баланс азоту в системі «рослина-ґрунт-добрива». З балансу азоту переходять на баланс вуглецю (карбону) гумусу, $\text{кгС} \cdot \text{га}^{-1}$, беручи до уваги співвідношення між карбоном і азотом у гумусі як 10:1. Дефіцит азоту в ґрунті для рослин та мікроорганізмів поповнюється за рахунок азоту гумусу ґрунту при його повільній мінералізації. Стаття надходження гумусового балансу складається з надходження органічних речовин з корневими і поверхневими рештками польових культур, гноєм

та іншими органічними добривами, насінням і садивним матеріалом та зв'язуванням вуглекислого газу атмосфери синьо-зеленими водоростями. Стаття втрат складається з мінералізації органічних речовин ґрунту в умовах прийнятої технології вирощування сільськогосподарських культур і виносу азоту з коре ненасиченого шару з вертикальним і поверхневим стоком. Ми тут не будемо зупинятися на деталях запропонованої методики, а побудуємо алгоритм програми для розрахунку балансу, виходячи з такої системи довідкових та оперативних показників:

- Врож – врожайність культури сівозміни, ц/га;
- А, В – параметри рівняння регресії для розрахунку сумарної маси органічних решток (ц/га) за врожаєм даної культури (ц/га);
- K_{21} – коефіцієнт гуміфікації карбону пожнивних решток культури;
- $N_{гн}$ – норма гною (т/га), що вноситься під дану культуру сівозміни;
- D_n – доза азоту (кг/га) мінеральних добрив, що вноситься під дану культуру сівозміни;
- Винос N – винос азоту (кг/ц) основною та побічною продукцією даної культури сівозміни;
- $K_{мех}$ – поправковий коефіцієнт на винос азоту з ґрунту, що враховує гранулометричний (механічний) склад (для важкого суглинку і глини – 0,8; середнього суглинку – 1,0; легкого суглинку – 1,2; супіщаного ґрунту – 1,4; піщаного – 1,8);
- $K_{культ}$ – поправковий коефіцієнт на винос азоту з ґрунту даною культурою, що враховує особливості культури (для багаторічних трав – 1,0; просапних культур – 1,8; зернових та інших однорічних культур суцільного висіву – 1,2);
- n – кількість полів у сівозміні.

З врахуванням вищеозначеної системи параметрів, алгоритм методу О.М. Ликова набирає вигляд:

$$B, \text{ кгС/га} \cdot \text{рік} = 1/n \sum_{i=1}^n \{ [0.4 (A \cdot \text{Врож} \pm B) K_{21} + 0,027 N_{гн}] - [5(A \cdot \text{Врож} \pm B) + 0,0225 N_{гн} + 5 D_n - \text{Врож} \cdot \text{Винос N} \cdot K_{мех} \cdot K_{культ}] \},$$

де B кгС/га·рік – баланс карбону гумусу на 1 га площі сівозміни в середньому за рік, кг/га.

Користуючись балансовими розрахунками при аналізуванні гумусного стану ґрунту слід завжди пам'ятати, що головний недолік такого підходу – не врахування існуючого рівня цього стану, чи на якому рівні запасу гумусу у певному шарі ґрунту треба забезпечити бездефіцитний баланс. Щоб їх врахувати треба вдатися до моделювання системи. Найпростіші математичні моделі системи органічного вуглецю ґрунту в агро- чи біоценозах розглянуто у даному навчальному посібнику.

Нормативно-довідкову і оперативну інформацію заносять на машинні носії і вносять у базу даних. Інформацію обробляють на комп'ютері і розраховують баланс гумусу і норми органічних добрив для бездефіцитності цього балансу чи забезпечення певної його додатковості, наскільки це реально можливо.

Програмний комплекс «Розробка технологічного проекту підвищення родючості ґрунтів і продуктивності сівозмін у господарствах» передбачає підвищення родючості ґрунтів і продуктивності сівозмін при збереженні рівноваги в агроекосистемах і одержанні екологічно чистої продукції. Програмний комплекс реалізується за допомогою цілої низки програмних засобів для розв'язування задач позитивного балансу гумусу, підвищення вмісту рухомих сполук фосфору і калію. Розробка закінчується системою удобрення, що забезпечує високу продуктивність сівозмін і підвищення родючості ґрунтів до запланованого рівня.

Для ефективного управління режимом елементів живлення рослин у ґрунті передбачено збільшити набір задач з агрохімічного обслуговування і підвищення родючості ґрунтів на базі АРМ агронома-агрохіміка, розробити вдалу автоматизовану інформаційно обчислювальну систему оперативного управління хімізацією землеробства.

Розробка інформаційно-порадчих систем управління зрошенням істотною мірою забезпечує ефективне управління водно-повітряним та

іншими режимами ґрунтів на зрошуваних землях. Багаторічна робота з практичної реалізації цієї проблеми виконана колективом лабораторії режимів зрошення Інституту гідротехніки і меліорації Української академії аграрних наук (нині Інститут водних проблем і меліорації НААН України). Проведено всебічний аналіз зрошення як системи управління, обґрунтовано технологічні вимоги до методів і технічних вирішень у проблемі проектування режимів зрошення і оперативного управління їх реалізацією. Розроблено комплекс математичних моделей природних і технологічних процесів. З утилітарної точки зору, зрошення сільськогосподарських культур є системою заходів для використання природних і матеріально-технічних ресурсів для регулювання водного режиму ґрунту (а інколи і вологості повітря) для отримання максимальної продуктивності рослинництва. Максимального успіху зрошуване землеробство може досягти лише при оптимальному управлінні комплексом технологічних операцій з регулювання всіх факторів родючості в умовах необмеженого притоку всіх ресурсів. При комплексному управлінні досягається найбільший ефект, котрий виражається не простою сумою ефектів від окремих операцій, а в отриманні значно вищих приростів врожаю внаслідок прояву так званого синергізму.

Дефіцит природного вологозабезпечення культур у зоні зрошення практично щороку виступає першим фактором обмеження врожайності. Це підтверджується 1,5-2-кратним зростанням врожайності поливних культур у порівнянні з суходолом. Однак даних по вологості (вологозапасах) ґрунту для планування поливів недостатньо. Для цього потрібно 35-40 видів різної інформації, у зв'язку з чим оптимальне управління зрошенням можна здійснювати лише за допомогою автоматизованих інформаційних систем.

Існують загальні принципи управління поливами. Це управління повинне передбачати отримання за допомогою регулювання вологості

грунту максимальної за даних природних і антропогенних умов віддачі від зрошення при економному використанні ресурсів і мінімалізації негативних впливів на продуктивність земель і навколишнє середовище.

Оптимальним управлінням називають таку сукупність управлінських впливів, котра при заданих обмеженнях забезпечує найвигідніше значення деякого кількісного показника – критерію оптимальності, що характеризує ефективність функціонування об'єкта управління, а значить ефективність (якість) об'єкта управління.

Основним критерієм, на який орієнтуються при управлінні зрошенням, є динаміка запасів ґрунтової вологи в шарі максимального поширення (зосередження) коренів культури, котрий називається активним шаром ґрунту.

Нижньою межею діапазону оптимального для рослин зволоження ґрунту в активному шарі ґрунту є критична вологість та критичний запас вологи, що їй відповідає, нижче якого рослини уповільнюють ріст і знижують продуктивність. Верхньою межею цього діапазону є деякі максимальні вологість та вологозапас, вище котрого надмір вологи втрачається на стік і фільтрацію, і може спричинити ерозію ґрунту, вимивання елементів живлення рослин, поповнення ґрунтових вод та інші негативні впливи на продуктивність земель. На практиці за такий стан зволоження ґрунту приймають запаси вологи при найменшій (польовій) вологоємності.

При дефіциті ресурсів оптимальне управління зрошенням повинне забезпечувати реалізацію таких норм і термінів поливів на полях, при яких досягається найвигідніший розподіл наявних ресурсів між конкуруючими полями у сівозміні (між сівозмінами в господарстві і між господарствами в районі), орієнтований на отримання максимального ефекту від змушеного «урізаного» зрошення.

З позицій управління зрошенням, найбільш істотними є такі властивості ґрунтів основної зони зрошення ґрунтів в Україні (але слід пам'ятати про

необхідність вивчення зміни цих властивостей у процесі тривалого зрошення): чорноземи всіх підтипів, сірі і темно-каштанові ґрунти мають загальну високу пористість – вище або незначно вище 50% від об'єму ґрунту, що свідчить про високу волого- і повітреємність, волого- і повітропроникність. Вона помітно знижена на дерново-підзолистих (38-42%) ґрунтах і солонцях (40-46%). Величини пористості аерації високі на всіх ґрунтах, крім солонців та солонцюватих ґрунтів. А.Н. Костяков вважав, що нормальна аерація спостерігається тоді, коли пористість аерації при найменшій вологоємності (НВ) не нижче 15-20%.

Для більшості ґрунтів є важливою висока активна вологоємність, що характеризується максимальною зрошувальною нормою, що складає 80-100 мм, зменшуючись до 70 мм для ґрунтів з низькою пористістю.

Обов'язковою умовою точного управління як на окремих полях, так і на їх масивах, об'єднаних у сівозміни, є достовірна пошарова інформація про НВ та ВРК. Потрібні також характеристики швидкості вбирання ґрунтом поливної води і її гравітаційного переносу у профілі ґрунту. При строкатому ґрунтовому покриві на півночі зони зрошення України і в давніх заплавах річок такі показники на різних ділянках навіть одного і того ж поля різняться. Але навіть при «гомогенному» ґрунтовому покриві більшості зрошувальних масивів південного Степу, величини максимальних норм зрошення варіюють у істотних межах. Все це свідчить про необхідність індивідуального планування термінів і норм зрошення на кожному полі, що пов'язано з необхідністю збирання інформації про водно-фізичні властивості ґрунтів. Оптимальне управління поливами на всіх зрошуваних землях неможливе без автоматизації збору, зберігання і обробки інформації. Для планування тривалості і норм поливу на конкретній ділянці необхідно мати точні відомості про характеристики дощувальних машин і їх фактичній експлуатації на відповідних полях.

Однією з головних причин зниження ефективності зрошення є недостатня забезпеченість водними та іншими матеріально-технічними ресурсами.

Інформаційно-порадчі системи управління зрошенням потребують обробки дуже великого обсягу інформації за алгоритмами комплексу моделей. Структурна схема комплексу моделей включає:

1. Модель введення даних;
2. Модель прогнозування динаміки вологи у ґрунті;
3. Модель визначення оптимальних термінів і зрошувальних норм на полях;
4. Модель оптимізації планів поливів при недостатніх ресурсах;
5. Модель побудови укомплектованих планів поливів;
6. Модель управління інформаційним базисом;
7. Модель підготовки інформаційних зведень про хід зрошення та
8. Модель виведення оперативних планів поливів і зведень звітності.

Незважаючи на системний (кібернетичний) підхід різні системи управління зрошенням ще не здатні достатньою мірою враховувати і передбачати розвиток ґрунтових деградацій при зрошенні, особливо вторинного осолонцювання та злитизації ґрунту. У цьому відношенні вони ще потребують свого удосконалення.

Велике значення мають для України методи управління продуктивністю та екологічною стійкістю осушуваних земель за даними моніторингу. Осушувані землі є базою сільськогосподарського виробництва в північних і північно-західних регіонах України. Значні дослідження були проведені в цій справі В.С. Мошинським [25], що знайшли відображення у відповідній монографії та докторській дисертації. Було створено наукову концепцію застосування даних моніторингових спостережень для оцінки прогнозування і управління еколого-меліоративним станом осушуваних земель. На основі динамічної теорії міри розроблено математичну модель для розрахунку і

прогнозування продуктивності сільськогосподарських земель. Математично описано механізм сукупної дії факторів та умов життя рослин на формування фітомаси врожаю. На думку автора, особливістю осушуваних сільськогосподарських земель є наявність природної і антропогенної (техногенної) складових у внутрішній структурі.

Моніторингові дослідження нині є основним джерелом інформації для розробки сільськогосподарських та управлінських заходів. Еколого-меліоративний моніторинг у сучасному стані має свою структуру, котра включає:

1. Збір і обробку фактичних даних;
2. Формування бази даних;
3. Програми імітаційного математичного моделювання;
4. Синтез алгоритму управління;
5. Реалізацію управлінських рішень.

Модель продуктивності та оцінки стану осушених земель (ПОСОЗ) має таку узагальнену блок-схему роботи: початок → ввід додаткових даних → формування бази даних моніторингу → аналіз часових рядів, трендів, визначення середніх → аналіз динаміки змінних і абсолютна оцінка стійкості → розрахунки відношень показників стійкості → вивід та друк абсолютних оцінок відносного показника стійкості та наявних трендів → прогноз значень змінних за трендами → прогноз стану і стійкості → кінець. Застосування математичної моделі ПОСОЗ на прикладі п'яти типових (еталонних) осушуваних систем західної частини гумідної зони України показало, що вона може бути ефективно застосована для інтерпретації даних моніторингу шляхом оцінки загальної ефективності використання осушуваних сільськогосподарських угідь. Недоліком такого відображення систем є, на нашу думку, надмірне застосування імітаційного математичного моделювання. Критерії оптимальності виводяться і оцінюються із застосуванням експотенціальної (як унімодальної, так і бімодальної) функції Т.О. Грінченка.

Для оцінки агроекологічного стану осушених земель в «Земельних ресурсах України» (1998) звертається увага на деградації, що призводять до виникнення кризових екологічних ситуацій, а саме:

1. Дегуміфікація мінеральних ґрунтів;
2. Спрацювання осушених торфовищ;
3. Виробка торфових покладів без рекультивації;
4. Переосушення;
5. Хімічна деградація (озалізнення, окарбоначення, засолення, алюмінізацію, підкислення, підлуження, тощо);
6. Вторинне заболочування;
7. Вітрова і водна ерозія;
8. Надмірне ущільнення верхніх горизонтів ґрунту;
9. Забруднення ґрунтів важкими металами і залишками пестицидів;
10. Радіонуклідне забруднення ґрунтів

Всі ці види деградацій треба враховувати при розробці автоматизованих (комп'ютеризованих) систем управління ґрунтовими режимами на осушених ґрунтах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрохимические методы исследования почв. - М.: Наука, 1975.- 656с.
2. Атлас почв Украинской ССР/ Под ред. Н.К.Крупского и Н.И. Полупана. – К.: Урожай, 1979. – 178с.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв // А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина ,— 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986.- 416 с.
4. Вальков В.Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений. // А.Ф. Вальков.-- М.: Агропромиздат, 1986.- 208 с.
5. Веремеєнко С.І. Еволюція та управління продуктивністю ґрунтів Полісся України (Монографія) С.І. Веремеєнко , -Луцьк,-1997,-288 с.
6. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага.// С.А. Вериго, Л.А.Разумова.-- Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 328 с.
7. Вітвіцький С.В. Вплив способів обробітку чорноземів на гуміфікацію рослинних решток і гною. Автор. канд.. дисер. К.:УДАУ, 1992.-28 с.
8. Вітвіцький С.В. Вплив способів обробітку ґрунту на гуміфікацію рослинних решток та гною / С.В. Вітвіцький , -Сучасне ґрунтознавство: наукові проблеми та методологія викладання.,К.: НУБіП,- 2012,- с. 33-38
9. Вітвіцький С.В. Органічна речовина чорнозему типового в природних і культурних екосистемах / С.В. Вітвіцький.- Харків,- Вісн. ХНАУ,- 2013,- №1,- с. 73 – 77.
- 10.Вітвіцький С.В. Оптичні властивості гумусових речовин чорноземів / С.В. Вітвіцький .- Умань, УНІС,- 2010, с. 55 – 60.
- 11.Гахов В.Ф., Можейко Г.О. Процеси водної і вітрової ерозії.: Родючість ґрунтів . Мониторінг та управління. Київ: Урожай, 1992, с. 91-136.
- 12.Гнатенко О.Ф., Петренко Л.Р., Капштик М.В. та ін. Агровиробниче групування ґрунтів.//О.Ф. Гнатенко, Л.Р. Петренко, М.В. Капштик .- К.: НАУ, 1999. – 70с.

- 13.Гнатенко О.Ф., Капштик М.В., Петренко Л.Р., Вітвіцький С.В. Грунтознавство з основами геології.// О.Ф. Гнатенко, Л.Р. Петренко, М.В. Капштик, С.В. Вітвіцький,- К.: Оранта, 2005.- 642 с.
- 14.Грунти України та їх агровиробнича характеристика / Колектив авторів. К.: Урожай, 1964. – 164с.
- 15.Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР.//В.Н. Димо.- – М.: Колос, 1972.
- 16.Зайцев Б.Д. Грунтознавство.// Б.Д. Зайцев.-- М.: Лісова промисловість, 1965. –С.10 – 40.
- 17.Кисель В.И. Биологическое земледелие в Украине: проблемы и перспективы.//В.И. Кисель - Харьков: -, 2000. – 162 с.
- 18.Кисіль В.І. Вплив органічних і мінеральних добрив на показники родючості чорнозему типового за різних систем землеробства //Агрохімія і грунтознавство. – 2000. – Вип. 60. – С. 40-50.
- 19.Кисіль В.І. Модель біологічного землеробства інституту грунтознавства та агрохімії УААН. Грунтозахисна біологічна система землеробства в Україні / За ред. доктора с.-г. наук М.К.Шикули. – К.: Оранта, 2000. – С. 185-194.
- 20.Мазур Г.А., Медвідь Г.К.Сімачинський В.М. Підвищення родючості кислих ґрунтів.– К.: Урожай, 1984. – 176 с.
- 21.Медведев В.В. Бонитировка и качественная оценка пахотных почв Украины / В.В. Медведев, И.В. Плиско,-Харьков, 2006.- 385 с.
- 22.Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев,- М.: 1988 .- 158 с.
- 23.Медведев В.В. Структура ґрунту як екологічний чинник/ В.В. Медведев//вісн. ХНАУ ім. В.В.Докучаєва,-Харків,2009.-№3,- С.14-20
- 24.Методы стационарного изучения почв.– М.: Наука, 1977.– 296 с.
- 25.Мошинський В.С. Управління земельними ресурсами / В.С. Мошинський,- Рівне.- НУВГП.-2004.-185 с.

26. Надточий П.П., Вольвач Ф.В. Модель круговорота углерода и критерии устойчивости системы фитоценоз-гумусовые вещества почвы // Доклады АН Украины, 1993, - №8.- с. 165-171.
27. Надточій П.П., Гермашенко В.Г., Вольвач Ф.В. Екологія ґрунту та його забруднення. Аграрна наука. Київ. 1998.- с. 257-261.
28. Носко Б.С. Почвы Украины и повышение их плодородия /Б.С. Носко,- К.: Урожай,- 1988,- том 2.- 176 с.
29. Носко Б.С., Чесняк Г.Я. Як зберегти і підвищити родючість чорноземів /Б.С. Носко, Г.Я.Чесняк,- К.; Урожай.- 1984.- 200 с.
30. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981.– 272 с.
31. Петренко Л.Р., Бережняк Є.М. Математико-статистичне відображення водно-ерозійних процесів при дощуванні // Аграрна наука і освіта. Т. 8. - № 1-2.
32. Петренко Л. Р., Бережняк Є. М. Деякі теоретичні аспекти боротьби з антропогенним підкисленням ґрунту/Л.Р. Петренко, Є.М. Бережняк.- Науковий вісник НАУ,- К.: 2008.- № 125.- с. 88-95.
33. Петренко Л. Р., Бережняк М. Ф., Дудар Т. В., Бережняк Є. М. Основи ґрунтознавства (англійською мовою) / Л.Р. Петренко, М.Ф. Бережняк, Т.В. Дудар. Є.М. Бережняк .- К.: Вид. НАУ.- 2011.- 460 с.
34. Полевой определитель почв / Под ред. Полупана Н.И. и др. - К.: Урожай, 1981. – 320с.
35. Почвы Украины и повышение их плодородия. Т.1 Экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты / Под ред. Н.И.Полупана. - К.: Урожай, 1988. – 296с.
36. Почвы. Серия «Природа Украинской ССР»/ Под ред. Н.Б.Вернандер и Д.А. Тютюнника. – К.: Наукова думка, 1988. – 252с.
37. Охорона ґрунтів: Навч. посіб./ М.К.Шикула, О.Ф.Гнатенко, Л.Р.Петренко, М.В.Капштик. –К.: Т-во “Знання”, КОО, 2001. – 398с.

- 38.Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль О.М., Величко В.А. Визначення еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. К.: Аграрні науки. 2005.
- 39.Чесняк Г.Я. Гумусное состояние черноземов/ Г.Я. Чесняк, Ф.Я. Гаврилюк,И.А. Крупенников //Русский чернозем 100 лет после Докучаєва.М.: Москва,- Наука.- 1983.- с. 186-189.
- 40.Paton T.R., Humphreys G.S., Mitchell P.B. Soils: New Global View. – New Haven and London: Yale University Press. – 1995. – 213 pp.
- 41.Charles A. Black Soil Fertility Evaluation & Control / Taylor & Francis.- 1992 – 768 с.

ДОДАТКИ

1. Коефіцієнти переводу продукції рослинництва у зернові одиниці (еквіваленти)

Продукція	Коефіцієнт
Пшениця, жито, ячмінь	1,00
Кукурудза, овес	0,80
Цукрові буряки	0,26
Льон довгунець:	
Волокно	3,85
Насіння	1,65
Соломка	0,41
Коноплі:	
Волокно	3,85
Насіння	1,63
Соломка	1,47
Соняшник	1,47
Льон-кудряш (насіння)	1,65
Гірчиця	1,56
Картопля	0,25
Овочі	0,16
Кормові коренеплоди	0,20
Сіно:	
Однорічних трав	0,40
Багаторічних трав	0,50
Солома:	
Озимих культур	0,20
Ярих культур	0,25
Кукурудза на силос і зелений корм	0,17
Ягоди	0,12
Кісточкові плоди	0,14
Виноград	0,22
Сім'ячкові плоди	0,22
Цикорій	0,26
Рицина	1,75
Ефіроолійні	1,24

2. Нормативи екологічних умов вирощування сільськогосподарських культур за даними УНДІГА

Показники	Умови	Озима пшениця	Озиме жито	Ярий ячмінь	Овес	Кукурудза на зерно	Цукровий буряк	Соняшник	Картопля	Льон - довгунець
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Глибина гумусового шару, см	о	>65	>60	>65	>60	>65	>70	>65	>55	>50
	д	65-35	60-25	65-30	60-25	65-35	70-40	65-35	55-25	50-25
	н	<35	<25	<35	<25	<35	<40	<35	<25	<25
2. Гранулометричний склад**	о	2,3,4	3,4	2,3,4	2,3,4	1,2,3	2,3,4	1,2,3	3,4,5	3,4
	д	1	1,2,5	1	1	4	1	4	1,2	1,2,5
	н	5,6	6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	6	6
3. Щільність ґрунту, г/см ³	о	1,0-1,35	1,10-1,45	1,05-1,35	1,05-1,35	1,05-1,30	1,0-1,3	1,10-1,35	1,00-1,45	1,2-1,4
	д	1,00-1,10	1,00-1,10	0,95-1,05	1,00-1,10	0,95-1,05	0,9-1,0	1,00-1,10	0,80-1,00	1,4-1,6
	д	1,35-1,45	1,45-1,55	1,35-1,45	1,45-1,55	1,30-1,40	1,3-1,4	1,35-1,45	1,45-1,60	
	н	<1; >1,45	<1; >1,55	<0,95; >1,45	<1; >1,55	<0,95; >1,40	<0,9; >1,4	<1; >1,4	<0,80; >1,60	<1,2; >1,6
4. Реакція ґрунтового розчину (рН1120)	о	6,0-7,5	5,6-7,2	6,0-7,2	5,2-6,7	6,0-7,5	6,0-7,5	6,0-7,2	5,2-6,3	5,2-6,3
	д	5,6-6,0	4,5-5,6	5,6-6,0	5,1-4,7	5,6-6,0	5,6-6,0	5,6-6,0	4,5-5,2	4,5-5,2
	д	7,5-8,0	7,2-7,5	7,5-8,0	6,7-7,5	7,5-8,0	7,5-8,0	7,2-8,0	6,3-7,5	6,3-7,0
	н	<5,6 >8,0	<4,5; >7,5	<5,6; >8,0	<4,8; >7,5	<5,6; >8,0	<5,6; >8,0	<5,6; >8,0	<4,5; >8,0	<4,5; >7,0
5. Вміст гумусу, %	о	>3,5	>3,0	>3,5	>3,0	>3,5	>3,5	>3,5	>3,0	>2,0
	д	2,0-3,5	1,0-3,0	2,0-3,5	1,0-3,0	2,0-3,5	2,0-3,5	2,0-3,5	1,0-3,0	1,0-2,0
	н	<2,0	<1,0	<2,0	<1,0	<2,0	<2,0	<2,0	<1,0	<1,0

6.Вміст рухомого фосфору***	о	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5	5	5	4,5
	д	3	3	3	3	3	4	4	4	3
	н	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2
7.Вміст обмінного калію***	о	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5	5	5	4,5
	д	5	3	3	3	3	4	4	4	3
	н	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2
8.Сума активних температур >10°C	о	1600-2000	1600-2000	1600-2000	1600-2000	1600-2000	2480-2800	2390-2700	1600-2000	1600-2000
	д	1600-2000	1600-2000	1600-800	1600-1700	2600-2200	2000-2480	2000-2390	1200-1600	1200-1600
	н	<1200	<1200	<800	<1200	>2200; <2000	<2000	<2000	<1200	<1200
9.Температура повітря при появі сходові, °С	о	16-12	16-12	16-12	16-12	15-18	15-17	9-12	15-20	6-12
	д	6-4	6-4	6-4	6-4	15-10	8-15	7-9	8-15	4-6
	н	<4;>12	<4;>12	<4;>12	<4;>12	<10;>18	<8;<17	>7;>12	<8;>20	<4;>12
10.Температура повітря при формуванні генеративних органів, °С	о	16-20	16-20	16-20	16-20	20-24	20-23	23-25	16-20	15-18
	д	16-10	16-10	16-10	16-10	15-20	15-20	15-23	10-16	10-15
	н	<10;>25	<10;>25	<10;>25	<10;>25	<15;>26	<15;>25	<15;>27	<10;>25	<10;>20
11.Гідротермічний коефіцієнт (ГТК)	о	0,9-1,2	1,1-1,4	0,8-1,1	1,3-1,4	0,9-1,3	1,0-1,6	0,8-1,0	1,0-1,6	1,3-2,0
	д	0,9-0,7	1,1-0,9	0,80-0,65	0,9-1,3	0,9-0,7	0,9-1,0	0,7-0,8	0,8-1,0	1,2-1,3
	н	<0,7;>1,6	<0,9;>1,7	<0,65;>1,7	<0,9;>2,0	<0,7;>1,5	<0,9->2,0	<0,7;>1,3	<0,8;>2,0	<1,2;>2,1
12.Рівень ґрунтових вод (РГВ), м	О	>4,0	>4,0	>4,0	>3,5	>3,5	>4,0	>4,5	>4,5	>4,0
	д	4,0-3,0	4,0-3,0	4,0-3,0	3,5-3,0	3,5-3,0	4,0-3,0	3,5-4,5	3,5-4,5	4,0-3,0
	н	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,5	<3,5	<3,0

13.Мінералізація грунтових вод (при РГВ 5м), г/л	о	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	д	1,0-0,5	1,0-3,0	1,0-5,0	1,0-3,0	1,0-5,0	1,0-5,0	1,0-5,0	1,0-3,0	1,0-3,0
	н	>0,5	>0,3	>5,0	>0,3	>5,0	>5,0	>5,0	>0,3	>0,3
14.Запаси продуктив- ної вологи (мм) у шарі 0-20 см при появі сходів	о	>30	>30	>30	>30	>40	>30	>40	>40	>40
	д	30-10	30-10	30-10	30-10	40-20	30-10	40-20	40-20	40-20
	н	<10	<10	<10	<10	<20	<10	<20	<20	<20
15.Запаси продуктив- ної вологи (мм) у шарі 0-100 см у період цвітіння	о	>120	>120	>120	>160	>120	>140	>120	>60	>120
	д	120-60	120-60	120-60	160-80	120-80	140-120	120-80	60-40	120-80
	н	<60	<60	<60	<80	<80	<120	<80	<40	<80

*Умови: о - оптимальні; д - допустимі; н - недопустимі.

** 1 - глина; 2 - суглинок важкий; 3 - суглинок середній; 4 - суглинок легкий; 5 - супісок; 6 - пісок.

*** 1 - дуже низький; 2 - низький; 3 - помірний; 4 - високий; 5 - дуже високий

**3.Винос поживних речовин урожаєм сільськогосподарських культур
на 1 ц основної на відповідну кількість побічної продукції, кг**

Культура	Продукція	N	P₂O₅	K₂O
Озима пшениця	Зерно	3,20	1,10	1,60
Яра пшениця	-"	4,20	1,10	1,50
Жито озиме	-"	2,90	1,20	2,10
Кукурудза	-"	3,00	1,00	2,60
Ячмінь ярий	-"	2,70	1,10	1,60
Овес	-"	3,20	1,40	2,80
Просо	-"	3,40	0,90	2,90
Гречка	-"	3,00	1,50	3,90
Горох	-"	6,60	1,50	2,00
Вика	-"	6,70	1,40	1,70
Люпин	-"	6,00	1,70	3,30
Льон	Насіння	4,70	1,80	2,10
Коноплі	-"	4,30	2,30	2,60
Соняшник	-"	5,70	2,70	11,40
Буряки цукрові	Коренеплоди	0,50	0,13	0,50
Буряки кормові	-"	0,40	0,12	0,50
Кукурудза	Зелена маса	0,25	0,10	0,35
Вика з вівсом	-"	0,35	0,12	0,45
Горох	-"	0,70	0,15	0,20
Люпин	-"	0,60	0,11	0,30
Озиме жито	-"	0,30	0,12	0,45
Конюшина	Сіно	1,90	0,60	1,50
Люцерна	-"	2,60	0,60	1,50
Конюшина з тимофіївкою	-"	1,40	0,60	2,00
Тимофіївка	-"	1,60	0,70	2,40
Природні сіножаті	-"	1,70	0,70	1,80
Картопля	Бульби	0,50	0,22	0,80
Капуста	Головки	0,33	0,13	0,44
Томати	Плоди	0,26	0,04	0,36
Морква столова	Коренеплоди	0,32	0,10	0,50
Буряки столові	-"	0,27	0,15	0,43
Огірки	Плоди	0,17	0,14	0,26
Цибуля	Цибулини	3,00	1,20	4,00
Плодові й ягідні	Плоди і ягоди	0,50	0,30	0,60

4.Хімічний склад змішаного гною, %

Вид гною	Вода	Органічні речовини	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Свіжий	75	22	0,48	0,22	0,50
Напівперепрілий	71	19	0,50	0,26	0,55
Перепрілий	66	18	0,55	0,28	0,67
Перегній	64	17	0,60	0,32	0,69

5.Вміст поживних речовин у мінеральних добривах

Добриво	Хімічна формула	Основна поживна речовина	Вміст основної поживної речовини, %	Коефіцієнт перерахунку поживних речовин у фізичну масу
Азотні				
Аміачна селітра	N	N	34,5	2,90
Сульфат амонію	(NH ₄) ₂ SO ₄	N	21,0	4,76
Карбамід (сечовина)	CO(NH ₂) ₂	N	46,0	2,18
Кальцієва селітра	Ca(NO ₃) ₂	N	17,5	5,26
Рідкий аміак	NH ₃	N	82,3	1,22
Аміак водний	NH ₃ +H ₂ O	N	20,5	4,88
Фосфорні				
Суперфосфат	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	P ₂ O ₅	15,0	6,66
Подвійний суперфосфат	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	P ₂ O ₅	47,0	2,12
Преципітат	CaHPO ₄ · 2H ₂ O	P ₂ O ₅	38,0	2,63
Фосфоритне борошно	Ca ₃ (PO ₄) ₂	P ₂ O ₅	25,0	4,00
Фосфат шлак		P ₂ O ₅	10,0	10,00
Калійні				
Калій хлористий	KCl	K ₂ O	60,0	1,67
Калій сірчаноокислий	K ₂ SO ₄	K ₂ O	50,0	2,00
Калімагнезія	K ₂ SO ₄ · MgSO ₄	K ₂ O	28,0	3,57
Комплексні				
Амофос	NH ₄ H ₂ PO ₄	N	12	8,33
		P ₂ O ₅	39	2,56
Нітроамофоска		N	17	5,88
		P ₂ O ₅	17	
		K ₂ O	17	
Нітрофос		N	23	4,34
		P ₂ O ₅	17	5,88
Нітрофоска		N	11	9,09
		P ₂ O ₅	10	10,0
		K ₂ O	11	9,09

6. Норми висіву (кг/га) і вміст азоту, фосфору, калію в насінні основних сільськогосподарських культур
(у % на повітряносуху речовину)

Культура	Норма висіву	Азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калій (K ₂ O)
Озима пшениця	160-200	2,0-2,5	0,85-1,00	0,50-0,80
Яра пшениця	150-200	2,0-3,0	0,80-0,85	0,60-0,90
Озиме жито	160-200	1,5-1,6	0,70-0,85	0,50-0,60
Кукурудза на зерно	20-25	1,8-2,0	0,50-0,60	0,35-0,40
Кукурудза на силос	30-45	1,8-2,0	0,50-0,60	0,35-0,40
Ячмінь	160-180	1,8-1,9	0,80-0,90	0,50-0,60
Овес	140-160	2,0-2,1	0,70-0,85	0,40-0,50
Просо	20-25	1,7-1,9	0,55-0,65	0,50-0,60
Горох	170-180	4,0-4,5	0,90-1,00	1,00-1,30
Соняшник	10-15	2,5-2,6	1,30-1,40	0,90-1,00
Льон	40-50	3,8-4,0	1,20-1,40	1,00-1,10
Цукровий буряк	15-25			
Кормовий буряк	20-25			
Картопля	3000	0,25-0,35	0,12-0,15	0,50-0,60
Гречка	75-100	1,7-1,8	0,55-0,65	0,25-0,30
Люпин	200-250	4,7-4,8	1,40-1,50	1,15-1,25
Конюшина	10-15			
Еспарцет	90-100			
Люцерна	18-20			

7. Вміст азоту і зольних елементів у сільськогосподарських культурах (у % на повітряносуху речовину, для коренеплодів, овочевих культур і зеленої маси – на сиру речовину)

Культура	Продукція	Азот (N)	Калій (K ₂ O)	Кальцій (CaO)	Магній (MgO)	Фосфор (P ₂ O ₅)
1	2	3	4	5	6	7
Пшениця озима	Зерно	2,00-2,50	0,50-0,80	0,07	0,15	0,85-1,00
	Солома	0,50	0,90-1,00	0,28	0,11	0,20
Пшениця яра	Зерно	2,00-3,00	0,60-0,90	0,05	0,22	0,85
	Солома	0,60	0,75-1,00	0,26	0,09	0,20
Кукурудза	Зерно	1,8-2,0	0,37	0,03	0,19	0,57
	Солома	0,75	1,64	0,49	0,26	0,30
Жито озиме	Зерно	1,60	0,60	0,09	0,12	0,85
	Солома	0,45	1,00	0,29	0,09	0,26
Ячмінь ярий	Зерно	1,90	0,55	0,10	0,16	0,85
	Солома	0,50	1,00	0,33	0,09	0,20
Овес	Зерно	2,10	0,50	0,16	0,17	0,85
	Солома	0,65	1,60	0,38	0,12	0,35
Рис	Зерно	1,20	0,31	0,07	0,18	0,81
Просо	Зерно	1,85	0,50	0,10	-	0,65
	Солома	-	1,59	0,13	0,05	0,18
Гречка	Зерно	1,80	0,27	0,05	0,15	0,57
	Солома	0,80	2,42	0,95	0,19	0,61
Горох	Зерно	4,50	1,25	0,09	0,13	1,00
	Солома	1,40	0,50	1,82	0,27	0,35
	Зелена маса	0,65	-	0,35	0,14	0,15
Квасоля	Зерно	3,68	1,72	0,24	0,29	0,35
Люпин	Зерно	4,80	1,14	0,28	0,45	1,42
	Солома	1,00	1,77	0,97	0,34	0,25
	Зелена маса	0,55	0,30	0,16	0,06	0,11
Соя	Зерно	5,80	1,26	0,17	0,25	1,04
	Солома	1,20	0,50	1,46	0,50	0,36

Вика	Зерно	4,55	0,90	0,22	0,24	0,99
	Солома	1,40	0,63	0,56	0,37	0,27
Чечевиця	Зерно	4,80	0,88	0,17	0,07	0,98
Кормові боби	Зерно	4,08	1,29	0,15	0,22	1,21
	Солома	1,25	1,94	1,20	0,26	0,29
Бавовник	Насіння	3,00	1,25	0,20	0,54	1,10
	Волокно	0,34	0,91	0,16	0,17	0,06
	Коробочки	2,54	3,43	1,06	0,28	0,32
	Листки	3,20	1,28	6,14	0,12	0,50
	Стебла	1,46	1,31	1,00	0,41	0,21
Льон	Насіння	4,00	1,00	0,26	0,47	1,35
	Солома	0,62	0,97	0,69	0,20	0,42
Коноплі	Насіння	3,50	0,94	1,09	0,26	1,69
	Стебла	0,27	0,55	1,68	0,21	0,21
Соняшник	Насіння	2,61	0,96	0,20	0,51	1,39
	Ціла рослина	1,56	5,25	1,53	0,68	0,76
Хміль	Ціла рослина	2,50	1,79	1,07	0,70	0,58
	Стебло	1,57	1,12	1,25	0,27	0,39
	Шишки	3,22	2,30	1,10	0,36	1,11
Цукровий буряк	Корінь	0,24	0,25	0,06	0,05	0,08
	Бадилля	0,35	0,50	0,17	0,11	0,10
Кормовий буряк	Корінь	0,19	0,42	0,03	0,04	0,07
	Бадилля	0,30	0,25	0,16	0,14	0,08
Картопля	Бульби	0,32	0,60	0,03	0,06	0,14
	Бадилля	0,30	0,85	0,80	0,21	0,16
Турнепс	Корінь	0,18	0,29	0,07	0,02	0,08
	Бадилля	0,30	0,28	0,39	3,05	0,09
Брюква	Коріння	0,21	0,35	0,04	0,03	0,11
	Бадилля	0,34	0,42	0,65	0,08	0,20
Кормова морква	Коріння	0,18	0,40	0,07	0,05	0,11
	Бадилля	0,34	0,60	0,50	0,15	0,08

Циркорій	Коріння	0,25	0,26	0,05	0,03	0,08
	Бадилля	0,35	0,43	0,33	0,04	0,10
Капуста білокачанна	Качани	0,93	0,27-0,40	0,07	0,03	0,09-0,12
Цибуля ріпчаста	Цибулина	0,30	-	0,12-0,20	-	0,11-0,40
Морква	Коріння	0,23	0,38	0,12	0,05-0,12	0,13
Огірки	Плід	-	0,22	0,03	0,02	-
Салат	Листки	0,26	0,39	0,15	0,06	0,06-0,09
Томати	Плід	0,26	0,29-0,36	0,04	0,06	0,07
Лугові	Сіно	0,70	1,80	0,95	0,41	0,70
Люцерна на початку цвітіння	Сіно	2,60	1,50	2,52	0,31	0,65
Червона конюшина	Сіно	1,97	1,50	2,35	0,76	0,56
Вика на початку цвітіння	Сіно	2,27	1,00	1,63	0,46	0,62
Тимофіївка	Сіно	1,55	2,04	0,49	0,20	0,70
Еспарцет	Сіно	2,50	1,30	1,68	0,63	0,46
Сераделла	Сіно	2,45	2,19	1,82	0,28	0,91

8. Нормативні показники вмісту поживних речовин у ґрунтах із агрохімічними групами

Рівень показників	Вміст поживних речовин, мг/кг ґрунту								
	Азоту			Рухомого фосфору			Обмінного калію		
	Легкогідролізованих сполук		Нітрифікаційна здатність за Кравковим	За Кірсановим	За Чириковим	За Мачигіним	За Кірсановим	За Чириковим	За Мачигіним
	За Тюрнімовою	За Корнфілдом							
Дуже низький	<30	<100	<5,0	<25	<20	<10	<40	<20	<100
Низький	31-40	101-150	5,1-8,0	26-50	21-50	11-15	41-80	21-40	101-200
Середній	41-50	151-200	8,1-15,0	51-100	51-100	16-30	81-120	41-80	201-300
Підвищений	51-70	>200	15,1-30,0	101-150	101-150	31-45	121-170	81-120	301-400
Високий	71-100		30,1-60,0	151-250	151-200	46-60	171-250	121-180	401-600
Дуже високий	>100		>60,0	>250	>200	>60	>250	>180	>600

ПЕТРЕНКО

Леонід Романович

ВІТВИЦЬКИЙ

Станіслав Валерійович

БУЛИГІН

Сергій Юрійович

БОГДАНОВИЧ

Ростислав Петрович

УПРАВЛІННЯ ГРУНТОВИМИ РЕЖИМАМИ

Підручник

Редактор

Технічний редактор

Підписано до друку

Формат, папір Друк, Ум. Друк. арк. Замовлення

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № від

Видання і друк (назва, адреса, телефон, E-mail)