

Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

На правах рукопису

Черлінка Василь Романович

**ОБГРУНТУВАННЯ АГРОЕКОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ
МОДЕЛЕЙ ҐРУНТОВОЇ РОДЮЧОСТІ ТА ЇЇ ФАКТОРІВ
ВИМОГАМ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР**

03.00.27 – ґрунтознавство

**Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата
біологічних наук**

**Науковий керівник: доктор сільськогосподарських наук,
професор Назаренко І.І.**

Чернівці – 2001

ЗМІСТ

Вступ	
Перелік умовних скорочень	8
1. Агроекологічна відповідність моделей ґрунтової родючості та її факторів вимогам сільськогосподарських культур за літературними даними	9
1.1. Сучасні поняття родючості ґрунту	9
1.2. Агроекологічна відповідність моделей родючості та її факторів	14
1.3. Агроекологічні аспекти оцінки та використання ґрунтів	24
2. Об'єкт, мета, завдання, умови та методика досліджень	29
2.1. Об'єкт, мета і завдання досліджень	29
2.2. Умови та методика досліджень	32
3. Взаємозв'язки фізико-хімічних, агрохімічних і агрофізичних показників та їх регресійні моделі.....	39
3.1. Вплив на рівноважну щільність ґрунтів вмісту гумусу і параметрів ґрунтового вбирного комплексу	39
3.2. Рівноважна щільність та вбирний комплекс основних ґрунтів України	46
4. Обґрунтування агроекологічної відповідності моделей ґрунтової родючості та її факторів вимогам польових культур	56
4.1. Теоретичне обґрунтування проблеми	56
4.2. Вимоги польових культур до факторів їх росту і розвитку	69
4.2.1. Озима пшениця	69
4.2.2. Цукровий буряк	73
4.3. Вибір ґрунтово-кліматичних показників, їх нормування та зв'язки з урожайністю	75
4.3.1. Озима пшениця на чорноземах опідзолених	94
4.3.2. Озима пшениця на бурувато-підзолистих оглеєних окультурених ґрунтах	105
4.3.3. Цукровий буряк на чорноземах опідзолених	113
4.4. Комплексна оцінка ґрунтово-кліматичних умов та моделі родючості	120
4.4.1. Модель родючості для озимої пшениці на чорноземах опідзолених та бурувато-підзолистих окультурених ґрунтах	120
4.4.2. Модель родючості для цукрового буряка на чорноземах опідзолених	129
Висновки	133
Рекомендації виробництву	135
Список використаних джерел	136
Додатки	164

ВСТУП

Актуальність теми. Ґрунт – головний компонент природних екосистем, специфічною якісною властивістю якого є родючість. Від неї в значній мірі залежить рівень біопродуктивності сільськогосподарських культур. На сучасному етапі розвитку науки про ґрунт назріла нагальна необхідність шляхом моделювання обґрунтувати вимоги сільськогосподарських культур до факторів життя та агрометеорологічних умов вирощування і на основі цього провести агроекологічну оцінку родючості ґрунту, що обумовлюється логікою розвитку ґрунтознавства і агроекології.

Проведений патентний пошук та науковий аналіз літературних джерел виявив, що історично першими були створені моделі на основі агровиробничих функцій, які ґрунтувалися переважно на регресійному аналізі. Подальший розвиток інформативного ґрунтознавства призвів до виникнення цілого ряду моделей: **експертно-описових** – практично без використання математики; **агрометеорологічно-** та **агрохімічно-орієнтованих** – як правило, з застосуванням регресійних рівнянь; **ґрунтово-агрохімічних** – на основі бонітетних показників;

комплексних, або комбінованих – з залученням потужного математичного апарату та включенням майже всього комплексу факторів родючості.

Разом з тим, рядом вчених були встановлені моделі факторів родючості: рівноважної щільності і вмісту гумусу та ін., які дозволяють керувати процесами антропогенного впливу на ґрунтову родючість. Заслужують на увагу публікації, в яких висвітлюються питання агроекологічної відповідності факторів родючості і агрометеорологічних умов до вимог сільськогосподарських культур.

Проте, існуючі моделі, на наш погляд, мають деякі упущення, що стосується як моделей родючості, так і її факторів. У переважній більшості з них не повністю враховуються основні закони землеробства та не включаються вимоги культур до умов їх росту і розвитку, тобто відсутня агроекологічна спрямованість. Тому наші дослідження були направлені на виявлення залежностей між факторами родючості та створення математичних моделей по управлінню нею з врахуванням основних законів землеробства та агроекологічних вимог сільськогосподарських культур з метою прогнозування урожайності під впливом виробничої діяльності людини та розробки показників для ґрунтово-бонітувального моніторингу, що безумовно, є актуальним і необхідним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є частиною планової роботи і виконувалась в межах наукової теми кафедри ґрунтознавства та агробізнесу “Встановити особливості біогеохімії, розробити систему охорони і оптимізації екологічного стану ґрунтів Карпатсько-Придністровського регіону” (№ держреєстрації 0196U012536 (1996-2000 рр.)). Роль дисертанта полягала в проведенні польових, аналітичних і камеральних робіт, у підготовці та написанні наукових звітів.

Мета і завдання досліджень. Метою було встановлення закономірностей зв'язків та залежностей між основними параметрами, які характеризують ґрунт, та розробка математичних моделей родючості та її факторів з врахуванням основних законів землеробства та агроекологічних вимог основних сільсь-

когосподарських культур.

Об’єкт досліджень – моделі родючості, її фактори та відношення моделей родючості до основних законів землеробства, зв’язки між показниками властивостей ґрунтів, а також агрокліматичних умов стосовно агроекологічних вимог польових культур (озима пшениця і цукровий буряк).

Предметом досліджень були чорноземи опідзолені, сірі лісові та бурувато-підзолисті оглеєні ґрунти Передкарпаття еталонних та антропогенно-трансформованих угідь та вибірка з найбільш поширених типів ґрунтів України.

До завдань досліджень входило:

- проаналізувати існуючі математичні моделі родючості та її факторів і визначити ступінь залежності їх від агрохімічних, фізичних і фізико-хімічних показників ґрунту та агрокліматичних умов;
- провести кореляційно-регресійний аналіз взаємозв’язку результативних (вміст гумусу та рівноважна щільність ґрунту) та факторних (показники, що характеризують стан ґрунтового поглинального комплексу) ознак для виявлення їх значущого впливу на фактори родючості ґрунтів зонально-генетичного ряду України та ґрунтів Передкарпаття;
- обґрунтувати теоретично і розробити принципи створення моделей родючості ґрунту з урахуванням основних законів землеробства та агроекологічних умов;
- на основі моделі ґрунтової родючості дати комплексну її оцінку стосовно вимог польових культур;
- визначити фактори, що лімітують родючість досліджуваних ґрунтів та рекомендувати показники для ґрунтово-бонітувального моніторингу земель України.

Методи дослідження. Розробка проблеми поєднувала теоретичні та загальновідомі експериментальні дослідження на основі системного підходу. При створенні моделі родючості ґрунту та її агроекологічній оцінці застосовувалася розроблена нами методика з використанням **узагальненого показника**

родючості ґрунту. Фізико-хімічні, агрохімічні та агрофізичні аналізи ґрунтів проводилися за атестованими методиками, результати яких оброблялися засобами математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні лінійних та нелінійних залежностей між показниками ґрунтового поглинального комплексу, вмістом гумусу та рівноважною щільністю основних ґрунтів України. Виявлено частку варіабельності рівноважної щільності, обумовлену вмістом обмінного кальцію і магнію в мінеральних і органічних компонентах ГПК: обмінний кальцій мінеральних компонентів ґрунтового поглинального комплексу визначає варіацію рівноважної щільності приблизно в 2 рази меншу порівняно з органічними, тоді як обмінні форми магнію обумовлюють її приблизно порівну. Запропоновано **узагальнений показник родючості ґрунту (УПРГ)** та методика його розрахунку шляхом нормування окремих параметрів ґрунтової родючості **поліномами 3-4 степеня** та наступне їх усереднення за допомогою формули **середнього гармонічного**, яка є більш ємною в порівнянні з іншими середніми. На основі УПРГ створено модель родючості ґрунту стосовно основних законів землеробства і агроекологічних вимог різних сільськогосподарських культур.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані математичні моделі факторів дозволяють запропонувати заходи для досягнення оптимальних значень параметрів ґрунту та його режимів. Модель родючості ґрунту сприятиме оптимізації структури сільськогосподарських угідь та прогнозуванню очікуваної врожайності культур. УПРГ пропонується використати в якості показника при ґрунтово-бонітувальному моніторингу земель України. Результати роботи використовуються на кафедрі ґрунтознавства та агробізнесу Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича при викладанні розділу “Родючість ґрунтів” курсу ґрунтознавства та при виконанні курсових і дипломних робіт.

Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, викладе-

них в дисертації, є основним і полягає у визначенні напрямку, обсягів і методів дослідження; постановці мети та формуванні завдань; у виконанні основного об'єму експериментальної частини; в аналізі та узагальненні результатів; статистичній обробці матеріалу; апробації отриманих результатів і підготовці наукових праць до друку; написанні та оформленні дисертації. Аналіз та обговорення результатів досліджень проведено спільно з науковим керівником. В опублікованих із співавторами працях вклад здобувача становить 33-50%.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на науковій конференції викладачів, співробітників та студентів, присвяченій 120-річчю заснування університету (1995 р.), на студентській науковій конференції ЧДУ (1998 р.), на V Українському з'їзді ґрунтознавців та агрохіміків в місті Рівне (1998 р.), на засіданнях кафедри ґрунтознавства та агробізнесу Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Публікації. На основі матеріалів дисертації автором і за його участю опубліковано 7 наукових праць, з них 5 у фахових виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків. Робота викладена на 224 сторінках друкованого тексту і включає 34 рисунки, 21 таблицю. Список використаної літератури налічує 339 найменувань, серед яких латиницею 16. Дисертація вміщує 10 додатків.

При виконанні дисертаційної роботи були використані матеріали по сортовипробувальним дільницям Чернівецької області, люб'язно надані начальником інспектури держкомісії України по випробуванню та охороні сортів рослин М.С.Тупкало. Автор щиро вдячний науковому керівнику, доктору сільськогосподарських наук професору І.І.Назаренко за допомогу і консультації в процесі виконання та написання роботи і співробітникам кафедри ґрунтознавства та агробізнесу Чернівецького національного університету, особливо доцентам М.А.Бербецю, І.С.Смазі і кандидату біологічних наук Р.І.Беспалько.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ρ	– рівноважна щільність, г/см ³
C	– вміст гумусу, %
ГПК	– ґрунтовий поглинальний комплекс
$Ca^{2+}_{обм}, Mg^{2+}_{обм}$	– вміст обмінних катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} , мг-екв/100 г ґрунту
S	– сума ввібраних катіонів, мг-екв/100 г ґрунту
V	– ступінь насиченості основами, %
CM	– відношення обмінних катіонів, Ca^{2+}/Mg^{2+}
H_T	– гідролітична кислотність, мг-екв/100 г ґрунту
pH(KCl)	– реакція ґрунтового розчину в сольовій витяжці
NRK	– вміст легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію, мг/100 г ґрунту
r_{xy}	– парний коефіцієнт кореляції між ознаками X та Y
$r_{xy.z}$	– частинний коефіцієнт кореляції між X та Y за виключенням впливу Z
$r_{x.yz}$	– множинний коефіцієнт кореляції між X та сукупністю Y і Z
R, R_n	– коефіцієнт кореляції між урожайністю і ненормованими та нормованими значеннями факторів родючості
$t_{факт}, t_{05}, t_{01}, t_{001}$	– t-критерій фактичний та табличний для рівня значущості 95, 99 і 99.9% відповідно
$F_{факт}, F_{05}, F_{01}$	– F-критерій Фішера-Снедекора фактичний та табличний для рівня значущості 95 і 99% відповідно
b_0, b_1, b_2	– коефіцієнти регресії у відповідних рівняннях
ГТК, ГТК'	– гідротермічний коефіцієнт та його модифікація за період з ефективними температурами
УПРГ	– узагальнений показник родючості ґрунту: математично відповідає середньому гармонічному
УПРГ(ґрунтовий)	– варіант показника з урахуванням таких 8 ґрунтових параметрів: C, потужність гумусованого шару, вміст фізичної глини, азоту, фосфору та калію, pH(KCl) і ρ
УПРГ(загальний)	– варіант показника з урахуванням окрім ґрунтових й клімато-метеорологічних показників: ГТК', сума ефективних температур, середньодобова температура повітря при появі сходів та утворенні продуктивних органів
ЗПЯГ	– зведений показник якості ґрунту: відповідає середньому геометричному [67]
ТО	– теоретичний оптимум умов росту і розвитку рослин
ЛДД, ПДД	– лівий та правий допустимі діапазони умов росту і розвитку
ЛНД, ПНД	– лівий та правий недопустимі діапазони
ЛОМ, ПОМ	– ліва та права оптимальні межі
ЛДМ, ПДМ	– ліва та права допустимі межі
ЛКМ, ПКМ	– ліва та права критичні межі

1. АГРОЕКОЛОГІЧНА ВІДПОВІДНІСТЬ МОДЕЛЕЙ ҐРУНТОВОЇ РОДЮЧОСТІ ТА ЇЇ ФАКТОРІВ ВИМОГАМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗА ЛІТЕРАТУРНИМИ ДАНИМИ

1.1. СУЧАСНІ ПОНЯТТЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ

В результаті тривалого розвитку природничих наук (землеробства, фізіології рослин, мікробіології, ґрунтознавства, агрохімії) і в першу чергу при розробці проблеми живлення рослин сформувалось поняття про родючість педосфери та її екосистем як можливість забезпечувати організми факторами життя: енергією, елементами живлення, водою, фізичними і фізіологічними умовами росту рослин.

За В.І.Вернадським (1926) родючість слід вивчати як планетарне явище, яке лежить в основі життєвих процесів по захопленню речовин організмами. Він відмічав: “Треба мати на увазі, що вся наукова постановка питання про родючість, про кількість речовини, яка утворюється життєвими процесами на даній площі землі, може бути правильно поставлена тільки на основі геохімічних явищ” [39, с. 23].

Під родючістю ґрунту слід розуміти його здатність забезпечувати рослини елементами живлення, водою, а їх кореневі системи повітрям та теплом завдяки сукупності фізичних, хімічних і біологічних властивостей. Вона визначається вмістом в ґрунті гумусу, азоту, фосфору, калію та ряду інших елементів. Важливе значення мають також реакція середовища, фізичні властивості, вміст солей, гранулометричний склад, солонцюватість, кам'янистість, зволоженість тощо [62, 63, 72, 31, 35, 237, 226, 271, 232, 305].

Родючість ґрунту обумовлюється інтенсивністю кругообігу речовин і енергії в системі ґрунт-рослина. Рівень інтенсивності потоків залежить від запасів речовин у профілі ґрунту і може значною мірою змінюватись та регулюватись в залежності від ґрунтових режимів: водного, повітряного, теплового, окисно-

відновного, мікробіологічного та поживного [137, 48].

Слід зауважити, що родючість ґрунту внаслідок антропогенного впливу може підвищуватися, або знижуватися [192, 193, 254]. Це впливає в цілому на родючість педосфери, але в видозмінених (сінокоси, пасовища) чи створених людиною екосистемах (агробіоценозах), які є частинним випадком глобальних екосистем, останнє особливо помітне: рівень родючості суттєво змінений порівняно з вихідними, причому зміни можуть бути як позитивними, так і негативними [125, 126, 254]. Суттєвим є те, що людина при необхідності може спрямувати зміну родючості окремих агроекосистем в сторону підвищення її різними шляхами [208]:

- 1) покращення факторів родючості для видів, які вже населяють екосистему;
- 2) підбір з уже відомих видів найбільш пристосованих для даної екосистеми;
- 3) створення нових видів шляхом зміни генетичного апарату, які будуть найбільш повно використовувати фактори родючості, наявні в екосистемі;
- 4) одночасне використання першого і третього напрямків.

За сприятливих обставин при зрошенні та удобренні, тобто йдучи першим шляхом, а також підбираючи певні сорти, врожайність сільськогосподарських культур може сягати значних величин: озимої пшениці – 92.2-120 ц/га, кукурудзи – 153, цукрового буряка – 713, капусти 755 ц/га [208], картоплі – 1010-1331 ц/га [284].

Дослідження, проведені в СРСР та країнах Європи показали, що при визначенні потенційної врожайності картоплі число контрольованих землеробом факторів сягає 47, а найвищої її продуктивності можна досягти при оптимальному співвідношенні керованих і некерованих факторів на всіх етапах росту і розвитку рослин [54].

Тому для створення оптимальних умов росту і розвитку сільськогосподарських культур необхідно впливати на фактори родючості з метою приведення їх до оптимального інтервалу значень [110, 152, 161, 261, 14, 35, 7, 293, 81, 116, 310]. Цього досягають застосуванням обробітку ґрунту, введенням сівозмін,

внесенням органічних та мінеральних добрив, хімічною та гідротехнічною меліораціями.

Категорії, види та форми родючості ґрунту. В науковій літературі зустрічається багато термінів, що означають різні категорії, види та форми родючості ґрунту: природна, потенційна, ефективна, економічна та ін. Така термінологія відбиває складність і багатокомпонентність питання, висвітлює різні сторони цього явища та одночасно вказує на поки що недостатню системність знань про родючість.

Одна з найбільш повних і узагальнених класифікацій груп родючості розроблена Б.А.Никитиным [209], в якій виділені типи, види, різновидності, форми та стан ґрунтової родючості (рис. 1.1).

Однак родючість будь-якого ґрунту проявляється у двох формах: потенційній та ефективній [194]. На сьогоднішній день розроблені розгорнуті визна-

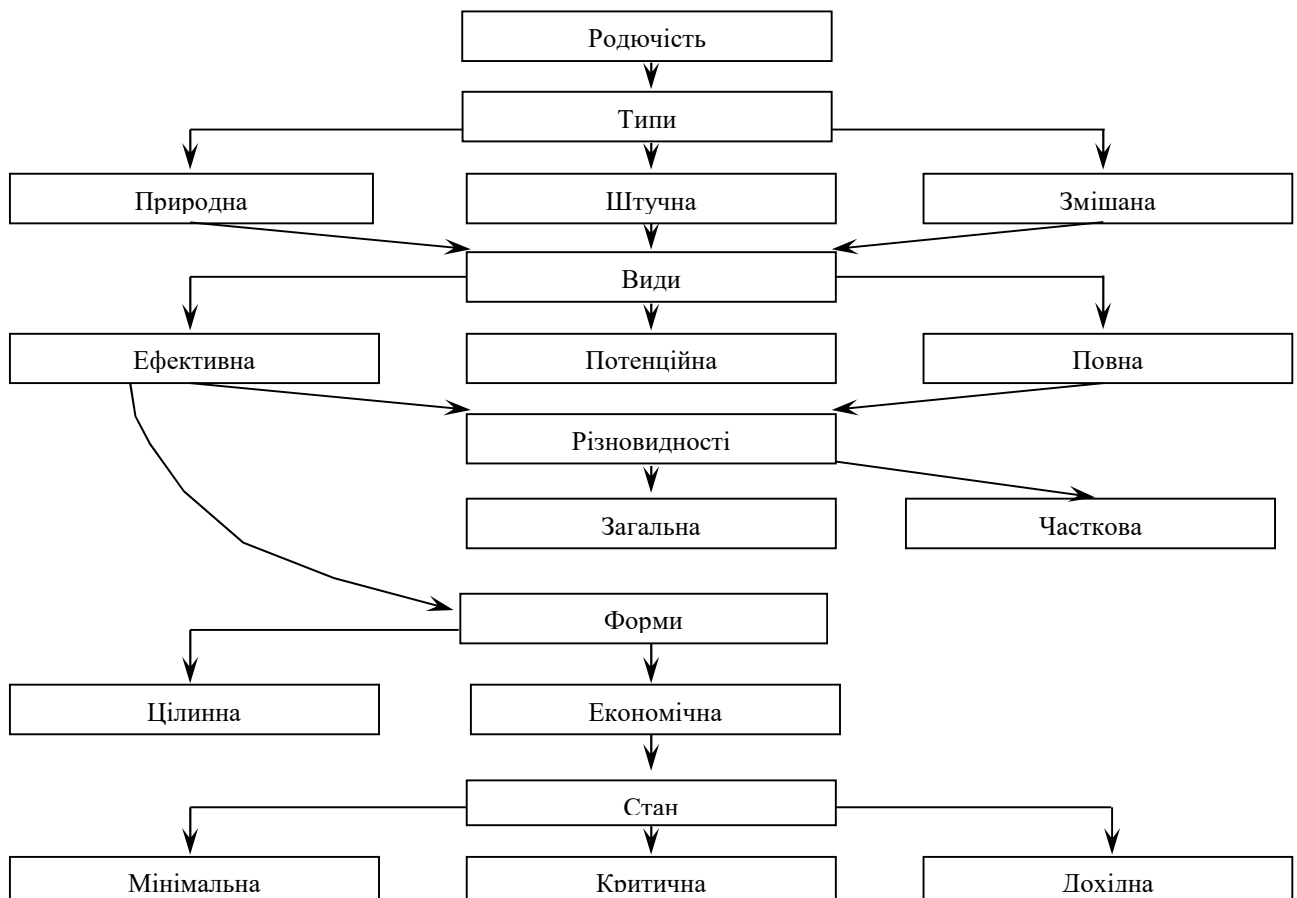


Рис. 1.1. Класифікація груп родючості ґрунту [209]

чення цих понять.

Потенційна родючість характеризується загальними запасами елементів живлення рослин, формами їх сполук та складною взаємодією всіх інших властивостей, що визначають здатність ґрунту забезпечувати рослини всіма необхідними факторами для створення їх біомаси, основної та побічної продукції за рахунок природних і набутих під впливом діяльності людини властивостей ґрунту в багаторічному циклі. Вона визначається взаємодією на рослину ґрунтових і інших екологічних факторів при сільськогосподарському використанні ґрунту (рілля, сінокіс, пасовище) або в природних умовах (ліс, лучна чи степова рослинність).

Ефективна родючість проявляється через продуктивність (врожайність) рослин. Вона вимірюється величиною елементів родючості, що надходять в біомасу за вегетаційний період (або інший проміжок часу) на одиницю площі ґрунту (або одиницю об'єму біогеоценозу) [208, 64, 250].

З розвитком природничих наук та агрономії змінюються засоби мобілізації елементів живлення в ґрунті та, як наслідок, змінюється його родючість, тобто вона не є виключно природною, об'єктивною властивістю. При правильній системі антропогенного впливу ґрунт постійно поліпшується та його родючість підвищується [60, 65, 331, 197, 117, 134, 305]. Тому на думку О.М.Грінченка (1984) потрібно виділити і використовувати в сільськогосподарській діяльності три категорії ґрунтової родючості:

1. Природна родючість ґрунту – родючість, якою володіє ґрунт як природно-історичне тіло.
2. Ефективна родючість ґрунту – родючість, що проявляється у величині врожаю культурних рослин та обумовлена господарською діяльністю людини.
3. Економічна родючість ґрунту – внаслідок докладання праці, засобів та знань, правильного використання ґрунту змінюється природна і підвищується ефективна родючість, перетворюючись в економічну, яка реалізується у визначеній кількості споживчих вартостей [64, 82].

Родючість природних ґрунтів складається в процесі їх формування під впливом факторів ґрунтоутворення і оцінюється продуктивністю рослинності, а їх оброблюваних аналогів вимірюється величиною врожаю сільськогосподарських рослин і, крім ґрунтових умов, значною мірою визначається рівнем антропогенного впливу: умінням нейтралізувати шкідливі хімічні властивості даного ґрунту і створенням оптимального водного та повітряного режимів, можливістю використовувати мінеральні, органічні і бактеріальні добрива, ступенем механізації сільськогосподарського виробництва [98, 78], кліматичними, фітосанітарними умовами, господарсько-біологічними особливостями рослин [194]. Наприклад, щорічні втрати зерна та іншої продукції землеробства тільки від бур'янів, шкідників і хвороб сягають 20% валового врожаю [231].

Потрібно зазначити, що родючість ґрунтів реалізується лише в конкретному біогеоценозі чи агроценозі, або, як відмічав ще Д.М.Прянишников [243], поняття “родючість” – невід’ємне від сільськогосподарської культури.

Отже, родючість ґрунту – це відповідність умов ґрунтового середовища вимогам рослин, а тому для їх характеристики потрібно знати як показники властивостей і режимів ґрунту, так і біологічні особливості культур [41].

Цікавим є те, що родючість цілинного ґрунту по відношенню до культурних рослин нижча родючості орного ґрунту [207, 59]. Наприклад, на 3-4 рік після розорювання цілинного чорнозему врожай вівса нижче в 2.5-2.8 раз, ніж на такому ж чорноземі тривалого використання, який при менших запасах гумусу та азоту містить більшу кількість мікроорганізмів, здатних мобілізувати елементи живлення в доступну для рослин форму [162]. Це відноситься і до врожайності трав: вихід сіна з цілинного ґрунту менший за орний.

Формування родючості нижче початкового рівня є неповним відновленням ґрунтової родючості, повернення її до вихідного рівня означає відновлення, а створення її вище вихідного рівня являє собою розширене відновлення, тобто одночасний ріст як ефективної, так і потенційної родючості ґрунту, що є важливим завданням в умовах інтенсивного землеробства [138, 84, 62, 30, 177,

316]. Проте в нинішніх умовах за відсутності достатньої кількості органічних добрив та значного механічного тиску на ґрунт, відбувається фізична деградація ґрунтів, переущільнення, втрата структури, погіршення водо-, повітро- та коренепроникності та зниження родючості ґрунту [28, 183, 107].

Для розширеного відновлення родючості необхідно вдосконалювати системи удобрення та обробітку ґрунту, застосовувати правильні сівозміни, вапнування і гіпсування, а також різні заходи спрямовані на поліпшення водного режиму, боротьбу з ерозією тощо [48, 24, 168, 152, 111, 221, 30, 26, 179, 38, 99, 316, 116, 217, 265]. Однак, в умовах економічної кризи і обмеженого ресурсного забезпечення сільське господарство повинно ґрунтуватися на максимальному використанні внутрішніх ресурсів агроєкосистеми, більш ефективному застосуванні наявних мінеральних добрив та стимуляторів росту, що дасть можливість значно пом'якшити негативний вплив економічної кризи на стан землі, утримувати продуктивність на досить високому рівні [163, 38, 164].

Отже, проблема сутності родючості ґрунту на даному етапі розвитку науки є детально опрацьованою і враховує всі сторони цього явища. Разом з тим питання класифікації типів, видів, різновидностей, форм та стану родючості є дискусійним і викликає багато суперечок. Не відкидаючи беззаперечно прогресивні систематизації О.М.Грінченка [64] та Б.А.Никитина [209] для практичного використання більше підходить проста класифікація, запропонована В.Д.Мухомою [194], яка диференціює ефективну і потенційну родючості ґрунту.

1.2. АГРОЕКОЛОГІЧНА ВІДПОВІДНІСТЬ МОДЕЛЕЙ РОДЮЧОСТІ ТА ЇЇ ФАКТОРІВ

Сучасною формою уявлень про ґрунт як про багатопараметричний та динамічно змінюваний природний об'єкт виступають моделі. Широке використання моделювання обумовлюється логікою розвитку ґрунтознавства як науки [317].

Вибір методології моделювання визначається поставленими завданнями. Найбільш поширеними є прості з математичної точки зору моделі, які базуються на кореляційному та регресивному аналізах. Пізнавальна цінність та можливості використання таких моделей в подальшому безсумнівна [303, 260]. Найпростіші способи оцінки родючості ґрунту здійснюються, в основному, двома шляхами: бонітуванням ґрунтів і побудовою емпіричних регресійних рівнянь, які пов'язують урожайність з певним набором властивостей ґрунтів. Вони зводяться, по суті, до знаходження залежності деякої “міри родючості” (в якості якої виступає звичайно урожайність тих чи інших культур) від ряду “факторів родючості”, до яких можуть бути віднесені різноманітні характеристики ґрунтово-екологічної обстановки, а також параметри агротехнології [21, 141].

При створенні моделей використовують ряд понять: “виробнича функція” – при розгляді лише впливу параметрів агротехнології, “функція урожайності”, або “функція родючості” – коли розглядаються інші характеристики, які відрізняються окремими факторами [306, 300, 75, 152].

При оцінці родючості важливим є здатність моделей прогнозувати зміни ґрунтових умов за час інтенсивного землеробства. Тобто модель родючості описує зміну факторів родючості у часі, на відміну від функції родючості, яка є не чим іншим, як залежністю міри родючості від факторів при відносній їх постійності на багаторічному відрізку часу. Отже, система оцінювання і прогнозу стану земель включає в себе моделі та функції родючості, які взаємно доповнюють один одного [21].

В залежності від об'єкту моделювання виділяють різні їх класи [282].

Модель родючості повинна включати оптимальне співвідношення властивостей і режимів ґрунтів, оптимізація яких доцільна для одержання запланованого економічно виправданого врожаю, максимального коефіцієнта корисної дії систем землеробства з врахуванням екологічної та економічної їх раціональності [260]. При цьому поняття оптимальної моделі родючості буде змінюватися в залежності від рівня інтенсифікації сільськогосподарського виробництва

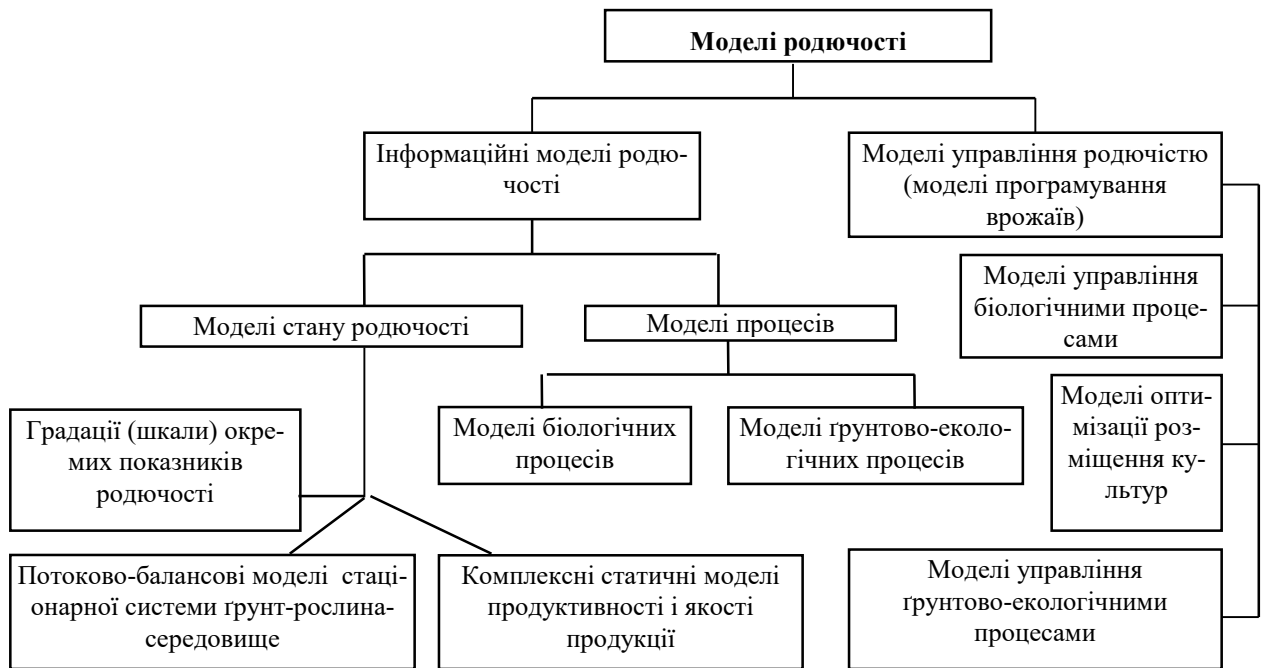


Рис. 1.2. Класифікація моделей родючості ґрунтів [303]

[255].

Взагалі, створювані моделі мають надзвичайно великий спектр застосувань в залежності від мети для якої вони призначені. Виділяють цілий ряд груп моделей (рис. 1.2), але запропоновані класи моделей не підміняють, а доповнюють один одного, відповідаючи при цьому різному ступеню узагальнення наукових знань [303].

Є багато цікавих розробок по створенню моделей вологопереносу в ґрунті, азотного, фосфатного та калійного режимів, низка моделей, в яких продуктивність сільськогосподарських культур представлена як функція ґрунтових параметрів. Однак, загальновизнано, що моделі такого типу не можуть розглядатися, як інтегральні моделі ґрунтової родючості. Ускладнення математичного апарату і використання електронно-обчислювальних машин не можуть змінити оцінки таких моделей як частинних. Слабкою ланкою залишається складність, а часто і неможливість інтеграції частинних моделей в блоки [282].

В основі формалізованого опису складних систем, в тому числі й ґрунту, лежить вибір головних змінних величин, які відображають стан об'єкта. При побудові моделі необхідно перш за все знайти по можливості найменшу кіль-

кість з існуючих факторів, які визначають основні риси досліджуваного об'єкту, а потім скласти його максимально простий математичний опис [317]. Саме тому поряд із створенням моделей власне родючості, дуже важливим є встановлення форм залежностей основних її факторів від ряду інших ознак, які прямо чи неявно впливають на умови росту і розвитку рослин та знаходяться в функціональній залежності від них. Загальна кількість параметрів, як вже зазначалося, не повинна бути надмірною, бо тоді динамічна модель “не працює”. В той же час адекватний модельний опис вимагає врахування всіх основних властивостей і режимів об'єкта: або безпосередньо, або за рахунок взаємодія між показниками. В останньому випадку один, або кілька з них з достатньою надійністю характеризують всю групу. Так, наприклад, щільність і структурний стан ґрунту об'єктивно відображають комплекс його водно-фізичних властивостей. Про інформативність таких інтегральних показників звичайно роблять висновки за даними кореляційного і регресійного аналізів [282]. Побудова раціональної системи факторів ґрунтової родючості детально описана Б.В.Железним [93]. В залежності від ступеня наближення (яких автор виділяє три) використовується від 5-6 до 50-60 базових параметрів. Дана система факторів родючості дозволяє проводити, в залежності від наближення як грубу, так і надзвичайно детальну характеристику території при розробці деталей агротехнології вирощування тієї чи іншої культури (і навіть сорту).

Для представлення емпіричних даних можуть використовуватись дві форми функцій родючості: поліноміальна та з розділеними коефіцієнтами [21]. Ці методи застосовують при характеристиці режимів і властивостей ґрунтів, виявлення дії факторів на врожайність.

Моделі можуть бути орієнтовані на вирішення завдань різного просторового масштабу, що автоматично відбивається на виборі елементарного об'єкту моделювання. Він залежить від запланованого ареалу екстраполяції та характеру її використання. Регіональні моделі можуть успішно використовуватись для вирішення багатьох крупномасштабних задач стратегічного плану. Але в силу

їх узагальнення вони недостатні для вирішення конкретних виробничих задач більш низьких ієрархічних рівнів просторової організації території. Це функція локальних моделей родючості ґрунтів, які є частинними випадками регіональних і відрізняються меншим ареалом екстраполяції, більшою прив'язкою до специфічних ґрунтових таксонів, іншим набором параметрів. Л.Л.Шишов, Д.Н.Дурманов, В.В.Ефремов, [282], розробили територіальну прив'язку моделей родючості для 29 з 32 землеробських зон колишнього Радянського Союзу (за виключенням гірських областей та північних територій). Моделі намічені для “зональних” та “супутніх” ґрунтів з врахуванням відмінностей їх гранулометричного складу. При цьому одна і та ж модель може слугувати еталоном для кількох ґрунтів, які відрізняються за ступенем гідроморфізму, еродованості, солонцюватості, засоленості та ін.

В світовій практиці можна знайти приклади використання самих різних принципів виділення операційних одиниць для локальних моделей родючості ґрунтів [334]. Класифікаційними ознаками часто служать, наприклад, ступінь еродованості, потужність гумусового горизонту, літологічна основа, особливості гідрологічного режиму, фактичний рівень родючості, механічний склад, комплексність ґрунтового покриву тощо [317].

Виділяють кілька блоків моделей родючості: агрофізичні, агрохімічні, органічної речовини і мінералогії. На думку ряду дослідників першочергове значення як фактора родючості має гумусованість ґрунту, оскільки здатність гумусових речовин формувати і регулювати фізико-хімічні властивості визначає їх важливу роль в оптимізації ґрунтових умов росту і розвитку рослин та мікроорганізмів [20]. В.А.Семенов [259], притримуючись подібної думки, доповнив її агрохімічним показником – вмістом фосфору, отримавши в результаті логарифмічну залежність урожайності від зазначених фізичних (гранулометричний склад) і фізико-хімічних показників (рН).

Використання вмісту гумусу в якості результативної ознаки, чи як однієї з головних факторних ґрунтується на тому, що з кількістю і якістю гумусу

пов'язані основні морфологічні ознаки ґрунтів, їх водний, повітряний, і тепловий режими, вміст і форми сполук основних елементів живлення, біохімічні та мікробіологічні показники, фізичні і фізико-хімічні властивості [49], кислотність і розвиток відновних процесів [222].

В.А.Бровкиным та М.А.Семеновым побудована динамічна модель, яка описує взаємозв'язок продуктивності рослин з запасами гумусу. При цьому враховується також два фактора, що лімітують продуктивний процес – азотне живлення та водний режим [29].

Ряд авторів при створенні функцій урожайності опирається лише на агрокліматичні та агрометеорологічні показники, не враховуючи вплив ґрунтових умов, що є суттєвим недоліком цього класу моделей [155, 311, 295, 283].

Р.А.Полуэктов [233] описує складні динамічні моделі агроєкосистем, хоча для прогнозу урожайності виділяє прості малопараметричні. А.С.Фрид і А.Я.Воронин [305] розробили статичну модель родючості ґрунтового покриву з врахуванням геометричних характеристик і контрастності родючості ґрунтового покриву.

С.А.Барбер [16], пропонує математичну модель засвоєння рослинами поживних елементів з ґрунту, що дозволяє прогнозувати його родючість ґрунту і дози добрив, призначені для поповнення недостатньої кількості поживних речовин. Завчасне виявлення значень невеликої кількості змінних цієї моделі, які характеризують рослину, ґрунт і погодні умови, дозволяє з допомогою ЕОМ керувати родючістю ґрунту. Моделі ґрунтових процесів з включенням досить великої кількості факторів створені під керівництвом И.М.Рижової [253].

Ш.И.Литвак [169] розробив агрохімічні моделі урожайності в залежності від доз добрив на основі регресійного аналізу.

В деяких випадках моделі родючості створюються як допоміжні для меліоративних цілей. Так, О.І.Жовтоног [94] вводить комплексний показник родючості ґрунту, який характеризує зміну базових показників за роки зрошення.

Існує ряд моделей, які не мають математичного опису, а є експертно-опи-

совими. Тим не менш, вони дозволяють оцінювати і керувати родючістю ґрунту та прогнозувати її зміни на основі узагальнення даних польових дослідів [198, 218, 241, 242, 316]. При використанні моделей такого типу, як правило, виділяється кілька рівнів родючості, хоча чисельна оцінка, як результат обчислень за певною схемою, відсутня. Інколи, як доповнення, використовуються регресійні моделі залежності урожайності від тих чи інших показників [9].

Одними з найскладніших є моделі продуктивності, які, в свою чергу, включають моделі освітленості, моделі процесів, що проходять в рослинах, моделі реакції культур на зовнішні впливи, моделі погоди [335, 324, 301]. Моделі цього типу, як правило, складаються для конкретних культур й, відповідно, враховують всі їхні агроекологічні вимоги. Дуже суттєвим недоліком є надзвичайна складність у створенні та практичному використанні, хоча останнім часом, у зв'язку з поширенням комп'ютерної техніки, дана проблема починає нівелюватися.

При створенні моделей необхідно враховувати не тільки запаси гумусу і основних елементів живлення, але й особливості ґрунтово-фізичних властивостей, в першу чергу волого-, тепло-, і повітрязабезпеченість кореневмісного шару ґрунту, його щільність і оструктуреність [88].

Деякі автори при створенні моделей родючості не включають до їх складу рівноважну щільність, а беруть в якості факторних ознак вміст фізичної глини, суму ввібраних основ [175], що на наш погляд є недоліком, оскільки саме вона в більшій мірі визначає водно-повітряний режим.

Зауважимо, що важливого значення набуває методологія відбору зразків та вимірювання їх характеристик. Наприклад, зразки ґрунту для визначення його рівноважної щільності необхідно відбирати тоді, коли ґрунт набуває стабільних значень цього показника, оскільки після оранки повернення ґрунту до вихідного стану (осідання) відбувається протягом тривалого часу [61].

Досить часто створюються моделі не тільки родючості, а й її факторів з використанням переважно регресійного аналізу. Так, зокрема, встановлені час-

тинні випадки регресійних залежностей між рівноважною щільністю та вмістом в ґрунті негуміфікованих рослинних решток [276], між рівноважною щільністю і вмістом фракцій крупного та середнього пилю й гумусу [130], рівноважної щільності ґрунту та целюлозоруйнуючої здатності, вмісту нітратів, інтенсивності виділення вуглекислого газу [55].

Деякі автори пропонують регресійні моделі рівноважної щільності та вмісту гумусу в залежності від показників ґрунтового вбирного комплексу для основних ґрунтів України, які є частиною зонально-генетичного ряду ґрунтів СНД [18, 19, 199, 200, 201, 309].

Експериментальною базою для одержання інформації при розробці інформаційних моделей родючості можуть бути тривалі польові дослідження, систематичні обстеження господарських посівів, лабораторні експерименти з перевіркою в полі [336, 304].

Пропонуються інформаційно-логічні моделі родючості, які включають ряд природно-кліматичних та ґрунтово-агрохімічних факторів [191]. Однак, незважаючи на досить високу точність, суттєвим недоліком цих моделей, розроблених для конкретного сорту, є використання різних поправок, таблиць тощо, що утруднює розуміння і знижує точність. Крім того, приуроченість даних моделей до конкретного регіону, обмежує використання їх в інших природно-кліматичних та ґрунтово-географічних умовах.

Як показала Всесоюзна координаційна нарада в Москві [191], найбільшого розповсюдження набули моделі, що ґрунтуються на кореляційному і регресійному аналізах, хоча деколи використовують й інші методи.

Моделі родючості можуть бути у табличній, формульній, графічній формах та у виді комп'ютерної програми. На думку деяких вчених на сучасному етапі можливе створення лише інтегральної моделі, яка відбиваючи оптимальне сполучення властивостей системи, вказує головні шляхи його досягнення та дозволяє прогнозувати зміни у часі вихідного стану властивостей ґрунтів під впливом факторів інтенсифікації. На її основі можливе цілеспрямоване керу-

вання процесами розширеного відтворення родючості. Реалізована ця ідея у вигляді схеми [154].

Широкого поширення набули різні методи по створенню моделей родючості, в основі яких лежать набір показників, режимів і властивостей ґрунту. Б.С.Носко [214], в якості факторних ознак використовує вміст гумусу, кислотність, рухомі форми фосфору та калію, дози та співвідношення мінеральних добрив. Автор виявив зміну залежності урожайності від вмісту в ґрунті рухомих фосфатів в зв'язку з властивостями ґрунтів різного генезису та одержані регресійні моделі (закономірності) зв'язку урожаю з вмістом рухомого фосфору (гіперболічна залежність).

Б.Ф.Апарін [11] розглядає родючість передусім як функціональну систему. Згідно його поглядів родючість – інтегрований системний багатопараметричний показник ґрунтових процесів і властивостей з закладеним в ньому результатом довготривалого періоду ґрунтоутворення, який включає як кількісні, так і якісні характеристики, що відбивають особливості функціонування конкретного ґрунту, його внутрішню структуру і зовнішні зв'язки. В загальному вигляді його можна представити наступною функцією: $P=f(M, E, S, I, W, T, X)$, де M, E – масоенергообмін ґрунту; S – ємність системи, або запас валових елементів поживного режиму і поглинальна здатність ґрунту; I – інтенсивність поповнення кореневмісного шару ґрунту доступними елементами живлення; W, T – вологість в кореневмісному шарі в період вегетації; X – фізико-хімічний стан середовища в різні фази розвитку рослин (рН, ОВП, концентрація шкідливих речовин). На думку В.Ф.Валькова [35] до поняття родючості Б.Ф.Апаріна слід додати і такі важливі складники родючості, як комплекс фізичних і біологічних властивостей ґрунту. Основним недоліком такого підходу є неврахування агро-екологічних вимог окремих культур до факторів родючості.

При створенні моделей користуються різними принципами, які в найбільш повній мірі відбивають складні взаємозв'язки в системі ґрунт – рослина – середовище. Пропонується деталізувати оцінку величини оптимуму по впливу на

різні компоненти системи. Наприклад, при оцінці впливу на тверду частину ґрунту необхідно відділяти дію на агрохімічні, фізико-хімічні, водно-фізичні, фізико-механічні властивості, ферментативну і мікробіологічну активність, енергетику процесів тощо [255].

Існують моделі родючості, побудовані на зведеному показнику якості ґрунту (ЗПЯГ). Рівень цього показника дозволяє не тільки оцінювати ступінь окультурення, але і передбачити напрямок розвитку культурного ґрунтоутворюючого процесу. В якості факторних ознак беруться величини рН, гідролітичної кислотності, вміст гумусу, рухомого фосфору, обмінного калію, сума ввібраних основ, а в якості результуючої – урожайність сільськогосподарських культур. Знання частинних показників якості ґрунтів допомагає розробляти диференційовані заходи по окультуренню ґрунтів для одержання стабільно високих врожаїв [68].

Сукупність сільськогосподарських рослин, що вирощуються на визначеній території з певним типом ґрунтової обстановки, утворює агрофітоценоз. Розроблені інтегральні моделі підвищення продуктивності агроценозів, які об'єднують дві категорії виробничих заходів – покращення продукційної здатності ґрунту (блок 1) і організаційну та технологічну перебудову їх використання (блок 2). Кожен з цих блоків може мати свої автономні критерії оптимальності, які часто суперечать один одному. Так, наприклад, історично в ФРН, Швейцарії, Австрії розширене відтворення родючості ґрунтів базувалося на поєднанні травопільних сівозмін та регулярному внесенні гною, тобто було оптимальне по блоку 1. В останні роки поступова відмова від багаторічних трав, насичення сівозмін зерновими, і особливо цукровим буряком та кукурудзою, а також індустріальні технології їх вирощування (оптимізація по блоку 2) ускладнили проблеми підтримки балансу гумусу і родючості ґрунтів в цілому. Це стимулювало розробку нових моделей, які враховують взаємообумовленість блоків 1 та 2 через механізми зворотніх зв'язків, їх поліциклічний характер. Так, в Швейцарії альтернативою травам вибрано регулярне внесення великих

кількостей соломи в поєднанні з мінеральним азотом [333]. Для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в плодозміні в ФРН рекомендовано зменшити кількість полів цукрового буряка. Це одночасно знижує екологічний прес дуже великих доз азоту, які вносять під дану культуру [325].

Навіть найскладніші інтегральні моделі – система CREAM (США, 1980), або модель Міжнародного центру в Нідерландах (1980) попри свої переваги, не відбивають зворотного впливу збільшення продуктивності агроценозів, включаючи фітомасу коренів, пожнивних решток і т.д., на родючість, в тому числі на процеси гуміфікації і баланс гумусу, тобто самоорганізацію агроєкосистем [317].

Отже, моделювання родючості ґрунту та її факторів на теперішньому етапі розвитку ґрунтознавчої науки ще не досягло досконалості. Існуючі моделі мають ті чи інші недоліки, що стосується як моделей власне родючості, так і її факторів. Переважна більшість з них практично не відображає хоча б основних законів землеробства та не включає вимог культур до умов росту та розвитку, тобто відсутня агроєкологічна їх спрямованість.

1.3. АГРОЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

На стику трьох окремих наук: агрономії, агрофітоценології і екології рослин сформувалася самостійна наука – агроєкологія, предметом якої є посіви і посадки сільськогосподарських культур в екологічних зв'язках із середовищем вирощування. Вона покликана розробляти теоретичні основи екологічно безвідходного і безпечного виробництва продуктів рослинництва для формування агроландшафтів і агросфери, так, щоб вони зберегли гармонійну рівновагу із біосферою.

Агроєкологічні аспекти використання ґрунтів стоять на першому місці серед проблем сучасної агрономії. Ґрунти – це не тільки основний сільськогосподарський ресурс, це ще й своєрідна пам'ять агроєкосистеми, яка зберігає інфо-

рмацію про минуле і сучасне кожного її діяння, це геомембрана з загальнопланетарною функцією [104].

Відомо, що значення і величини факторів, параметрів і показників ґрунтової родючості значно коливаються, в залежності від виду культури. При цьому теоретичною основою досліджень в галузі ґрунтової екології сільськогосподарських рослин стає вчення М.І.Вавілова про центри виникнення культурних рослин. Останні зберегли у своєму генетичному фонді, нехай і зміненому багатовіковою діяльністю людини, адаптивну реакцію до початкового природного середовища, вихідних ґрунтів, з якими колись складали оптимальну ґрунтово-екологічну єдність. Тому для ефективного використання ґрунтової родючості, отримання максимальних врожаїв необхідно досягати такої ж єдності і між сільськогосподарськими рослинами та культурними ґрунтами [цит. по 35].

Тому лише на агроекологічній основі повинні розроблятися прогнози розвитку сільського господарства, альтернативні моделі в галузях землеробства, рослинництва і тваринництва, та шукатися шляхи синтезу використання і охорони природи [3, 70, 270].

Довготривала експлуатація сільськогосподарських ландшафтів приводить до їх деградації [230, 185, 327, 299]. З врахуванням свідомої необхідності природоохоронних заходів, в обставинах всезагального дефіциту реальних фінансових і матеріально-технічних засобів на перший план виходить завдання підвищення об'єктивності визначення пріоритетів загальних напрямків і конкретних заходів для покращення екологічного стану територій різного масштабу [36-38, 290, 288, 289, 212].

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва пов'язана із зміною таких важливих компонентів біосфери, як ґрунт, вода, ліси, ландшафти, атмосфера. Якісні та кількісні виробничі і санітарно-гігієнічні показники їх, як правило, при цьому погіршуються. Це стосується необґрунтованих екологічних рішень (розорювання крутосхилів, заплав малих річок, висока питома вага просапних в сівозмінах, осушування великих територій), які супроводжуються не-

гативними екологічними наслідками. Так, наприклад, щорічно площа еродованих орних земель в Україні збільшується на 100-120 тис. га, значними темпами зростає ступінь еродованості ґрунтів. За даними Держкомзему України за 1961-1995 рр. кількість змитих орних земель зросла на 2.5 млн. га. Ступінь еродованості ґрунтів підвищилась: слабоеродованих з 19.3% у 1961 р. до 24.7% у 1990 р. і 25.6% в 1995 р., середньо- та сильноеродованих з 6.3% до 8.1% і 8.8% відповідно.

Втрату екологічної рівноваги, зниження родючості ґрунтів, в тому числі внаслідок посилення вітрової і водної ерозії, потрібно буде компенсувати величезними матеріальними, енергетичними і трудовими ресурсами. Тепер значна частина середньо- і сильнозмитих ґрунтів продовжує використовуватись в інтенсивному обробітку, що є економічно недоцільним і екологічно нераціональним [279]. Дана проблема гостро стоїть не тільки в Україні, а й в інших країнах колишнього СРСР, зокрема у Молдові [290].

Дегуміфікація – це ще один значимий фактор деградації ґрунтів. Землеробство функціонує за різко від'ємного балансу гумусу і основних поживних речовин, що негативно позначається на продуктивності та родючості ґрунтів, для підвищення якої до належного рівня потрібно витратити багато енергії, інших ресурсів: добрив, хімічних меліорантів. Наприклад, для підвищення вмісту гумусу на 0.1% при проведенні всіх найпрогресивніших агротехнічних прийомів потрібно як мінімум 15-20 років, а лише за останні 30 років вміст гумусу в ґрунтах знизився в середньому з 3.5 до 3.2%, що різко обмежує саморегуляцію в ґрунтах, а також їх буферні властивості. Підкислення ґрунтів призводить до переходу більшості важких металів, радіонуклідів у рухомі форми, збільшення коефіцієнту їх переходу в рослини, а отже, і погіршення якості продукції, що виробляється, істотного зниження продуктивності агроценозів [278].

Ґрунт надзвичайно чутлива до дії зовнішніх факторів система, яка при неправильному, нераціональному використанні властивих їй особливостей може прогресивно деградувати, що і відбувається в значних масштабах в Україні, причому ряд змін відбувається незворотно. Відсутність достатньої кількості

органічних добрив, значний механічний тиск на ґрунт, пов'язаний із недосконалістю ґрунтообробних технологій та техніки, призводить до фізичної деградації ґрунтів, переущільнення, втрати структури, погіршення водо-, повітря- та коренепроникності [183, 114].

Ґрунтові ресурси в даний час розглядаються в суспільстві передусім як джерело і засіб одержання прибутку, але увага, як правило, не акцентується на тому, що без турботи про збереження та відтворення їх родючості втрачаються природні властивості і в майбутньому потрібно буде витратити надзвичайно велику кількість ресурсів і енергії для досягнення вихідного рівня родючості, а отже, сталості і продуктивності агропромислового виробництва. Такий стан землі потребує посиленої уваги з боку її власників, землекористувачів, державних органів до забезпечення розв'язання проблеми охорони насамперед орних земель [269, 184, 257, 299].

При системному агроекологічному підході потрібно забезпечити сталість всього ландшафту, інтенсифікацію в його межах біологічного кругообігу енергії, води та біогенних елементів для збільшення продуктивності і сталості агроєкосистем. Потрібно, щоб інтенсивне землеробство супроводжувалося і доповнювалося досить складним комплексом ґрунтоохоронних заходів, які насамперед забезпечують оптимізацію структури сільськогосподарських ландшафтів, ефективне регулювання поверхневого стоку, підвищення протиерозійної стійкості ґрунтів та стабілізацію їх родючості, попередження забруднення поверхневих та ґрунтових вод продуктами ерозії [210, 195, 279, 313]. Тому є доцільним проведення постійного кризового моніторингу ґрунтів для своєчасного виявлення відхилень стану ґрунтів від рівноважного [185].

Беручи до уваги велику різноманітність агроєкосистем, для отримання точних даних про їх стан та динаміку а також ґрунтових та екологічних факторів в них необхідно проводити широкомасштабний екологічний моніторинг, кінцевою метою якого є правильне розміщення сільськогосподарських культур залежно від їх вимог до умов життя, що сприятиме отриманню максимальних врожаїв, як показано, зокрема в [186]. В зв'язку з цим, обов'язковим елементом

екологічного моніторингу є агроландшафтне районування, що проводиться на основі карт поширення ареалів з різними градаціями ґрунтово-екологічних факторів і даних про рельєф, ландшафтні особливості, ґрунти, гідрологію, матеріалів агровиробничого районування, бонітування ґрунтів та інших характеристик [240, 280, 323]. Стратегічним заходом для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва є повторне крупномасштабне дослідження земельних ресурсів України з метою уточнення границь ґрунтових відмін, наступної охорони і раціонального використання [108].

Отже, забезпечення сталого розвитку агроєкосистем, оптимізація посівних площ, попередження водної ерозії, дефляції, дегуміфікації та інших деградаційних процесів, можливе на основі створення, аналізу та практичного використання агроєкологічних моделей родючості ґрунтів.

Проведений патентний пошук та науковий аналіз літературних джерел показав, що моделі родючості на основі **агровиробничих функцій** [306, 75, 152], **експертно-описові** [241, 198, 218, 154, 242, 316], **агрометеорологічно-** та **агрохімічно-орієнтовані** [155, 311, 295, 283, 215, 153, 169, 259], **ґрунтово-агрохімічні** [277, 150, 45, 291, 262, 264, 120, 67, 68, 142], **комплексні, або комбіновані** [11, 335, 21, 282, 301, 29, 233, 170, 305], на наш погляд, мають деякі упущення, що стосується як моделей родючості, так і її факторів. У переважній більшості з них не повністю враховуються основні закони землеробства та не включаються вимоги культур до умов їх росту і розвитку, тобто відсутня агроєкологічна спрямованість. Не в повній мірі виявлені характер і вид залежностей між ґрунтовими показниками.

Тому проведення досліджень, спрямованих на виявлення залежностей між факторами родючості та створення математичних моделей по управлінню нею з врахуванням основних законів землеробства та агроєкологічних вимог сільськогосподарських культур з метою прогнозування урожайності під впливом виробничої діяльності людини є актуальним і необхідним завданням, яке вимагає свого вирішення.

2. ОБ'ЄКТ, МЕТА, ЗАВДАННЯ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. ОБ'ЄКТ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкт досліджень – моделі родючості, її фактори та відношення моделей родючості до основних законів землеробства, зв'язки між показниками властивостей ґрунтів, а також агрокліматичних умов стосовно агроекологічних вимог польових культур (озима пшениця і цукровий буряк).

За генезисом, гранулометричним складом, фізико-хімічними, фізичними та агрономічними властивостями ґрунти України є дуже різноманітними. Великомасштабними дослідженнями виявлено 634 їх види, а з врахуванням гранулометричного складу, засолення, ступеня еродованості та інших показників, кількість ґрунтових індивідуумів перевищує 2 тисячі [103], що обумовлено чітким зональним розподілом клімату і рослинності [143].

Предметом дослідження були ґрунти України різних типів, підтипів, родів та видів, що є частиною зонально-генетичного ряду ґрунтів країн СНД, зокрема ґрунти Передкарпаття. Досліджувались дерново-підзолисті ґрунти, автоморфні і глеюваті, піщані та супіщані, різного ступеня опідзолення; чорноземи опідзолені, типові, звичайні, південні важкосуглинкові і легкоглинисті, міцелярно-карбонатні; каштанові солонцюваті і солонці каштанові; солонці лугово-каштанові; поверхнево-глеюваті сильноосолоділі (глеєсолоді) і коричневі ґрунти, бурувато-підзолисті поверхнево-оглеєні, світло-, темно- та сірі лісові ґрунти різного гранулометричного складу [238]. Досліджувані типи ґрунтів охоплюють майже всі види земель, залучених у сільськогосподарське виробництво, тобто структура вибірки приблизно відповідає структурі земельного фонду України.

Позначення фізичних та фізико-хімічних властивостей, їх розмірностей та числових характеристик подані в додатку А2, де показана також відповідність загальної і погрупової нумерації досліджуваних ґрунтів. В основі поділу ґрунтів на групи покладено генетико-територіальний принцип, і саме тому до групи

каштанових солонцюватих і солонців каштанових потрапили поверхнево-глеюватий сильноосолоділий та коричневий ґрунти, хоча більш логічно було б виділити їх в окрему групу.

Особлива увага в дослідженні приділяється ґрунтам Кіцманської та Сторожинецької державних сортовипробувальних ділянок. Однією з складових мети роботи є проведення детальної агроекологічної оцінки їх придатності до вирощування основних для цієї території польових культур (озимої пшениці і цукрового буряка) і на основі цього запропонувати заходи по максимально ефективному, екологічно-безпечному використанню та підвищенню родючості ґрунтів Західного Лісостепу та Передкарпаття. Розташування сортоділянок показано в додат. Б2. Абсолютні висоти над рівнем моря такі: Кіцманської сортоділянки – 310 м, Сторожинецької – 420 м.

Відомо, що ґрунтовий поглинальний комплекс (ГПК) є матеріальним носієм катіонно-обмінної здатності ґрунтів. Він представляє собою сукупність мінеральних, органічних та органо-мінеральних компонентів, до складу яких входять катіони, здатні до еквівалентного обміну на іони нативного ґрунтового розчину. Від складу обмінних катіонів, в свою чергу, залежить рН ґрунтового розчину і його сольовий склад, поглинання органічних речовин фазами твердої частини ґрунту, утворення органо-мінеральних сполук, пептизованість або агрегованість тонкодисперсної частини ґрунту і відповідно, рівноважна щільність ρ . Великий вплив на неї здійснює також і гранулометричний склад [222]. Саме тому показник ρ був вибраний нами в якості одного з головних факторів родючості та як результативна ознака при визначенні особливостей ГПК досліджуваних ґрунтів і створення в кінцевому випадку моделі фактора, що і є однією із складових мети даної роботи.

Родючість, енергетичний потенціал, фізичні та фізико-хімічні властивості ґрунтів істотно залежать від гумусного їх стану, чи не найголовнішим показником якого є вміст гумусу (С). Ряд дослідників вважають його одним з основних у формуванні ґрунтової родючості [153, 259]. Тому вбачається доцільним ство-

рити модель цього фактора та дослідити силу і ступінь його зв'язку з іншими ознаками. Відомо, що між рівноважною щільністю ґрунтів ρ , вмістом гумусу (які по чергово бралися нами в якості результативної ознаки) та рядом фізико-хімічних показників, таких як: сума обмінних основ S , вміст та відношення обмінних форм Ca^{2+} і Mg^{2+} , насиченість ґрунту основами V можуть існувати кореляційні зв'язки. Ці залежності в ряді випадків настільки трансформовані, що їх виявлення являє собою окреме питання, яке ми поставили перед собою.

Ґрунт є складною полідисперсною гетерогенною системою, але одночасно він являє собою єдине ціле, яке не можна розглядати як просту адитивну суму складових його компонентів. Ось чому важко, а в ряді випадків неможливо поставити досліди по виявленню взаємозв'язків одних ознак при одночасному виключенні впливу на них інших властивостей. В той же час множинний кореляційно-регресійний аналіз дозволяє встановлювати і виявляти такі взаємозв'язки, що також є однією із складових мети нашої роботи і без проведення спеціальних дослідів [76, 140, 86, 90].

В роботі виявлялась тіснота зв'язку між рівноважною щільністю (ρ), вмістом гумусу (C) і кожною з факторних ознак (X) та створювались регресійні моделі, які б найбільш точно описували досліджувані ознаки, з метою встановлення на основі цього найбільш вагомих факторів по досягненню мінімальних значень рівноважної щільності при окультуренні ґрунтів різних типів.

Аналіз результатів моделювання дозволяє скоротити час експериментальних досліджень, в ряді випадків спрямувати їх в інше русло і одержати, таким чином, нові знання про досліджуване явище.

Отже **метою досліджень** було виявлення взаємозв'язків між факторами родючості ґрунтів зонально-генетичного ряду і Передкарпаття України на основі проведення кореляційно-регресійного аналізу та створення і практичне обґрунтування моделей родючості ґрунту з врахуванням основних законів землеробства та агроекологічних вимог польових культур.

До завдань досліджень входило:

- проаналізувати існуючі математичні моделі родючості та її факторів і визначити ступінь залежності їх від агрохімічних, фізичних і фізико-хімічних показників ґрунту та агрокліматичних умов;
- провести кореляційно-регресійний аналіз взаємозв'язку результативних (вміст гумусу та рівноважна щільність ґрунту) та факторних (показники, що характеризують стан ґрунтового поглинального комплексу) ознак для виявлення їх значущого впливу на фактори родючості ґрунтів зонально-генетичного ряду України та ґрунтів Передкарпаття;
- обґрунтувати теоретично і розробити принципи створення моделей родючості ґрунту з урахуванням основних законів землеробства та агроекологічних умов;
- на основі моделі ґрунтової родючості дати комплексну її оцінку стосовно вимог польових культур;
- визначити фактори, що лімітують родючість досліджуваних ґрунтів та рекомендувати показники для ґрунтово-бонітувального моніторингу земель України.

2.2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

У фізико-географічному відношенні територія України поділяється на зони: Полісся, Лісостеп, Степ, Сухий Степ, Карпатська і Кримська гірські області. Природні умови даних регіонів неоднорідні. Суттєво відрізняються вони також в межах відмічених зон [238]. Передкарпаття розташоване на північному заході України, за західною межею Лісостепової рівнини. Воно є фізико-географічною областю Українсько-Карпатської гірської країни і відповідає Передкарпатському крайовому прогину. З північного сходу Передкарпаття межує з Придністров'ям, яке є частиною Подільської височини, з південного заходу – із схилами східних Карпат. Останні і обумовлюють підвищену кількість опадів,

що відзначаються досить різкими перепадами як за роками, так і за окремими періодами року [97, 239]. Максимум припадає на червень-першу половину липня. Все це, в свою чергу, відображається на ґрунтовому покриві [4, 238].

Ґрунтові зразки відбирали з середини генетичних горизонтів в 2-х разовій повторності. В ґрунтових зразках визначали наступні хімічні та фізико-хімічні показники за загальноприйнятими методиками [8, 12, 33] в 3-разовій аналітичній повторності:

- вміст гумусу за методом І.В.Тюріна у модифікації В.Н.Симакова.;
- рН сольової і водної витяжок потенціометрично;
- гідролітичну кислотність за методом Каппена;
- ємність поглинання ґрунтів за методом Бобко-Аскіназі, Альошина у модифікації ЦІНАО;
- суму обмінних основ за методом Каппена-Гільковіца;
- обмінний Ca^{2+} і Mg^{2+} ;
- рухомий алюміній за методом Крупського, Александрової, Хижняк;
- ступінь насиченості ґрунту основами – розрахунково;
- обмінну кислотність за Дайкухара;
- лужногідролізований азот за Корнфілдом;
- рухомий фосфор і обмінний калій за Кірсановим або Чиріковим;
- рівноважну щільність методом ріжучого кільця за Н.А.Качинським;
- гранулометричний і мікроагрегатний склад за Н.А.Качинським;
- щільність твердих фаз – пікнометрично;
- загальну пористість – розрахунково.

З метою більш детального охоплення всього діапазону ґрунтових відмін деякі дані були запозичені в літератури [238]. Сформована вибірка була піддана статистичній обробці шляхом кореляційно-регресійного аналізу двох, трьох і більшої кількості ознак.

Лінійний парний регресійний аналіз полягає в визначенні параметрів емпіричної лінійної залежності $y(x)=b_0+b_1x$ (2.1), яка описує зв'язок між деяким

числом n пар значень x_i та y_i і забезпечує при цьому найменшу середньоквадратичну похибку. Графічно цю задачу можна представити наступним чином – в хмарі точок $x_i y_i$ площини $x y$ (рис. 2.1) необхідно провести пряму так, щоб величина всіх відхилень відповідала умові:

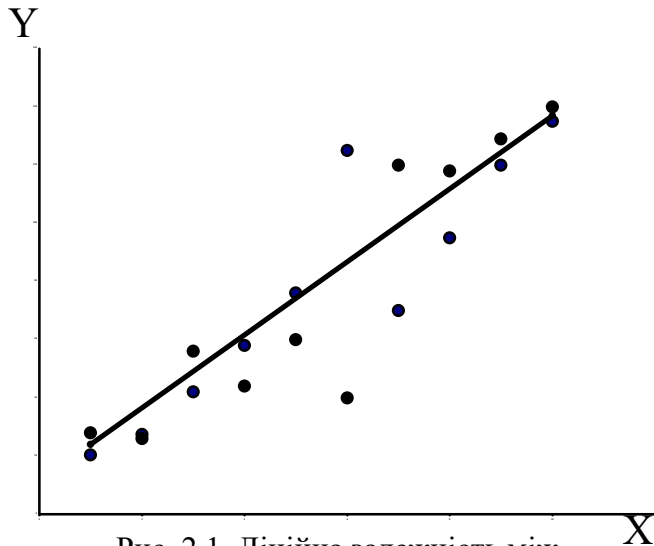


Рис. 2.1. Лінійна залежність між парами значень $X Y$

$$\omega = \sum_{i=1}^n [y_i - y(x_i)]^2 = \min,$$

де $y(x_i)$ – залежність (2.1).

$$y_1 = b_0 + b_1 x_1 + \omega_1$$

..... \Rightarrow

$$y_n = b_0 + b_1 x_n + \omega_n$$

$$\omega_1 = y_1 - b_0 - b_1 x_1$$

..... \Rightarrow

$$\omega_n = y_n - b_0 - b_1 x_n$$

$$\omega_1^2 = y_1^2 - 2b_0 y_1 - 2b_1 x_1 y_1 + b_0^2 + 2b_0 b_1 x_1 + b_1^2 x_1^2$$

..... \Rightarrow

$$\omega_n^2 = y_n^2 - 2b_0 y_n - 2b_1 x_n y_n + b_0^2 + 2b_0 b_1 x_n + b_1^2 x_n^2$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - 2b_0 \sum_{i=1}^n y_i - 2b_1 \sum_{i=1}^n x_i y_i + n b_0^2 + 2b_0 b_1 \sum_{i=1}^n x_i + b_1^2 \sum_{i=1}^n x_i^2$$

Прирівнюємо до 0 частинні похідні по b_0 і по b_1 .

$$2 \frac{\partial \omega}{\partial b_0} = -2 \sum_{i=1}^n y_i + 2n b_0 + 2b_1 \sum_{i=1}^n x_i = 0$$

$$2 \frac{\partial \omega}{\partial b_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_i y_i + 2b_0 \sum_{i=1}^n x_i + 2b_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0. \text{ Звідси}$$

$$\begin{cases} n b_0 + b_1 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ b_0 \sum_{i=1}^n x_i + b_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases} \quad (2.2)$$

Розв'язок системи рівнянь (2.2) дає значення коефіцієнтів b_0 і b_1 :

2. Проводиться прямий хід виключення змінних шляхом перетворення коефіцієнтів по формулам: $a_{ij} = -a_{ji}/a_{ii}$; $a_{jk} = a_{jk} + a_{ji}a_{ik}$; $y_i = y_i + a_{ji}y_i$, де $i=1, 2, \dots, n-1$; $j=i+1, i+2, \dots, n$; $k=i+1, i+2, \dots, i+n$. В кінці цих перетворень отримуємо $x_n = y_n/a_{nn}$.
3. Організуємо зворотній хід (послідовне знаходження $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_2, x_1$) проводячи розрахунки по формулам $h = b_i$ і $h = h - x_j a_{ji}$, де $i=n-1, n-2, \dots, 2, 1$; $j=i+1, i+2, \dots, n$ і $x_i = h/a_{nn}$. В результаті формується масив $X(i)$ невідомих $b_n, b_{n-1}, \dots, b_2, b_1$, який виводиться далі.

У випадку лінійної залежності виду $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k$ вектор оцінок коефіцієнтів регресії b отримується за формулою: $b = (X^T X)^{-1} X^T Y$, де

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \text{M} \\ y_i \\ \text{M} \\ y_n \end{pmatrix}; \quad b = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \text{M} \\ b_j \\ \text{M} \\ b_k \end{pmatrix}; \quad X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \Lambda & x_{1k} \\ \text{M} & \text{M} & & \text{M} \\ 1 & x_{i1} & \Lambda & x_{ik} \\ \text{M} & \text{M} & & \text{M} \\ 1 & x_{n1} & \Lambda & x_{nk} \end{pmatrix};$$

X^T – транспонована матриця X ; $(X^T X)^{-1}$ – матриця, обернена матриці $(X^T X)$.

Оцінка коваріаційної матриці коефіцієнтів регресії вектора b визначається з виразу:

$$S(b) = S^2 (X^T X)^{-1}, \text{ де } S^2 = \frac{1}{n-k-1} (Y - Xb)^T (Y - Xb).$$

Враховуючи те, що на головній діагоналі коваріаційної матриці знаходяться дисперсії коефіцієнтів регресії, маємо:

$$S_{(j-1)}^2 = S^2 [(X^T X)^{-1}]_{jj} \text{ для } j = 1, 2, K, k, k+1.$$

Значущість рівняння регресії, тобто гіпотеза $H_0: \beta = 0$ ($\beta_0 = \beta_1 = K = \beta_k = 0$), перевіряється по F -критерію, значення якого визначається за формулою:

$$F_{\text{спост}} = \frac{Q_R / (k+1)}{Q_{\text{осм}} / (n-k-1)}, \text{ де } Q_R = (Xb)^T (Xb), Q_{\text{осм}} = (Y - Xb)^T (Y - Xb).$$

По таблиці F -розподілу для заданих α , $\nu_1 = k+1$, $\nu_2 = n-k-1$ знаходять $F_{\text{кр}}$.

Гіпотеза H_0 відхиляється з ймовірністю α , якщо $F_{\text{спост}} > F_{\text{кр}}$. З цього випливає, що рівняння є значущим, тобто якщо хоча б один з коефіцієнтів регресії відмінний від 0 [76, 140, 86, 90].

Для перевірки значущості окремих коефіцієнтів регресії, тобто гіпотез $H_0: \beta_j = 0$, де $j = 1, 2, \dots, k$, використовують t-критерій і вираховують: $t_{\text{спост}}(b_j) = b_j / S_{b_j}$. По таблиці t-розподілу для заданого $\nu = n - k - 1$ знаходять $t_{\text{кр}}$.

Таким чином утворюються досить прості та ефективні регресійні моделі, точність яких досягається в першу чергу відносною простотою [206].

Різні фізичні і фізико-хімічні властивості ґрунту, як біокосного тіла, знаходяться в певних взаємозв'язках між собою, які можуть бути лінійними та нелінійними. Нас в багатьох випадках цікавить взаємозв'язок двох систем (ознак), які відображають певні властивості ґрунту. Але досліджувана залежність двох ознак X та Y може відчувати вплив третьої ознаки Z . Елімінуючи вплив Z за допомогою множинного кореляційного аналізу трьох ознак, можна досліджувати такі кореляції шляхом оцінки відповідних частинних коефіцієнтів $r_{xy.z}$, $r_{xz.y}$, $r_{yz.x}$ [76, 140, 86, 90]. Крім них, в якості міри тісноти лінійного зв'язку трьох ознак використовуються і множинні коефіцієнти кореляції $R_{x.yz}$, $R_{y.xz}$, $R_{z.xy}$ – між однією ознакою та сукупністю двох інших [85]. Критерії значущості $t_{\text{факт}}$ вказаних коефіцієнтів розраховуються за формулами, приведеними вище. Теоретичні значення t-критерію Стьюдента беруться із відповідних таблиць.

Множинний нелінійний регресійний аналіз взаємозв'язку трьох і більшої кількості ознак використовується при вивченні залежності між кількома змінними величинами, які входять в певну систему. Цей зв'язок прийнято виражати рівнянням множинної регресії, котра може бути лінійною та нелінійною [76, 140, 86, 90]. Дані залежності можна використати в якості моделей факторів родючості.

В роботі використаний також кореляційно-регресійний аналіз двох ознак згідно шістнадцяти рівнянь регресії:

- | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1) $\rho=A+Bx$; | 2) $\rho=1/(A+Bx)$; | 3) $\rho=A+B/x$; |
| 4) $x/\rho=A+Bx$; | 5) $\rho=A \cdot B^x$; | 6) $\rho=A \cdot \exp(Bx)$; |
| 7) $\rho=A \cdot 10^{Bx}$; | 8) $\rho=1/(A+B \cdot \exp(x))$; | 9) $\rho=A \cdot x^B$; |
| 10) $\rho=A+B \cdot \lg x$; | 11) $\rho=A+B \cdot \ln x$; | 12) $\rho=A/(B+x)$; |
| 13) $\rho=A \cdot x/(B+x)$; | 14) $\rho=A \exp(B/x)$. | 15) $\rho=A \cdot 10^{B/x}$ |
| | 16) $\rho=A+B \cdot X^n$ | |

Регресія проводиться на основі лінеаризуючих перетворень, які зводять нелінійну залежність $Y(x)$ до лінійної $Y=W+Vx$ з наступним перетворенням W і V в A та B [87].

Для реалізації згаданих алгоритмів була написана пакет програм на мові BASIC, яка проводить всі обчислення в автоматичному режимі (додат. В2)

Модель родючості ґрунту будувалася на основі **узагальненого показника родючості ґрунту** (в якості якого виступає середнє гармонічне) з використанням **поліномів 3-4 степеня** при розрахунку нормованих показників. Детальніше методика побудови моделі та її теоретичне обґрунтування наведені в розділі 4.1.

3. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ, АГРОХІМІЧНИХ І АГРОФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ЇХ РЕГРЕСІЙНІ МОДЕЛІ

3.1. ВПЛИВ НА РІВНОВАЖНУ ЩІЛЬНІСТЬ ҐРУНТІВ ВМІСТУ ГУМУСУ І ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТОВОГО ВБИРНОГО КОМПЛЕКСУ

Існуючі на сьогоднішній день практичні ґрунтообробні технології призводять до фізичної деградації ґрунтів, перш за все до їх ущільненості. Так, за даними В.В.Медведева [183], рівноважна щільність (ρ) чорноземних ґрунтів за останні 20-25 років зросла на 0.14 г/см³, а темно-каштанових – на 0.27 г/см³. Ущільнення зумовлює погіршення інших агрономічно та екологічно важливих властивостей ґрунту.

Залежність рівноважної щільності ґрунту від виробничої діяльності людини проявляється не тільки в тому, чи обробляється ґрунт в стані фізичної стиглості, а й від вмісту гумусу (С), складу обмінних катіонів ($\text{Ca}^{2+}_{\text{обм}}$ і $\text{Mg}^{2+}_{\text{обм}}$) ґрунтового поглинального комплексу (ГПК), їх суми (S) та відношення між ними (СМ), насиченості ґрунту основами (V). Зокрема, від складу обмінних катіонів залежить пептизованість тонкодисперсної частини ґрунту або, навпаки, її агрегованість, що і відбивається на величині ρ [43]. Отже, між рівноважною щільністю та зазначеними вище іншими показниками, що розглядаються нами як результативна та факторні ознаки відповідно, існують кореляційні зв'язки. Оскільки в ряді випадків зв'язок може бути сильно трансформованим, його встановлення являє собою окреме завдання [199]. Тому виявлення найбільшої тісноти зв'язку між рівноважною щільністю (ρ), вмістом гумусу (С) і кожної з факторних ознак (X) з використанням шістнадцяти анаморфоз (трансформацій) і на основі цього запропонувати рівняння регресії, яке найбільш точно відбиває реальну залежність, яка існує в природі – один з напрямів виконаної роботи.

Метод дослідження в даному випадку – кореляційно-регресійний аналіз

двох ознак. При цьому був встановлений вплив кожного із зазначених чинників X на величину результативних ознак ρ та C згідно шістнадцяти рівнянь на основі лінеаризуючих перетворень, які зводять нелінійну регресію до лінійної (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Лінеаризуючі перетворення нелінійних залежностей у лінійні [87]

№	Залежність	Лінеаризуючі перетворення	
		X	Y
1.	$y=A+B*X$	$x=x$	$y=y$
2.	$y=1/(A+B*X)$	$x=x$	$y=1/y$
3.	$y=A+B/X$	$x=1/x$	$y=y$
4.	$y=X/(A+B*X)$	$x=x$	$y=x/y$
5.	$y=A*B^X$	$x=x$	$y=\lg(y)$
6.	$y=A*\exp(B*X)$	$x=x$	$y=\ln(y)$
7.	$y=A*10^{(B*X)}$	$x=x$	$y=\lg(y)$
8.	$y=1/(A+B*\exp(-X))$	$x=e^{-x}$	$y=1/y$
9.	$y=A*X^B$	$x=\lg(x)$	$y=\lg(y)$
10.	$y=A+B*\lg(X)$	$x=\lg(x)$	$y=y$
11.	$y=A+B*\ln(X)$	$x=\ln(x)$	$y=y$
12.	$y=A/(B+X)$	$x=x$	$y=1/y$
13.	$y=A*X/(B+X)$	$x=1/x$	$y=1/y$
14.	$y=A*\exp(B/X)$	$x=1/x$	$y=\ln(y)$
15.	$y=A*10^{B/X}$	$x=1/x$	$y=\lg(y)$
16.	$y=A+B*(X^n)$	$x=x^n$	$y=y$

З одержаних нами результатів відмітимо, що для ґрунтів об'єднаної групи дерново-підзолистих та бурувато-підзолистих ґрунтів коефіцієнт кореляції $r_{\rho C}$

згідно першої регресії становить -0.749 і є достовірним з $P=99.9\%$, для сірих лісових ґрунтів та групи каштанових солонцюватих і солонців каштанових він становить $-0,364$ та -0.345 відповідно і також незначущий, і тільки для чорноземів $r_{\rho C}=-0.825$, що узгоджується з попередніми дослідженнями [199]. Таким чином, для ґрунтів другої і четвертої групи кореляційний зв'язок між ρ та C настільки трансформований що можна думати про його відсутність. Але при використанні анаморфози (4) виявляється, що зв'язок існує, причому проявляється найвища його тіснота між результативною ρ та рядом факторних ознак і дана обставина свідчить про нелінійний характер цих залежностей. Це твердження справедливе як для ґрунтів окремих груп, так і для усього діапазону досліджуваних ґрунтів (додат. А3).

При аналізі випадків, де в якості результативної ознаки виступає вміст гумусу, виявлено, що згадана залежність (4) хоча і показує більшу ступінь зв'язку, ніж інші анаморфози, але вона в більшості випадків є меншою, чим в тих випадках, де результативною ознакою є ρ . Відмітимо, що спостерігається значне зменшення тісноти у випадку залежності $C(\rho)$, що може пояснюватися нелінійним характером зв'язку, який не дозволяє простою перестановкою членів одержувати рівноцінне обернене рівняння, як у лінійних залежностях (додаток Б3).

Покажемо це на прикладі залежності рівноважної щільності від вмісту гумусу для усієї досліджуваної сукупності. При побудові графіка у координатах залежності (1), якоїсь чіткої закономірності не прослідковується (рис. 3.1) і коефіцієнт кореляції в такому випадку становитиме -0.800 , а коли в якості абсциси і ординати виступає вміст гумусу і його відношення до рівноважної щільності тіснота зв'язку підвищується (рис. 3.2).

Згідно 4-го рівняння регресії коефіцієнти кореляції між рівноважною щільністю та вмістом гумусу для дерново-підзолистих і бурувато-підзолистих, сірих лісових ґрунтів, каштанових солонцюватих та солонців каштанових і чорноземів у відповідних координатах становлять 0.992 ; 0.986 ; 0.973 ; 0.992 ; 0.996

і є вірогідними з довірчою імовірністю 99.9%. У випадку залежності $C(\rho)$ коефіцієнти кореляції в I-й, II-й та IV-й групі є нижчими у $\approx 1,5-2$ рази.

Високі коефіцієнти кореляції залежності (4) для ґрунтів певних типів зумовили спробу перевірити тісноту зв'язку в зонально-генетичному ряді ґрунтів України, зокрема,

в досліджуваній його частині. Перевірка показала, що тут $r_{\rho C}=0.991$, а відповідне рівняння регресії є: $\rho(C)=C/(-0.44557+0.92831 \cdot C)$, яке справедливе для вмісту гумусу від 1% до 6%. Надзвичайно високе значення

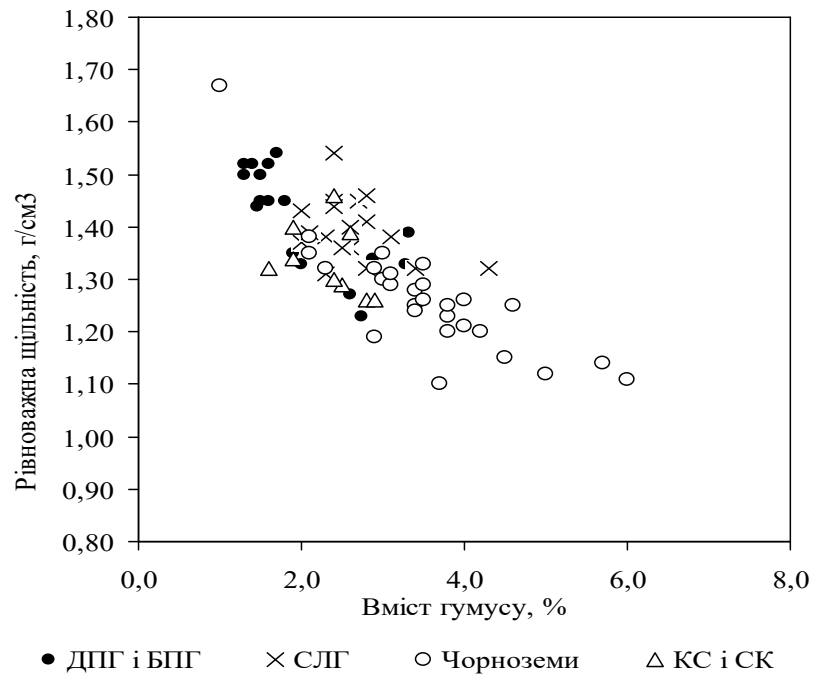


Рис. 3.1. Залежність рівноважної щільності ґрунту від вмісту гумусу (в координатах рівняння регресії 1)

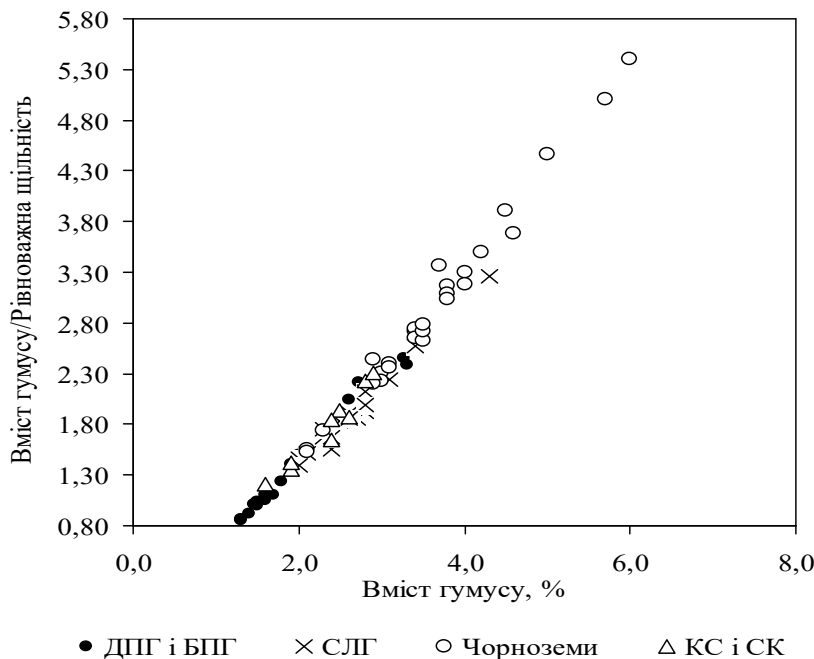


Рис. 3.2. Залежність рівноважної щільності ґрунту від вмісту гумусу (в координатах рівняння регресії 4)

коефіцієнту $r_{\rho C}$ залежності (4) вказує на чіткий і однозначний зв'язок між відношенням вмісту гумусу до рівноважної щільності (C/ρ) і самим вмістом гумусу. Співставлення розрахункових за одержаною формулою та дослідних даних показника ρ вказує на відсутність вірогідних відмін-

ностей між ними. Похибка розрахунку показника ρ при забезпеченості 88% не перевищує 0.10 г/см^3 . Із вказаною похибкою одержане рівняння регресії можна використати з метою згортки інформації для ґрунтів досліджуваних типів.

Це ж рівняння вказує, що відношення $\Delta\rho/\Delta C \approx d\rho/dC$ не є сталою величиною у всьому досліджуваному інтервалі вмісту гумусу. І справді, чисельне значення похідної

$$d\rho/dC = (A + BC - BC) / (A + BC)^2 = A / (A + BC)^2,$$

де $A = -0.44557$, $B = 0.92831$, залежить від конкретного вмісту гумусу C , що спричиняє неоднакову зміну показника ρ при одній і тій самій зміні показника C , але в різних інтервалах. Так, якщо вміст гумусу зросте від 1 до 2%, то показник ρ зменшиться (в г/см^3) на 0.65; від 2 до 3% – на 0.13; від 3% до 4% – на 0.06; від 4% до 5% – на 0.03; від 5% до 6% – на 0.02 (рис. 3.3).

Залежність (4) відбиває генетичні особливості досліджуваних ґрунтів. Так, для ґрунтів дерново-підзолистого і бурувато-підзолистого типів $B = 0.82942$, $A = -0.21854$; для сірих лісових – $B = 0.79880$, $A = -0.20540$, для чорноземного типу $B = 0.96481$, $A = -0.53966$, тобто близькі до коефіцієнтів загальної залежності; для каштанових солонцюватих і солонців каштанових $B = 0.83610$, $A = -0.19430$ (додат. А3). Таким чином, для ґрунтів I-ї, II-ї і IV-ї групи показник ρ змінюється

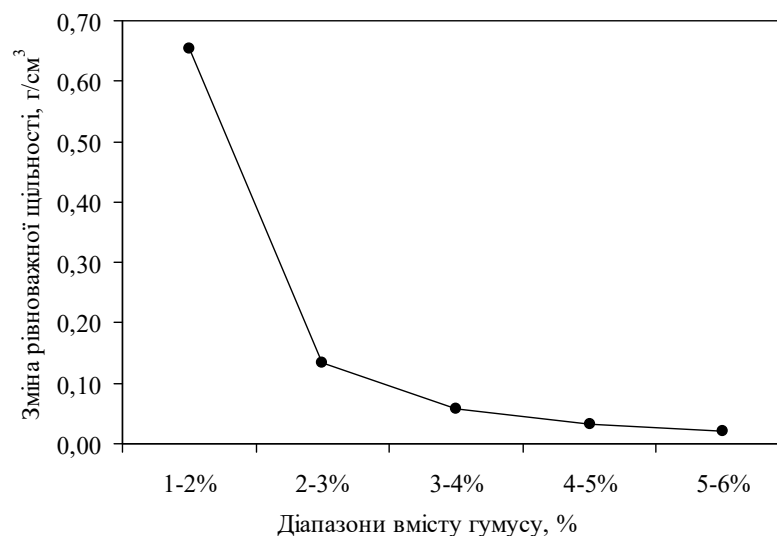


Рис. 3.3. Залежність зміни рівноважної щільності від зміни вмісту гумусу для всієї досліджуваної сукупності ґрунтів

ся при збільшенні вмісту гумусу від 1% до 2% на 0.20-0.25 г/см³, а при збільшенні вмісту гумусу від 2 до 3% – на 0.06-0.07 г/см³. Для ґрунтів IV-ї групи він змінюється на 0.09 г/см³ при зміні вмісту гумусу від 1.6% до 2.6% і на 0.03 г/см³ — від 2.6% до 3.6%. Для чорноземних ґрунтів ці зміни найбільші, а саме: в діапазонах 1-2%, 2-3%, 3-4%, 4-5% і 5-6% зниження рівноважної щільності становить 0.91, 0.16, 0.07, 0.04, 0.02 г/см³ відповідно.

Добуток ВХ рівняння регресії (4) має таку ж розмірність, що і відношення x/ρ . Отже, $V=1/\rho_m=\text{const}$, звідси зрозуміло, що $\rho_m=\text{const}$. Так як залежність $C/\rho-C$ позитивна, то $\rho_m=\rho_{\text{min}}$. Обчислені значення мінімальної рівноважної щільності для досліджуваних ґрунтів дорівнюють 1,21 (для дерново-підзолистих ґрунтів 1.50 [199]); 1,25; 1,04; 1,20 г/см³, що добре узгоджується із спостереженнями.

Зазначимо, що залежності $x/\rho-x$ підкоряється не тільки $\rho(C)$, а й $\rho(\text{Ca}^{2+}_{\text{обм}})$, $\rho(\text{Mg}^{2+}_{\text{обм}})$, $\rho(S)$, $\rho(V)$, $\rho(\text{Ca}^{2+}_{\text{обм}}/\text{Mg}^{2+}_{\text{обм}})$ і з коефіцієнтами кореляції 0.675-0.998 (додат. А3).

Коли в якості результативної ознаки виступає кількість гумусу, виявлено, що його вміст не завжди на пряму скорельований з показниками, що характеризують ґрунтовий вбирний комплекс (додаток Б3). Так, хоча ступінь взаємозв'язку залишається досить високим для всієї досліджуваної сукупності ґрунтів, але значення його коливаються від 0.603 (r_{CCM}) до 0.840 (r_{Cp}), а для пари ознак $C-V$ взагалі становить 0.214 (додат. Б3). Дані коефіцієнти дають змогу твердити, що залежність між C і V недостатньо добре апроксимується даним рівнянням як в загальному (для всіх груп), так і в локальних випадках. Коефіцієнт кореляції для самих дерново-підзолистих ґрунтів становить 0,757 [199], що може свідчити про переважну роль гумусових речовин у насиченості даного типу ґрунту основами).

Взявши до уваги значущість лінійного кореляційного зв'язку (1) для чорноземів, можна розрахувати в них критичний вміст гумусу, який ще не обме-

жує аерацію між ґрунтом та атмосферою і забезпечує його задовільну біологічну активність [274]. Тут $A=1,56819 \approx 1.57$, $B=-0,08620$, тобто вважаючи згідно (1), що $\rho = \rho_{\max} - (d\rho/dC) \cdot C$, приходимо до висновку $d\rho/dC \approx \Delta\rho/\Delta C = |B| = 0.092$. Тут ρ_{\max} – рівноважна (і максимальна) щільність неокультуреного ґрунту із загальною рівноважною пористістю $n_0 = (1 - \rho_{\max}/d) \cdot 10^2$, де d – густина твердих фаз ґрунту, яка в середньому дорівнює 2.65 г/см^3 . Після окультурення $n = (1 - \rho/d) \cdot 10^2$, і так як для ґрунтів з вмістом фізичної глини $>10-15\%$ внаслідок цього збільшується міжагрегатна пористість Δn , то

$$\Delta n = n - n_0 = ((\rho_{\max} - \rho)/d) \cdot 10^2, \text{ звідки } \rho = \rho_{\max} - \Delta n \cdot d \cdot 10^{-2}.$$

Взявши до уваги (1), одержимо, що

$$(\Delta\rho/\Delta C) \cdot C = \Delta n \cdot d \cdot 10^{-2}, \quad C = \Delta n (\Delta C/\Delta\rho) \cdot d \cdot 10^{-2}$$

Остання формула дає змогу оцінити критичний вміст гумусу в чорноземах, вважаючи що $\Delta n_{\text{кр}} = 15\%$:

$$C_{\text{кр}} = 15 \cdot (1/0.08620) \cdot 2.65 \cdot 10^{-2} = 4.6\%.$$

Розраховане при цьому вмісті гумусу значення рівноважної щільності як по рівнянню лінійної регресії (1), так і по залежності (4) – як загальної, так і справедливої тільки для чорноземів, практично дорівнює величині $1.17-1.20 \text{ г/см}^3$, ($0,17-0,18$ для чорноземів по залежності (1) і (4), та $0,18-0,20 \text{ г/см}^3$ для всієї сукупності досліджуваних ґрунтів) що, як загальноприйнято, не обмежує розвиток кореневої системи рослин і узгоджується попередніми дослідженнями [199].

Таким чином, чисельні значення коефіцієнтів B залежності 4 (табл. 3.2), вказують на те, що для ґрунтів дерново-підзолистого типу найбільш вагомими факторами по досягненню при їх окультуренні мінімальних значень рівноважної щільності є ступінь насиченості ґрунтів основами $\rho_{\min} = 1/0,83284 = 1.20$ та вміст гумусу – $\rho_{\min} = 1/0,82942 = 1.21 \text{ (г/см}^3\text{)}$. Для сірих лісових ґрунтів такими факторами виступають сума та ступінь насиченості основами. Для каштанових солонцюватих ґрунтів і солонців каштанових таким фактором є підвищення

вмісту гумусу, а також до певної міри зміна відношення обмінних форм катіонів на користь $\text{Ca}^{2+}_{\text{обм}}$. Це ж стосується і чорноземів, для яких є актуальним збільшення ступеня насиченості основами, що стосується в першу чергу опідзолеваних.

Таблиця 3.2

Значення коефіцієнтів В залежності рівноважної щільності (по рівнянню 4) для різних факторних ознак досліджуваних ґрунтів

ГРУНТИ	Фактори					
	Гумус С, %	$\text{Ca}^{2+}_{\text{обм}}$	$\text{Mg}^{2+}_{\text{обм}}$	S	V, %	$\text{Ca}^{2+}_{\text{обм}}/$ $\text{Mg}^{2+}_{\text{обм}}$
Дерново-підзолисті і буровато-підзолисті ґрунти	0,82942	0,75844	0,76828	0,76302	0,83284	0,70288
Сірі лісові ґрунти	0,79880	0,79561	0,78879	0,80728	0,95378	0,73928
Чорноземи	0,96481	0,95138	0,97707	0,96504	1,12100	0,90882
Каштанові солонцюваті і солонці каштанові	0,83610	0,79400	0,72627	0,77230	0,55065	0,74923

3.2. РІВНОВАЖНА ЩІЛЬНІСТЬ ТА ВБИРНИЙ КОМПЛЕКС ОСНОВНИХ ГРУНТІВ УКРАЇНИ

У попередньому розділі (3.1) нами встановлена кількісна характеристика (оцінка) залежності рівноважної щільності від ряду факторних ознак. Зрозуміло, що кожна з цих ознак спричинює вплив на значення ρ , а тому доцільно було б виявити частку варіабельності кожної з факторних ознак в загальній мінливості рівноважної щільності, а для цього ми були змушені використати кореляційно-регресійний аналіз трьох і більшої кількості ознак [76, 140, 86, 90].

Аналізуючи дані додатка ВЗ, звертає на себе увагу та обставина, що в ряді випадків для всієї досліджуваної сукупності ґрунтів виявлена висока ступінь лінійної кореляції між ρ та вмістом гумусу, ρ та Ca^{2+} , ρ та S ($r > 0.71$ за шкалою

Чеддока). Тому ми вирішили детальніше дослідити лінійний зв'язок для вказаних випадків як без елімінування, так і з ним, впливу на результуючу ознаку досліджених факторів, що надасть нам змогу оцінити частку варіабельності кожного з них в ρ .

Основні результати проведеного кореляційно-регресійного аналізу взаємозв'язків двох та трьох ознак представлені в додат. В3. З них відмітимо перш за все, що між рівноважною щільністю ґрунтів і вмістом в них гумусу існує тісний достовірний зворотній кореляційний зв'язок – відповідний парний коефіцієнт кореляції $r_{\rho C} = -0.80$ з довірчою ймовірністю не помилитися $P = 99.9\%$. При врахуванні замість вмісту гумусу його логарифму, тіснота зв'язку ще більше зростає: $r_{\rho \lg C} = -0.82$; $P = 99.9\%$ [201].

Висока тіснота зв'язку існує також між результативною ознакою ρ і вмістом обмінного Ca^{2+} . Так, парний коефіцієнт кореляції між ними $r_{\rho \text{Ca}} = -0.81$ з тою ж довірчою ймовірністю не помилитися. Крім того, при виключеному впливі обмінного Ca^{2+} тіснота зв'язку робиться слабкою, але залишається статистично доведеною – відповідний частинний коефіцієнт кореляції $r_{\rho C, \text{Ca}} = -0.39$, критерій значущості $t_{\phi} = 3.50$, що більше можливого критичного значення цього параметра $t_{st} = 2.65$ з довірчою ймовірністю $P = 99.9\%$ (додат. В3).

Тісно корелюють між собою вміст гумусу і обмінного Ca^{2+} ($r_{\text{CCa}} = 0.83$), в якому він переважно знаходиться в складі солей гумінових та фульвокислот, що складають основу органічних і органо-мінеральних компонентів ГПК. Разом з тим деяка кількість обмінного Ca^{2+} входить до складу і мінеральних компонентів поглинального комплексу ґрунтів України, так як при виключеному впливі гумусу відповідний частинний коефіцієнт кореляції $r_{\rho \text{Ca}, C} = -0.45$ залишається статистично значущим, хоча тіснота зв'язку при цьому слабшає і робиться помітною, зберігаючи характер зворотної залежності (див. $r_{\rho \text{Ca}}$ в додатку В3).

Одержані результати узгоджуються з даними регресійного аналізу взаємозв'язків трьох ознак $\rho(\text{C}, \text{Ca}^{2+})$ – коефіцієнт регресії b_1 при вмісті гумусу ϵ

статистично значущим, як і частинний коефіцієнт кореляції r_{pCa} .

Цікаві результати одержані нами коли замість факторної ознаки обмінного Ca^{2+} розглядати обмінний Mg^{2+} . Характер зв'язку між p і Mg залишається тим же самим, як і в попередньому випадку, але тіснота зв'язку при цьому вже не висока, а помітна – тут парний коефіцієнт кореляції $r_{pMg} = -0.64$. Менша тіснота зв'язку встановлена нами і між вмістом гумусу і вмістом обмінного Mg^{2+} ($r_{CMg} = 0.57$). Виключення гумусу обумовлює зменшення тісноти кореляційного зв'язку між p і обмінним Mg^{2+} – вона з помітної переходить в помірну, а елімінація дії Mg^{2+} знижує тісноту зв'язку між p і вмістом гумусу, яка переходить з високої у помітну ($r_{pMg,C} = -0.38$; $r_{pC,Mg} = -0.69$). Ці дані побічно свідчать про різне значення обмінних іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} в визначенні величин дзета-потенціалу ґрунтових колоїдів, що складають основу ГПК. Відомо, що перевага в ґрунтовому поглинальному комплексі іонів Ca^{2+} обумовлює оптимальні значення дзета-потенціалу, порядку 10-20 мВ, при яких спостерігається коагуляція ґрунтових колоїдів, їх закріплення в профілі і, як наслідок, формування оптимальних значень рівноважної щільності ґрунтів. Якщо ж в складі ГПК переважають іони Mg^{2+} , то при цьому спостерігається пептизація тонкодисперсної частини ґрунтів, вимивання колоїдів з ґрунтового профілю, і тому значення рівноважної щільності будуть перевищувати оптимальні значення цього показника [33, 222].

Відповідно і коефіцієнти регресії b_1 і b_2 при гумусі і обмінному Mg^{2+} є статистично достовірними, а рівняння залежності рівноважної щільності від цих параметрів тут буде:

$$\rho = 1.5988 - 7.110 \cdot 10^{-2}[C] - 1.520 \cdot 10^{-2}[Mg] \quad (3.1)$$

Зауважимо, що рівняння (3.1) дозволяє передбачити, наскільки зміняться значення рівноважної щільності ґрунтів при зміні вмісту гумусу на 1%, або обмінного Mg^{2+} на 1 ммоль-екв/100 г ґрунту. В першому випадку воно складе

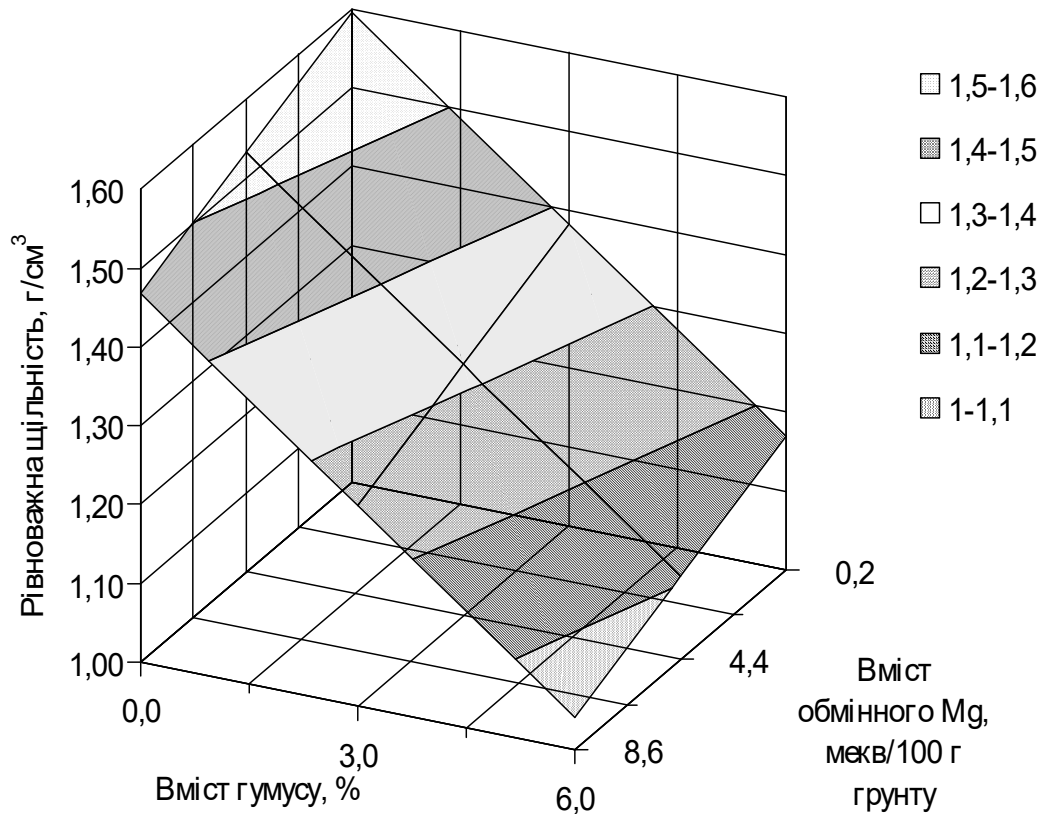


Рис. 3.4. Залежність рівноважної щільності основних ґрунтів України від сумісної дії вмісту гумусу та обмінного Mg (площина регресії по рівнянню (3.1))

$0.071 \approx 0.07$ г/см³, а в другому – $0.015 \approx 0.02$ г/см³. За даними рівняння (3.1) побудована площина регресії (рис. 3.4), яка наочно показує закономірності зміни рівноважної щільності в залежності від коливань факторних ознак.

Відомо, що обмінний Mg^{2+} міститься в більшості ґрунтів України в менших кількостях, ніж обмінний Ca^{2+} . Про це свідчать вихідні літературні [238] та наші дані (додаток А2). Ця обставина поряд з неоднаковою щільністю зарядів іонів Mg^{2+} і Ca^{2+} через відмінність їх іонних радіусів також впливає на коагуляцію ґрунтових колоїдів, а, відповідно, і на рівноважну щільність ґрунтів.

Аналізуючи одержані дані, можна зробити висновок про те, що обмінний Ca^{2+} , на відміну від Mg^{2+} , практично повністю визначає значення результативної ознаки ρ . Дійсно, при виключеному впливі обмінного Mg^{2+} характер і тіснота зв'язку між рівноважною щільністю ґрунтів і вмістом Ca^{2+} знижується не

дуже сильно ($r_{\rho_{Ca.Mg}} = -0.65$, $t_{\phi} = 7.19$), і є статистично достовірною, тоді як при виключенні дії обмінного Ca^{2+} частинний коефіцієнт кореляції $r_{\rho_{Mg.Ca}}$ рівний всього лише 0.06 і до того ж є статистично незначущим.

Коефіцієнти детермінації $r_{\rho_{Ca}^2}$, $r_{\rho_{Ca.C}^2}$, $r_{\rho_{Mg}^2}$, $r_{\rho_{Mg.C}^2}$ визначають частку варіабельності відповідної факторної ознаки в загальній мінливості рівноважної щільності ґрунтів ρ . Так, ~66% варіабельності показника ρ зумовлено вмістом обмінного кальцію, який входить у всі компоненти ГПК, тоді як тільки ~20% – в мінеральні, і ~46% (66–20) – в органічні і орґано-мінеральні його компоненти. Для вмісту обмінного магнію відповідні цифри такі: ~41%, ~14%, ~27%.

Таким чином, обмінний кальцій та магній мінеральних компонентів ГПК обумовлює варіацію показника ρ в ~2 рази меншу інших їх обмінних форм.

Рівноважна щільність ґрунтів України менш тісно корелює з відношенням обмінних форм іонів Ca^{2+}/Mg^{2+} , ніж з обмінним Mg^{2+} , не кажучи вже про обмінний Ca^{2+} . Це видно із співставлення відповідних парних коефіцієнтів кореляції: $r_{\rho_{CM}} = -0.25$; $r_{\rho_{Mg}} = -0.64$; $r_{\rho_{Ca}} = -0.81$ (додат. В3). При цьому доведений вплив цієї факторної ознаки на величину рівноважної щільності досліджуваних ґрунтів з довірчою ймовірністю 95%, оскільки критерій значущості для $r_{\rho_{CM}}$ рівний 2.13, а $t_{0.05} = 1.99$.

Сума обмінних основ S впливає на тісноту зв'язку між ρ та S таким же чином, як і вміст гумусу – відповідні парні коефіцієнти кореляції фактично рівні між собою з числовим значенням -0.80 і -0.81 (додат. В3). Можна було б думати, виходячи з цього, що вміст гумусу та сума обмінних основ володіє такою ж тіснотою взаємозв'язку. Дійсно, $r_{CS} = -0.80$. Зауважимо, що і в цьому випадку обидві факторні ознаки (C і S) також статистично значущо впливають на величину рівноважної щільності ґрунтів:

$$\rho = 1.566 - 4.710 \cdot 10^{-2} [C] - 4.800 \cdot 10^{-3} S \quad (3.2)$$

Залежність (3.2) може бути використана з тією ж метою, що і рівняння (3.1). Відповідна площина регресії приведена на рис. 3.5.

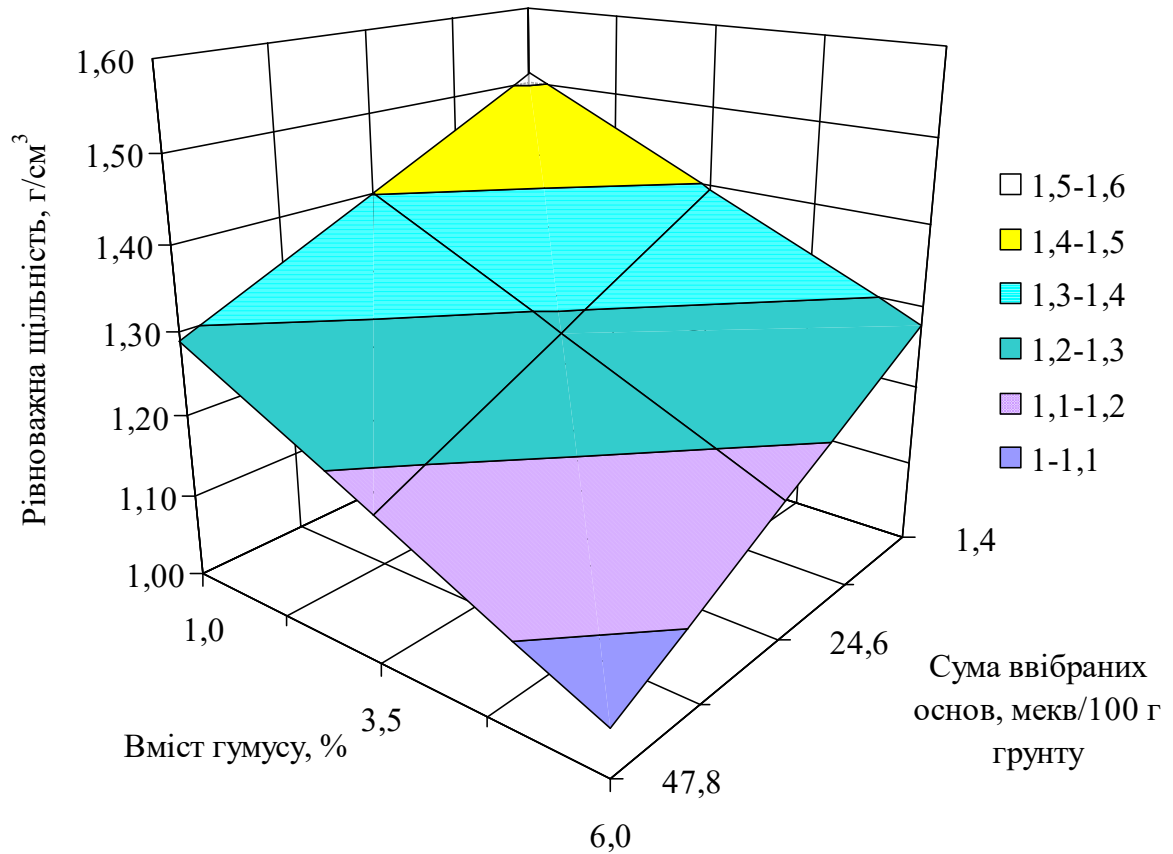


Рис. 3.5. Залежність рівноважної щільності основних ґрунтів України від сумісної дії вмісту гумусу та суми ввібраних основ (площина регресії по рівнянню (3.2))

Зворотній тип зв'язку з помітною тісністю кореляції виявлений нами і між ознаками ρ - V ($r_{\rho V} = -0.55$, $t_{\text{факт.}} = 5.57$). При елімінуванні впливу гумусу характер зв'язку між цими показниками зберігається, але тіснота кореляції робиться слабкою, на що вказує значення відповідного частинного коефіцієнта кореляції $r_{\rho V.C} = -0.26$ з критерієм значущості $t_{\text{факт.}} = 2.28$. Це підтверджує висновок про те, що частина обмінних основ входить до складу мінеральних компонентів ГПК. В той же час градація тісноти зв'язку залишається незмінною при виключеному впливі ступеня насиченості ґрунтів основами V , як це можна бачити при співставленні частинного $r_{\rho C.V} = -0.72$ і парного $r_{\rho C} = -0.80$ коефіцієнтів кореляції (додат. В3). Величина частинних коефіцієнтів кореляції, обчислених з елімінуванням постійної дії однієї з двох факторних ознак – або вмісту обмінного кальцію, або вмісту обмінного магнію – свідчить про переважну роль саме цих іонів в існуванні кореляції між рівноважною щільністю ґрунтів і ступенем їх насиче-

ності основами ($r_{\rho V, Ca} = 0.23$, $t_{факт.} = 2.01$; $r_{\rho V, Mg} = -0.11$, $t_{факт.} = 0.93$).

Зіставляючи значення парних коефіцієнтів кореляції $r_{\rho Ca} = -0.81$ і $r_{\rho Mg} = -0.64$, можна було б думати, що обидві факторні ознаки – вміст $Ca_{обм}^{2+}$ та $Mg_{обм}^{2+}$ – однаково впливають на величину рівноважної щільності ґрунтів – характер кореляційного зв'язку в обох випадках зворотній. Проте, беручи до уваги ту обставину, що при нейтралізації підвищеної кислотності можна використовувати або кальцій-, або магнійвмісні матеріали (меліоранти та добрива) і тим самим підтримувати на відносно постійному рівні градацію однієї з згаданих факторних ознак, являє інтерес ще раз звернутися до значень відповідних частинних коефіцієнтів кореляції $r_{\rho Ca, Mg} = -0.65$, $r_{\rho Mg, Ca} = -0.06$ і до регресійного рівняння залежності рівноважної щільності від обговорюваних (і регульованих) факторних ознак:

$$\rho = 1.4950 - 9.400 \cdot 10^{-3} [Ca^{2+}] + 3.00 \cdot 10^{-3} [Mg^{2+}] \quad (3.3)$$

Площина регресії для даного рівняння наведена на рис. 3.6.

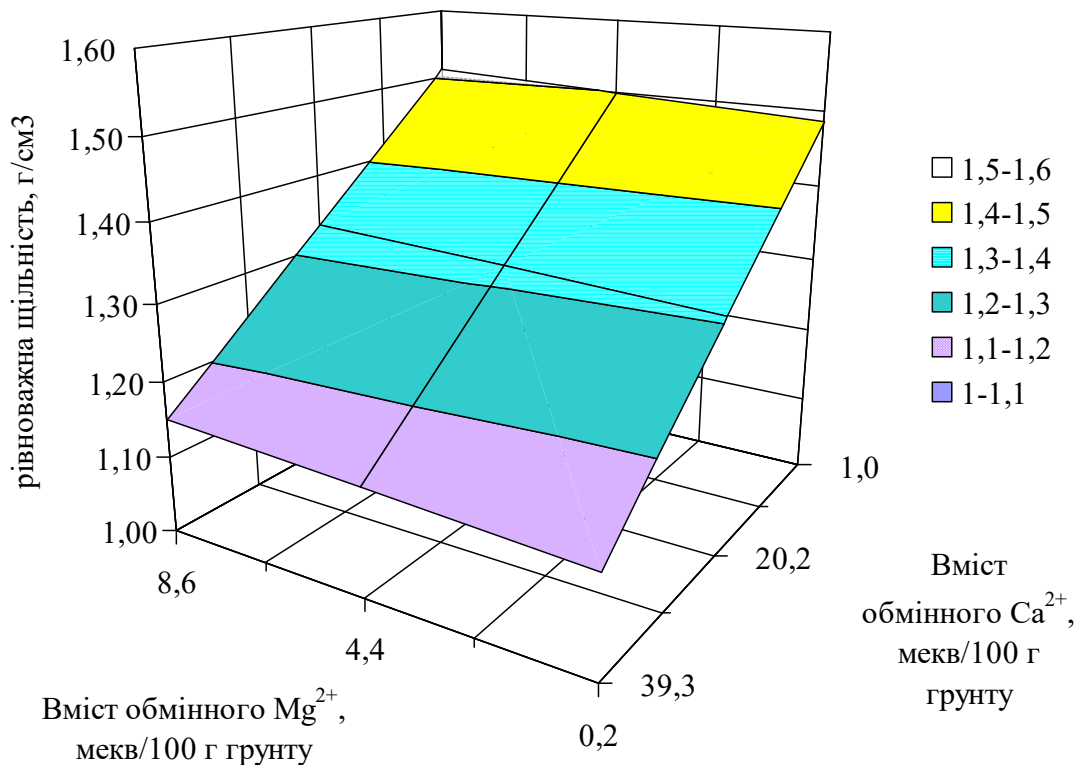


Рис. 3.6. Залежність рівноважної щільності основних ґрунтів України від сумісної дії обмінного Ca^{2+} та Mg^{2+} (площина регресії по рівнянню (3.3))

Одержані дані дозволяють впевнитись в тому, що на ущільнених ґрунтах для зменшення рівноважної щільності слід збільшувати в складі ГПК вміст обмінного кальцію, а на розпушених – обмінного магнію.

Разом з тим відмітимо, що лінійні рівняння регресії трьох ознак (3.1)–(3.3) володіють досить високою прогностичною силою, хоча розрахункові і дослідні значення рівноважної щільності в ряді випадків відрізняються між собою настільки, що дещо перевищують абсолютну похибку його визначення, яка складає звичайно 0,01–0.02 г/см³ (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Дослідні та розрахункові значення показника ρ рівноважної щільності основних ґрунтів України

№	ρ дослідне	ρ по рівнянню (3.1)	ρ по рівнянню (3.2)	ρ по рівнянню (3.3)
1	2	3	4	5
1.	1,52	1,50	1,50	1,48
2.	1,50	1,50	1,50	1,48
3.	1,45	1,48	1,48	1,48
4.	1,45	1,48	1,48	1,48
5.	1,50	1,49	1,49	1,49
6.	1,52	1,50	1,49	1,48
7.	1,54	1,47	1,48	1,48
8.	1,52	1,48	1,48	1,48
9.	1,27	1,36	1,41	1,48
10.	1,33	1,30	1,36	1,44
11.	1,23	1,38	1,38	1,40
12.	1,39	1,34	1,33	1,36
13.	1,34	1,35	1,40	1,46
14.	1,44	1,46	1,46	1,45
15.	1,35	1,45	1,45	1,46
16.	1,33	1,44	1,44	1,45
17.	1,45	1,44	1,45	1,46
18.	1,45	1,36	1,37	1,39
19.	1,54	1,41	1,42	1,45
20.	1,46	1,36	1,39	1,44

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5
21.	1,32	1,23	1,28	1,37
22.	1,45	1,39	1,39	1,40
23.	1,36	1,35	1,36	1,38
24.	1,32	1,34	1,31	1,31
25.	1,38	1,39	1,39	1,39
26.	1,41	1,36	1,37	1,41
27.	1,36	1,37	1,37	1,38
28.	1,40	1,37	1,38	1,40
29.	1,37	1,40	1,39	1,38
30.	1,44	1,37	1,39	1,42
31.	1,38	1,30	1,34	1,40
32.	1,32	1,30	1,32	1,38
33.	1,31	1,38	1,37	1,36
34.	1,39	1,41	1,40	1,39
35.	1,43	1,41	1,38	1,35
36.	1,20	1,23	1,22	1,26
37.	1,25	1,19	1,18	1,23
38.	1,14	1,11	1,11	1,19
39.	1,20	1,21	1,21	1,24
40.	1,11	1,07	1,06	1,15
41.	1,10	1,25	1,24	1,28
42.	1,67	1,50	1,49	1,46
43.	1,19	1,30	1,27	1,26
44.	1,25	1,26	1,27	1,30
45.	1,35	1,39	1,36	1,33
46.	1,38	1,38	1,37	1,36
47.	1,24	1,30	1,27	1,28
48.	1,28	1,30	1,26	1,26
49.	1,30	1,32	1,30	1,31
50.	1,33	1,28	1,29	1,33
51.	1,29	1,28	1,28	1,31
52.	1,26	1,27	1,26	1,29
53.	1,12	1,15	1,17	1,25

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5
54.	1,32	1,37	1,36	1,35
55.	1,29	1,30	1,30	1,32
56.	1,35	1,33	1,34	1,39
57.	1,31	1,32	1,32	1,34
58.	1,32	1,34	1,32	1,33
59.	1,21	1,23	1,23	1,27
60.	1,23	1,25	1,25	1,29
61.	1,26	1,24	1,22	1,26
62.	1,15	1,18	1,18	1,22
63.	1,25	1,25	1,23	1,25
64.	1,26	1,30	1,30	1,33
65.	1,26	1,29	1,28	1,29
66.	1,32	1,45	1,44	1,43
67.	1,29	1,32	1,32	1,33
68.	1,40	1,33	1,35	1,36
69.	1,46	1,31	1,33	1,36
70.	1,34	1,33	1,36	1,40
71.	1,30	1,40	1,40	1,43
72.	1,39	1,37	1,35	1,35

Використання множинного нелінійного регресійного аналізу показало, що отримане в попередніх дослідженнях [201] рівняння регресії параболи другого порядку на розширеній вибірці незадовільно передбачає значення показника рівноважної щільності ґрунтів для достатньо суттєвого розмаху значень факторних ознак, оскільки розрахункові і дослідні її значення відрізняються між собою в недопустимих межах.

Отже, одержані нами рівняння (3.1-3.3) особливі тим, що до них входять показники агрохімічних та фізико-хімічних властивостей ґрунтів, які безпосередньо характеризують ґрунтовий вбирний комплекс. Беручи до уваги достатньо велику прогностичну силу отриманих рівнянь, останні можуть бути використані в якості регресійних моделей рівноважної щільності досліджуваних ґрунтів.

4. ОБҐРУНТУВАННЯ АГРОЕКОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ МОДЕЛЕЙ ҐРУНТОВОЇ РОДУЧОСТІ ТА ЇЇ ФАКТОРІВ ВИМОГАМ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР

4.1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОБЛЕМИ

Під моделлю родючості розуміють сукупність агрономічно значимих властивостей і режимів ґрунту, які відповідають певному рівню продуктивності рослин [317]. Серед відомих моделей, в яких продуктивність культур представлена як функція ґрунтових параметрів, найпоширенішими є моделі на основі кореляційно-регресійного аналізу [303, 306, 191]. Зовсім відмінним від попереднього є шлях моделювання, який ґрунтується на тому чи іншому виді бонітування [21]. Однак всі ці підходи не враховують вимог окремих видів культурних рослин до факторів життя, тобто є агроекологічно необґрунтованими і на думку окремих авторів [282] не можуть розглядатися як інтегральні моделі ґрунтової родючості. Крім того, більшість з них не відповідають основним законам землеробства, згідно яких здійснюється формування урожаю та еволюція ґрунтової родючості [73, 194].

Так, одним з найважливіших законів, що визначають умови розвитку рослин є **закон незамінності та рівнозначності факторів** їх життя, сформульований В.Р.Вільямсом [40]. Суть його полягає в тому, що всі фактори життя рослин фізіологічно рівнозначні та жоден з них не може бути замінений іншим.

Одним з перших законів, відкритих при вивченні реакції рослин на різну кількість того чи іншого фактору був **закон мінімуму**, вперше сформульований Ю.Лібихом [167] та уточнений В.П.Нарциссовим [202], за яким він звучить як **закон обмежуючого фактора**. В практиці землеробства дуже часто зустрічаються випадки, коли такий фактор різко знижує ефективність дії інших. Так, наприклад, Д.М.Прянишников [243] встановив, що без усунення кислої реакції ґрунту внесення будь-яких добрив не дає можливості отримати високу урожайність більшості культур.

Оскільки більшість факторів діють на рослину згідно **закону мінімуму, оптимуму і максимуму** [40], то зміщення їх значень в ту чи іншу від оптимуму сторону знижує біопродуктивність, яка в гірших випадках прямуватиме до нуля. Це добре ілюструється результатами дослідів, де були випробувані дози азоту, починаючи з крайньої нестачі до великого надлишку [23] (рис. 4.1). Найвищу продуктивність отримано при дозі 7.5 г сульфату амонію на посудину, а подальше її зростання різко знижувало урожайність.

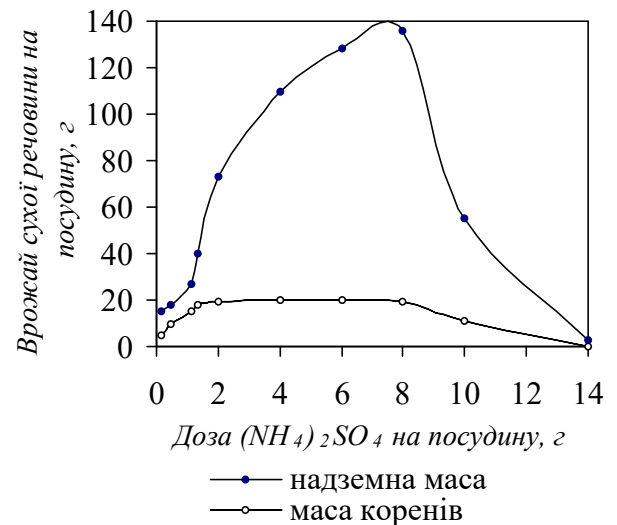


Рис. 4.1. Врожай надземної маси та коренів вівса при різних дозах сульфату амонію (К.А.Блэк, 1973)

Подібні дані в вегетаційних посудинах отримав В.В.Панков, [224].

Слід зауважити, що про весь допустимий інтервал росту і розвитку рослин накопичено досить мало даних, оскільки дослідники рідко ставили за мету вивчити весь діапазон якого-небудь фактору від його мінімального до максимального значення. Набагато більше є даних про вплив факторів в межах від мінімуму до оптимуму. На рис. 4.2 показано як змінюється врожайність пшениці, канаркової трави, картоплі та квасолі від доз калію в дослідів нідерландських вчених [23]. Як бачимо, урожайність зростає до певного якогось значення вмісту калію, а далі залишається стабільною, що свідчить про неможливість подальшого підвищення віддачі рослин при збільшенні вмісту цього елемента. При дуже високих концентраціях поживних речовин може спостерігатися ситуація, показана на рис. 4.1, тобто елементи стають токсичними для рослин.

Отже, наведений вплив елементів живлення в загальному вигляді описується параболою (рис. 4.3). З її рівняння, а особливо з рисунку видно, що кожний наступний рівновеликий вплив елемента в інтервалі від мінімального до оптимального значення супроводжується все меншим і меншим приростом

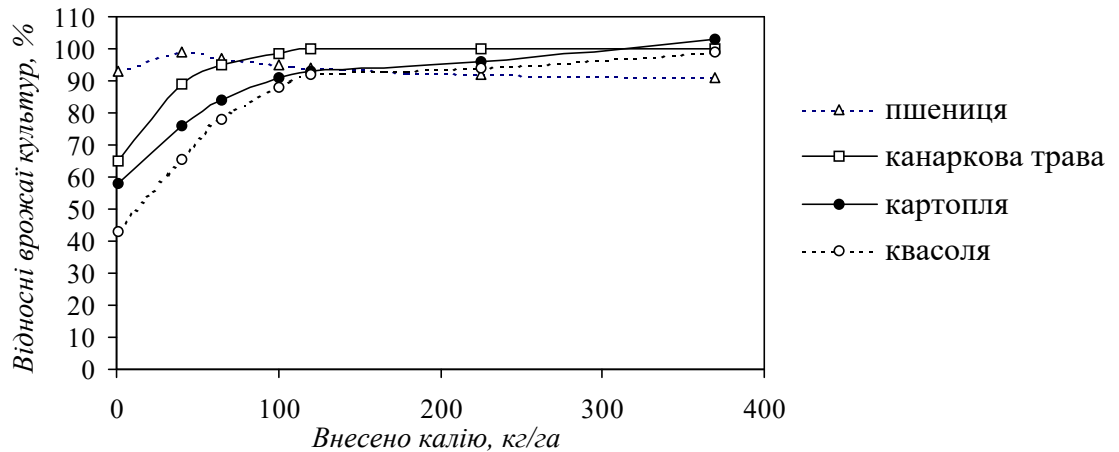


Рис. 4.2. Відносні врожаї культур при щорічному внесенні калійних добрив в польових дослідках в Нідерландах [23]

урожаю, а в інтервалі від оптимального до максимального значення – наростаючим зниженням врожаю.

Зауважимо, що в ґрунтах, як правило, не спостерігається надлишку доступних форм поживних елементів, а тим більше таких їх кількостей, які призводять до інтоксикації рослин. Аналогічно впливають на рослини й інші фактори середовища, наприклад рівноважна щільність, рН середовища, гранулометричний склад тощо. Ряд параметрів ґрунту (чи клімату), негативно впливають на рослинні організми при досягненні досить великих абсолютних значень, що не завжди реально. В таких випадках доцільно брати до уваги лише ліву гілку параболи, яка описує інтервал фактора від мінімуму до оптимуму.

Але при оцінці впливу різноманітних факторів на рослини не слід забувати про те, що жоден з них не впливає окремо, а має місце їх інтегральний ефект, що відображає **закон сукупної дії факторів**, відкритий наприкінці 19 ст. німецьким ботаніком Лібшером. Підтвердженням його є висновок А.А.Зиганшина та Л.П.Шарифуліна [102] про те, що оптимізація факторів життя рослин дозволяє більш продуктивно використовувати не тільки ті, які знаходяться в мінімумі, але й ті, що прису-

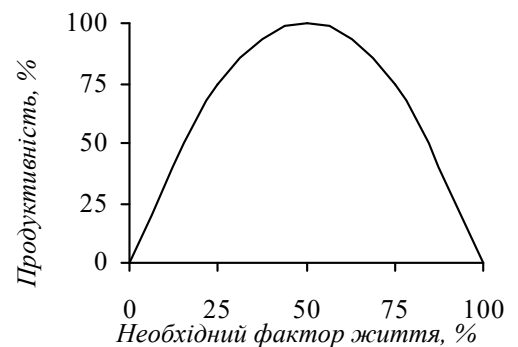


Рис. 4.3. Параболічна крива:
 $y = A \cdot (1 - 10^{-cx}) \cdot 10^{-kx^2}$

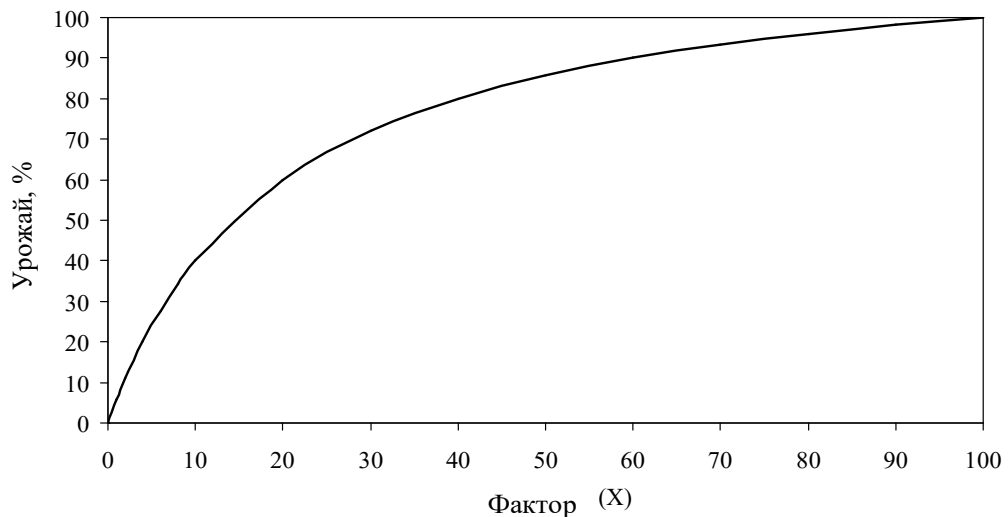


Рис. 4.4. Закон сукупної дії факторів [194]

тні в достатній кількості. Э.А.Митчерлих [189, 194] доповнив визначення цього закону та виразив його математично: $\frac{dy}{dx}=(A-Y) \cdot C$, де C – коефіцієнт пропорційності. З графічного зображення (рис. 4.4) видно, що урожай рослин (Y) підвищується з посиленням впливу якого-небудь фактору росту (X) пропорційно величині урожаю, якої не вистачає до максимального урожаю (A).

Розвиток рослин та їх продуктивність залежить в першу чергу від забезпечення всіма необхідними факторами життя у достатній кількості в критичні періоди, які в основному виділяють по відношенню до води, температури, поживних речовин тощо [135, 80, 5]. Це положення відповідає **закону критичних періодів** [100].

В окремих випадках можливий вплив на рослину токсичних факторів, закономірність впливу яких на ріст та розвиток рослин дещо відрізняється від параболічної (рис. 4.5). З їх наростанням або досягненням деякого критичного значення проходить зниження продуктивності і загибель рослин [208]. Прикладом є вміст рухомих форм алюмінію в ґрунтах, які порушують фосфатний обмін в рослинах, знижують утворення хлорофілу та активність різноманітних ферментів [154, 197].

Модель родючості, яка буде враховувати згадані закони, на наш погляд,

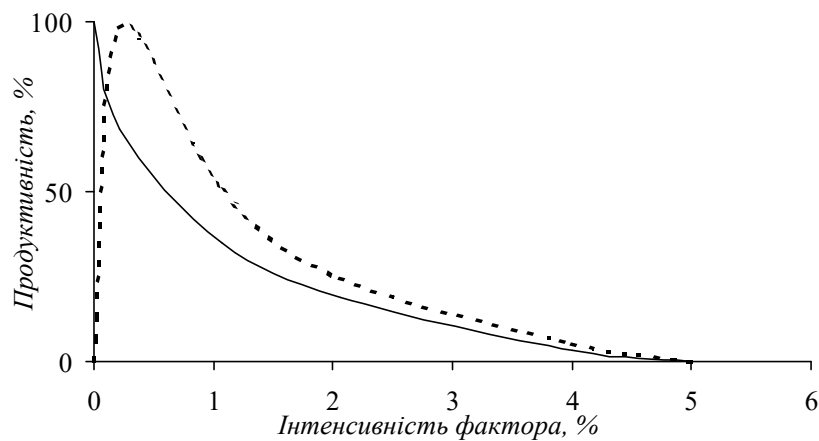


Рис. 4.5. Вплив токсичних факторів на продуктивність рослин [208]

матиме набагато вищу точність та певне логічне обґрунтування порівняно з тими, які їх не враховують.

Зауважимо, що сільськогосподарські культури відповідно до своїх біологічних особливостей вимагають різних умов росту і розвитку, тому в одній моделі важко, а найчастіше неможливо сумістити різні (іноді суперечливі) вимоги. Відповідно, доводиться створювати не одну модель, а їх сукупність, які комплексно описують ґрунт стосовно вимог всього набору культурних видів рослин. Об'єктивне існування для кожної культури оптимального параметру родючості зумовлює необхідність його врахування при розрахунку процесів в системі ґрунт–рослина [256], тому вважаємо за доцільне виділення частинних моделей щодо кожної культури. Інший шлях, який полягає у створенні лише однієї моделі, вимагає введення великої кількості обмежень, що веде до її ускладнення. Тому, на наш погляд, лише система “частинних” моделей може повністю, або в великій мірі врахувати більшість агроекологічних вимог культур до навколишнього середовища та охарактеризувати рівень родючості.

Створення моделі – складний і трудомісткий процес. Для полегшення цього процесу розроблені певні, чітко алгоритмізовані схеми (рис. 4.6), які дають можливість побудувати модель стосовно визначених критеріїв. Взятши за основу цю схему, ми сформулювали проблему, яка полягає у створенні моделі ґрунтової родючості, що відповідає висунутим вимогам; означили кінцеву мету – здатність розробленої моделі прогнозувати стан родючості і його зміни та

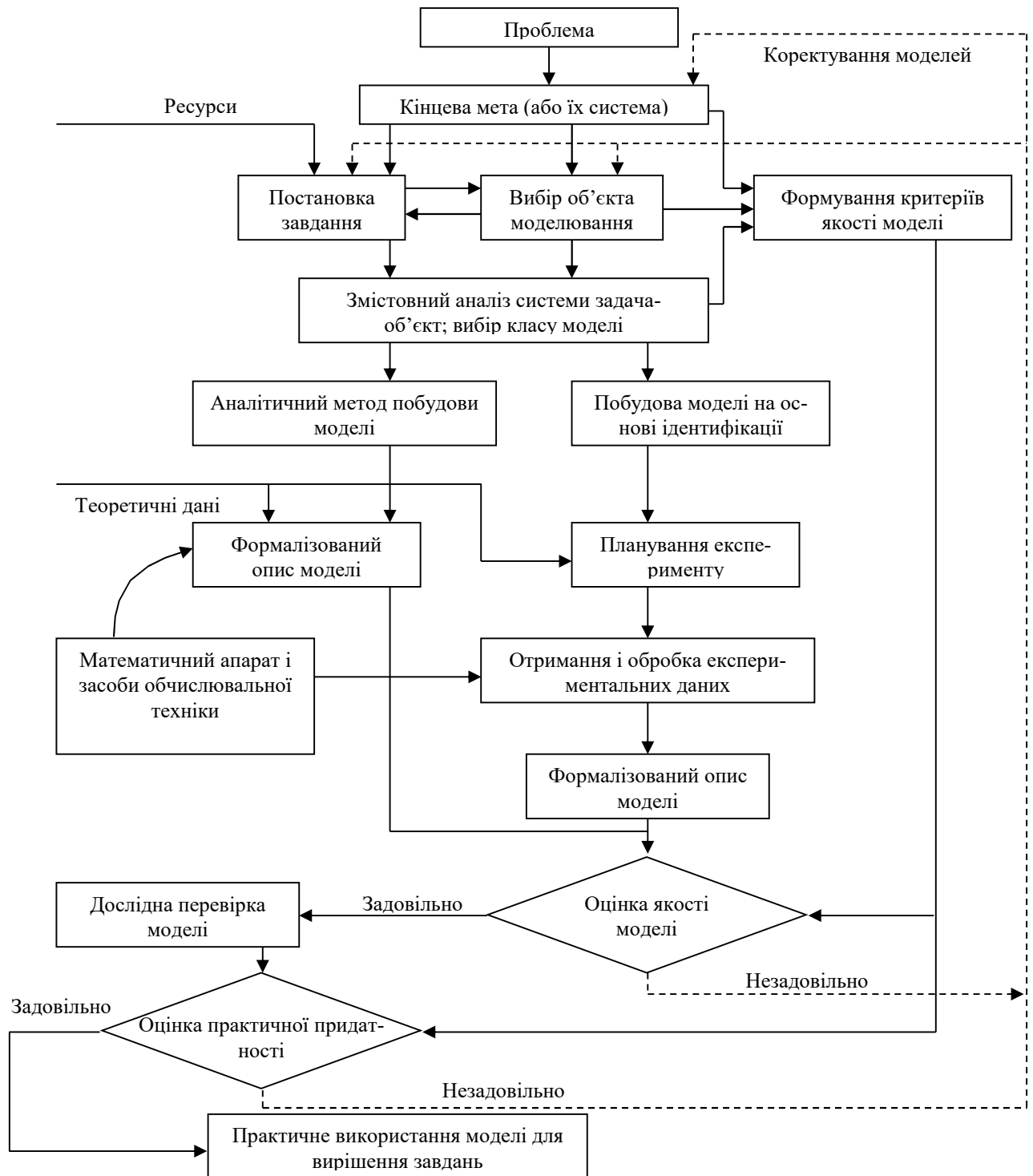


Рис. 4.6. Узагальнена схема побудови моделі [206]

вибрали критерій якості – спроможність задовольняти мету з заданою точністю. У класифікації А.С.Фрида [303] сформована модель належатиме до класу моделей стану родючості.

Оскільки моделі родючості на основі кореляційно-регресійного аналізу, як зауважено вище, не враховують основних законів землеробства та агроекологі-

чних вимог окремих видів культур, при створенні моделі ми пішли шляхом використання показника, що математично подібний до поширених бонітетних [150, 45, 154, 153, 262-264, 121, 291, 277, 286, 321, 67, 64, 68, 91].

Але розгляд існуючих методик бонітування ґрунтів за показниками якості показує, що вони потребують доопрацювання [101], оскільки родючість найбільш високо оцінених ґрунтів не завжди відповідає величині їх реальної продуктивності. Розроблено багато бонітувальних та подібних до них методик оцінки родючості за кількісними ознаками ґрунту в широкому їх діапазоні, загальним для яких є перетворення вихідних параметрів в безрозмірні величини (нормування), та наступне усереднення середнім арифметичним [150, 45, 154, 153, 262, 263, 291, 277, 286, 321, 121, 91], або середнім геометричним [67, 64, 68].

З метою оцінки продукційної здатності в якості моделі родючості ми пропонуємо вираховувати **узагальнений показник родючості ґрунту (УПРГ)**. Для цього перетворені значення ознак усереднюються шляхом обчислень за допомогою формули **гармонічного середнього**, тобто:

$$\text{УПРГ} = N / (x_1^{-1} + x_2^{-1} + \dots + x_{i-1}^{-1} + x_i^{-1} + \dots + x_N^{-1}),$$
 де: N – кількість ознак, що включаються до обчислень; x_i – пронормоване (перетворене) значення ознаки. Введений показник дозволяє більш об'єктивно оцінювати стан родючості ґрунту. Аргументуємо цей висновок.

На рис. 4.7 показана залежність величини різних середніх (арифметичного, геометричного та гармонійного) від варіювання фактору X_n . Значення всіх решти факторів становить 100%, тобто дорівнює теоретичному оптимуму. Для кожного з середніх показників наведено три лінії, які показують форму залежності при 5, 10 та 15 факторах у досліді.

Функція у випадку середнього арифметичного є прямолінійною. Цей факт, на наш погляд, дозволяє заперечити її придатність для використання в якості моделі родючості, оскільки абсолютно не враховується закон мінімуму. І справді, при значенні одного з факторів "0", інтегрований показник покаже 80-94%,

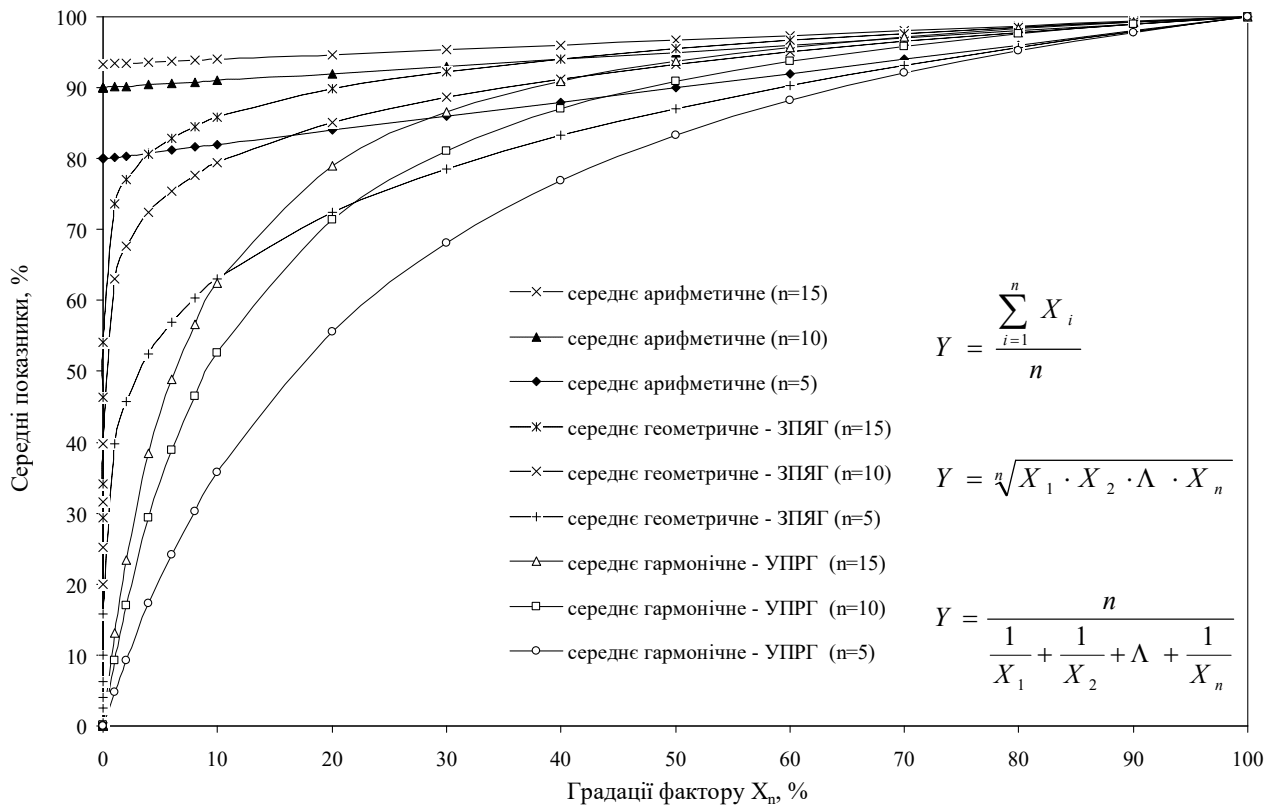


Рис. 4.7. Залежність середніх показників від фактору X_n при фіксованих оптимальних значеннях X_1 - X_{n-1}

що є нереально, оскільки загибель рослин при $X_n=0$ безсумнівна. Логічним було б, якби значення продуктивності за згаданих умов становило “0”. І в цій ситуації краще виглядає показник, запропонований Т.А.Грінченком та А.А.Єгоршиним [67] – зведений показник якості ґрунту (ЗПЯГ), який математично відповідає середньому геометричному.

Аналіз рис. 4.7 показує, що і цей показник не може бути в повній мірі використаний для моделі родючості: хоча формально він дає біопродуктивність рівну нулю при мінімумі обмежуючого фактора, але, на наш погляд, дещо “запізно” вступає в дію, про що свідчить форма кривої, яка не повною мірою задовольняє закону сукупної дії факторів (див. рис. 4.4). Тому доцільно в якості моделі використати середнє гармонічне (УПРГ), яке позбавлене згаданих недоліків, тобто враховує закони сукупної дії та обмежуючого фактору.

Детальний розгляд рис. 4.7 показує, що навіть УПРГ починає давати деяку розбіжність за великого чи дуже малого набору факторних ознак. Це узгоджу-

ється з висновками Л.Л.Шишова, Д.Н.Дурманова та В.В.Єфремова [282] про те, що кількість параметрів не повинна бути малою чи надмірною, оскільки модель перестає працювати. Отримана суперечність розв'язується так: враховуються всі основні властивості і режими або безпосередньо, або за рахунок взаємокореляцій. Так, вміст гумусу відбиває біологічні властивості ґрунту – чисельність мікрофлори та ферментативну активність; гранулометричний і мінералогічний склад визначає водно-повітряні властивості ґрунтів – пористість, повітроємність, водопроникність, а також стан ґрунтового поглинального комплексу – ємність поглинання, склад поглинутих катіонів; рН середовища знаходиться в тісній кореляційній залежності з біологічними (відношення $C_{ГК}:C_{ФК}$, ферментативна активність) та іншими фізико-хімічними властивостями – ступенем насиченості основами, співвідношенням окремих катіонів, структурою ґрунту [153].

Для зменшення величини похибок необхідно встановити оптимальну кількість параметрів моделі. Аналіз рис. 4.8 показує, що найкращу відповідність закону сукупної дії факторів забезпечують лінії з $n=\{8;12\}$. Коефіцієнти кореляції між значеннями точок на лінії закону сукупної дії факторів та точками на лініях, які акумулюють в собі 8-12 факторів практично рівні між собою з числовим

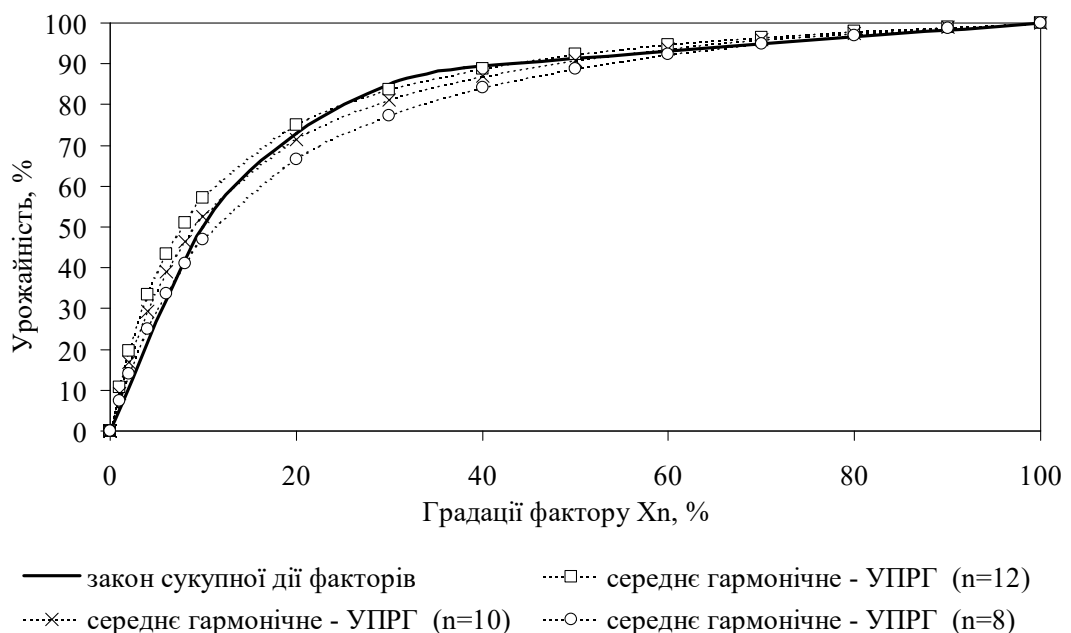


Рис. 4.8. Відповідність середнього гармонічного закону сукупної дії факторів

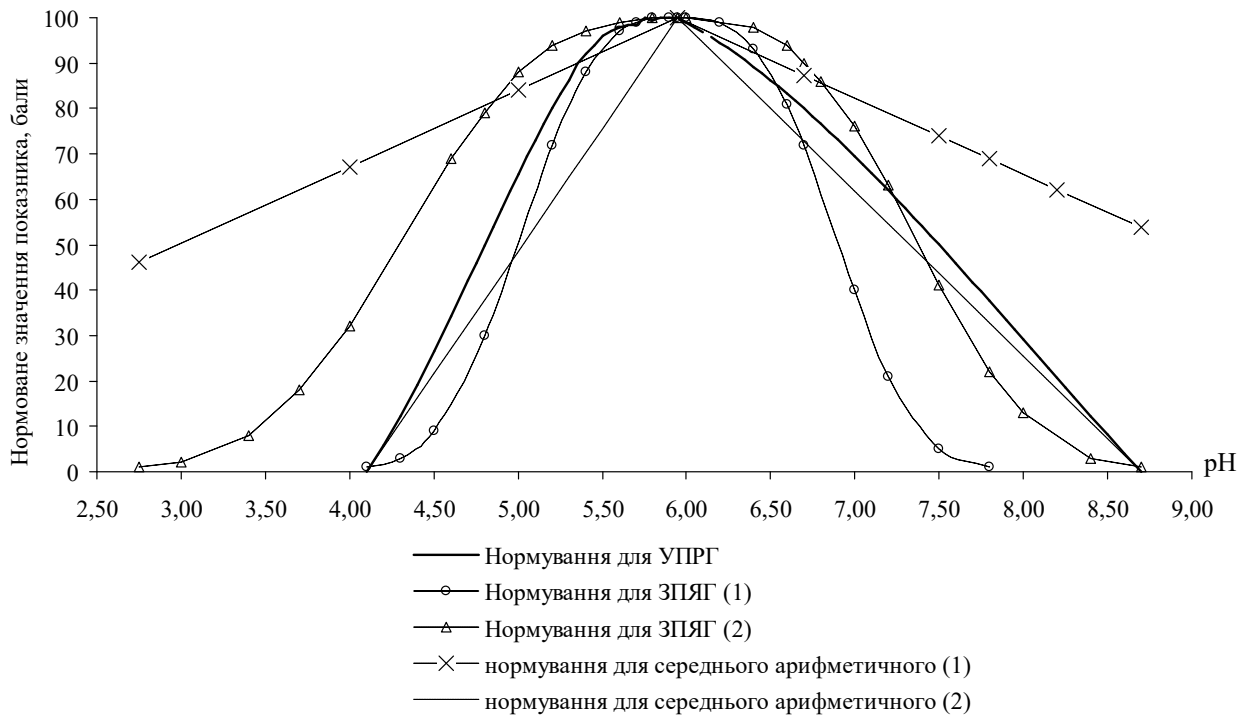


Рис. 4.9. Залежність величини нормованого показника від методики розрахунку (на прикладі вівса)

значенням 0.99. Отже, оптимальна кількість факторів, яка включається в модель родючості на основі УПРГ повинна становити 8-12 основних, що забезпечує адекватний модельний опис досліджуваного явища, а саме – родючості ґрунту.

Наступним кроком після вибору форми моделі є приведення показників родючості ґрунту до співставимого між собою виду. Для цього їх, як правило, виражають в процентах від деякого еталонного ґрунту чи оптимального значення параметру [150, 45, 142, 154, 153, 262, 263, 291, 277, 286, 321, 91]. Недоліком даного методу є те, що не враховуються вимоги окремих культур до певних значень факторів, які є оптимальними. А те, що цей оптимум дійсно існує і він різний для різних культур впливає з праць [35, 182, 235, 6, 322, 154]. Окрім того, вираження в процентах хоча і дає можливість зіставляти показники між собою, абсолютно не враховує “розкид значень” по шкалі 0-100%. І дійсно, нехай оптимальне значення рН в еталонному ґрунті становить 7.0. А найгірше значення, яке зустрічається в ґрунтах – 3.5. Це становитиме 50%. Розрахунок

показує, що значень менше 50% практично не буває для переважної більшості ознак – лінія “нормування для середнього арифметичного (1)” (рис. 4.9). Різновид описаного методу, запропонований Т.Н.Кулаковською [153], хоча і обходить проблему “розкиду значень” шляхом введення в обрахунок мінімальної величини показника, що дозволяє отримати нормоване значення в усьому діапазоні 0-100 балів, теж не враховує параболічного характеру кривої, яка описує умови росту і розвитку – лінія “нормування для середнього арифметичного (2)” (рис. 4.9).

Дещо краща ситуація у випадку нормування для ЗПЯГ. Крива в першому наближенні нагадує параболу, найбільшого значення сягає в точці теоретичного оптимуму (100), найменшого (0) в точках мінімуму і максимуму (критичних). Але при детальному розгляді виявляється, що ця крива є строго симетричною відносно оптимальної точки. Це не дозволяє врахувати асиметричність, яка дуже часто має місце. Означену проблему можна обійти, вказуючи критичні точки окремо для правої та лівої гілок графіка. При цьому отримуємо дві криві – ЗПЯГ(1) та ЗПЯГ(2) (рис. 4.9). Ліва гілка ЗПЯГ(1) задовільно описує кислотну частину діапазону рН, даючи дуже велику похибку в лужній, а ЗПЯГ(2) – навпаки: права гілка годиться для обрахунків, а ліва дає незадовільний результат. Але навіть такий можливий шлях є недосконалим, оскільки виявляється проблема методичного характеру для такого способу розрахунку: опис експоненційної функції не дає можливості задавати фіксовані її значення у вузлах, які відповідають точкам 100, 80, 50 та 0% врожайності. На практиці це означає, що при однакових значеннях нормованих ознак, наприклад рН і рівноважної щільності, зниження врожайності (ΔY) буде неоднаковим, як можна вважати. В такому випадку їх усереднення не матиме логічного обґрунтування. Подібним чином, розмірковуючи про порівняння будь-якої нормованої ознаки для двох різних культур, приходимо до висновку, що воно буде некоректним. Одне і те ж значення для однієї культури означатиме, наприклад, зниження врожайності (ΔY) на 10%, а для іншої – на 40%, що є, на наш погляд, недопустимим.

Отже, розгляд способів нормування показників показав їх недосконалість та повну або часткову невідповідність закону мінімуму, оптимуму і максимуму. Для задоволення поставлених вимог ми поступили наступним чином: при нормуванні складових УПРГ скористалися шкалою значень параметрів, наведених у роботі [6]. У вихідній шкалі пропонується три градації показників: 1) оптимальна – урожайність коливається в межах $\sim 20\%$ від теоретично можливої; 2) допустима – урожайність знижується на $\sim 30\%$ від попередньої; 3) недопустима – урожайність знижується більше ніж на 50% від теоретично можливої і прямує до нуля. В шкалі, на жаль, відсутні градації, які вказують на величини показників, при яких рослини починають гинути. Оскільки ми задалися метою дати точну оцінку усього діапазону ознаки, в якому рослина володіє “господарською цінністю” – врожайністю, то вихідну шкалу довелося дещо доповнити, ввівши таку точку, де рослина починає боротися за “виживання”. Зрозуміло, що у випадку двосторонніх критеріїв (рН, рівноважна щільність, гранулометричний склад тощо) таких точок буде дві, які позначають відповідно праву і ліву межу надкритичних умов для росту і розвитку. Отримавши “розширений” варіант шкали, встановлюємо бальні оцінки меж допустимих, недопустимих та оптимальних параметрів.

Проілюструємо це на прикладі рН для вівса. Точка **теоретичного оптимуму** (ТО) отримала оцінку 100 – в ній виявляється можливим максимальна реалізація адаптаційного потенціалу культури. Крайні межі оптимального інтервалу одержали бал 80, крайні точки допустимого діапазону – 50, а недопустимого – 0. В зв’язку з відсутністю в вихідній шкалі даних про ширину недопустимого інтервалу, нами прийняте наступне: із ширини допустимих діапазонів можна робити висновки про толерантність рослин до того чи іншого фактора. Якщо вони вузькі, це означає, що рослина погано переносить таке зниження ознак, і в більш “поганих” умовах вона буде реагувати аналогічно. Це ж стосується і широких допустимих діапазонів. Тому при розрахунках ми поступаємо наступним чином: якщо на допустимий діапазон припадає 30% зниження вро-

жайності і “Х” одиниць значення фактору, то на недопустимий діапазон припадатиме 50% зниження врожайності і пропорційна кількість “У” одиниць значення фактору (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Розширений варіант шкали рН в діапазоні росту і розвитку рослин
на прикладі вівса

	Недопустимо	Допустимо	Оптимум			Допустимо	Недопустимо
	ЛНД	ЛДД				ПДД	ПНД
	ЛКМ*	ЛДМ	ЛОМ	ТО*	ПОМ	ПДМ	ПКМ*
бал	0	50	80	100	80	50	0
рН	4,1*	4,8	5,2	5,95*	6,7	7,5	8,7*

ЛДД, ПДД – лівий та правий допустимі діапазони;

ЛНД, ПНД – лівий та правий недопустимі діапазони;

ЛОМ, ПОМ – ліва та права оптимальні межі;

ЛДМ, ПДМ – ліва та права допустимі межі;

ЛКМ, ПКМ – ліва та права критичні межі;

* – отримується розрахунково.

Дані про бальні оцінки критичних точок та значення ознак в цих точках **апроксимували поліномами 3-4 степеня**, який визначався вимогою точного відтворення значень функції в вузлах 100-80-50-0 балів (рис. 4.9). Отримана фіксована оцінка нормованої ознаки в точках теоретичного оптимуму (рН=5.95), переходу від оптимальних значень до допустимих (5.2 і 6.7), від допустимих до недопустимих (4.8 і 7.5) та в критичних точках (4.1 і 8.7) дозволяє коректно з'являти оцінювані показники. Спосіб обчислення кривої для узагальненого показника родючості ґрунту дає можливість отримати несиметричну лінію, яка враховує відхилення вимог рослин до умов росту та розвитку від ідеальної параболи та закон мінімуму, оптимуму і максимуму на відміну від кривих ЗПЯГ(1) та ЗПЯГ(2) і тим більше ліній середнього арифметичного (рис. 4.9). Для правої та лівої гілок графіка (в зв'язку з їх асиметричністю) отримуються при цьому різні вирази:

$$y = -24,473x^3 + 348,32x^2 - 1571,7x + 2275,5 \text{ (для діапазону рН 4.1–5.95)}$$

$$y = 1,784x^3 - 42,936x^2 + 302,12x - 553,34 \text{ (для діапазону рН 5.95–8.7)}$$

Одержані таким чином нормовані значення ознак пропонується округляти до цілих, а узагальнений показник родючості ґрунту вираховується з точністю до десятих.

Розробка розширеного варіанту шкали для односторонніх критеріїв (вміст поживних речовин, гумусу, температурний режим тощо), які є частинним випадком двосторонніх, базується на тих же положеннях.

Отже, запропонована методика по створенню моделі родючості ґрунту включає в себе наступні кроки: 1– деталізація шкали; 2 – нормування ознак поліномами 3-4 степеня; 3 – усереднення параметрів родючості за допомогою УПРГ. Форма моделі надає можливість формалізованого математичного опису. Модель дозволяє оцінювати продуктивність ґрунту щодо певної культури в аспекті максимальної родючості, яка отримується тоді, коли ґрунтові умови відповідають оптимальним. Узагальнений показник родючості ґрунту на її основі є об'єктивним показником оцінки родючості та її змін в часі.

4.2. ВИМОГИ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР ДО ФАКТОРІВ ЇХ РОСТУ І РОЗВИТКУ

4.2.1. ОЗИМА ПШЕНИЦЯ

Рівень урожайності озимої пшениці визначається умовами росту і розвитку рослин протягом вегетаційного періоду. Озима пшениця найбільш інтенсивно росте і розвивається при температурі навколишнього середовища 20-25°C. Підвищення температури при сприятливому співвідношенні інших факторів може підсилити темпи росту, а при несприятливому – загальмувати їх. Зниження температури зменшує активність ростових процесів [246]. Помітний ріст озимої пшениці можливий в температурному інтервалі від 2-3 до 37-40°C.

Споживання вологи залежить від її запасів у ґрунті (оптимальною є вологість не менше 75-80% від повної вологоємності), температури і відносної вологості повітря, освітлення, віку рослин та інтенсивності росту й розвитку [213, 71].

Вимоги озимої пшениці до температури, вологи, елементів мінерального живлення і інших факторів не залишаються постійними, а змінюються в залежності від віку рослин, їх стану, погодних умов та інших причин [71, 244, 320].

Коливання температурних умов, сонячного освітлення, опадів у співвідношенні з ґрунтовими факторами викликає сильне варіювання урожайності і якості зерна як по зонах, так і по роках вирощування. Вивчення закономірності територіальної мінливості якості зерна пшениці показало, що його білковість збільшується в напрямку з північного заходу на південний схід України. При цьому між погодними умовами і якістю пшениці існують слабкі та сильні зв'язки [42, 244].

Пшениця серед хлібних злаків найбільш вимоглива до ґрунтів. Екологічний оптимум ґрунтових умов складається при вмісті гумусу більше 3-4% і запасах органічної речовини 300-600 т/га, що забезпечує потенційну збагаченість ґрунту азотом та фосфором, щільності кореневмісного шару ґрунту близько 1.25 г/см³, добрій оструктуреності профілю, близькій до нейтральної реакції середовища та пов'язаній з нею слабкій вилугованості ґрунтів від лужноземельних катіонів, високому вмісті доступних рослинам кальцію, магнію, калію, кремнію та інших зольних елементів. Такі умови характерні для глибоко-структурних важкосуглинкових та легкоглинистих ґрунтів. Легкі, особливо піщані та супіщані ґрунти, для пшениці малоприсадибні (табл. 4.2). Урожайність її зменшується і на важких безструктурних, злитих і деградованих ґрунтах. Тому, для підвищення урожайності пшениці необхідна висока культура землеробства, яка включає протиерозійну організацію території, чисті пари, створення сітки полезахисних лісосмуг, періодичний плоскорізний обробіток, регулярне внесення органічних та мінеральних добрив [213, 244, 71].

Таблиця 4.2

Агроекологічні вимоги озимої пшениці до факторів життя [6]

№ п/п	Параметри	Оцінка умов	Числові значення параметрів
1	2	3	4
1.	Глибина гумусованого шару, см	O*	>65
		Д	35-65
		Н	<35
2.	Гранулометричний склад (фізична глина), %	O	20-60
		Д	60-75
		Н	5-20 : >75
3.	Рівноважна щільність орного шару, г/см ³	O	1.10-1.35
		Д	1.00-1.09 : 1.36-1.45
		Н	<1.00 : >1.45
4.	Реакція ґрунтового розчину, рН(KCl)	O	6.1-7.5
		Д	5.6-6.0 : 7.6-8.0
		Н	<5.6 : >8.0
5.	Вміст гумусу, %	O	>3.5
		Д	2.0-3.5
		Н	<2.0
6.	Вміст легкогідролізованого азоту, мг/100 г ґрунту	O	>16
		Д	8-16
		Н	<8
7.	Вміст рухомого фосфору, мг/100 г ґрунту	O	>20
		Д	8-15
		Н	<8
8.	Вміст обмінного калію, мг/100 г ґрунту	O	>17
		Д	8-17
		Н	<8
9.	Сума активних температур вище 10°C, °C	O	1601-2000
		Д	1200-1600
		Н	<1200
10.	Температура повітря при з'явленні сходів, °C	O	6-12
		Д	4-5
		Н	<4

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4
11.	Температура повітря при формуванні генеративних органів (цвітінні та запиленні), °С	О	16-20
		Д	10-15 : 21-25
		Н	<10 : >25
12.	Гідротермічний коефіцієнт за період з температурою повітря вище 10°С	О	0.9-1.2
		Д	0.70-0.89 : 1.21-1.60
		Н	<0.7 : >1.6

Примітка: О – оптимальні, Д – допустимі, Н – недопустимі умови

З орного горизонту, в якому розміщена основна маса коренів, протягом вегетації пшениця поглинає 80-85% елементів мінерального живлення, а з глибших шарів – 15-20%. Більше 95% мінеральних речовин поглинається із шару 0-60 см [209].

Завдяки значній екологічній пластичності пшениці її вирощують як на слаболужних, так і на слабокислих, але не на кислих ґрунтах. За даними Д.С.Авдоніна (1975), пониження вмісту білка в зерні озимої пшениці зумовлюється нестачею поживних речовин в ґрунті, і перш за все азоту, кислою реакцією середовища, токсичними концентраціями рухомих форм алюмінію та марганцю, нестачею молібдену, послабленням діяльності корисних мікроорганізмів тощо (цит. по [31]). Підвищена кислотність ґрунту призводить до погіршення якості зерна пшениці: знижується синтез крохмалю, збільшується вміст водорозчинних цукрів. Нейтральна реакція середовища та незначна лужність сприяє покращенню якості зерна, збільшенню його білковості. Озима пшениця відноситься до середньосолестійких культур [35, 6].

Таким чином, озима пшениця є досить вимогливою до факторів життя культуурою, а тому найвищу продуктивність її забезпечують багаті гумусом ґрунти з хорошими водно-фізичними властивостями, нейтральною реакцією середовища, підвищеним вмістом елементів живлення за сприятливих кліматичних умов.

4.2.2. ЦУКРОВИЙ БУРЯК

Кращими ґрунтами у всіх ґрунтово-кліматичних зонах для вирощування цукрового буряка є середньосуглинкові, хоча й на добре оструктурених важко-суглинкових і глинистих ґрунтах можна отримувати високі врожаї. Неприятливими для вирощування даної культури є піски та супіски, особливо у вологих умовах, а також ущільнені важкосуглинкові та злиті ґрунти [332].

За вимогливістю до ґрунтових умов цукровий буряк близький до озимої пшениці, яка часто є його попередником в сівозміні. Глибока коренева система освоює потужну товщу ґрунту та ґрунтоутворюючої породи.

Цукровий буряк формує високі врожаї в широких межах рН – від 6.0 на опідзолених до 8.6 – на карбонатних ґрунтах, але не переносить кислих ґрунтів (із рН нижче 6.0), а на сильно карбонатних лужних ґрунтах стає чутливим до нестачі бору [106, 80].

Для нормального розвитку буряк потребує постійного зволоження на рівні 60-80% від найменшої вологості. Велике значення має глибока вологозарядка ґрунту. Коренева система, що проникла на глибину 2.5 м, активно використовує вологу з нижче лежачих шарів ґрунту, що дозволяє рослинам протистояти тимчасовій посуші. Перезволоження та близького залягання ґрунтових вод буряк не переносить. Негативний вплив прісних вод проявляється при глибині залягання менше 100 см, а солоних – менше 150-200 см [246].

Цукровий буряк – солестійка культура. Він непогано переносить слабку засоленість ґрунтів і може застосовуватись для біологічного їх розсолення та слабку солонцюватість, якщо вона не призводить до різкого погіршення фізичного стану ґрунту.

Цукровий буряк є культурою, виключно вимогливою до поживних речовин. Для прикладу, його потреба в елементах живлення в три рази більша, ніж у зернових культур. Тому він виносить з ґрунту багато поживних речовин і добре реагує на внесення, як органічних так і мінеральних добрив. Найбільш інтенсивно

вне засвоєння елементів живлення відбувається в червні–липні та в першій половині серпня. Потім використання їх зменшується, а на початку вересня припиняється [106].

В літературі поширені дані про інтервальні значення оптимальних діапазонів росту і розвитку [220, 322], хоча лише В.В.Медведевим із співробітн. [6] зібрані числові значення окремих факторів родючості, при яких складаються оптимальні, допустимі та недопустимі умови росту та розвитку конкретних культур, в даному випадку цукрового буряку (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Агроекологічні вимоги цукрового буряку до факторів життя [6]

№ п/п	Параметри	Оцінка умов *	Числові значення параметрів
1	2	3	4
1.	Глибина гумусованого шару, см	О	>70
		Д	40-70
		Н	<40
2.	Гранулометричний склад (фізична глина), %	О	20-60
		Д	60-75
		Н	5-20 : >75
3.	Рівноважна щільність орного шару, г/см ³	О	1.00-1.30
		Д	0.90-0.99 : 1.31-1.40
		Н	<0.90 : >1.40
4.	Реакція ґрунтового розчину, рН(КСІ)	О	6.1-7.5
		Д	5.6-6.0 : 7.6-8.0
		Н	<5.6 : >8.0
5.	Вміст гумусу, %	О	>3.5
		Д	2.0-3.5
		Н	<2.0
6.	Вміст легкогідролізованого азоту, мг/100 г ґрунту	О	>16
		Д	8-16
		Н	<8

Продовження табл. 4.3

1	2	3	4
7.	Вміст рухомого фосфору, мг/100 г ґрунту	О	>20
		Д	8-15
		Н	<8
8.	Вміст обмінного калію, мг/100 г ґрунту	О	>17
		Д	8-17
		Н	<8
9.	Сума активних температур вище 10°C, °C	О	2481-2800
		Д	2000-2480
		Н	<2000
10.	Температура повітря при з'явленні сходів, °C	О	15-17
		Д	8-14
		Н	<8
11.	Температура повітря в період основного наростання коренеплодів, °C	О	20-23
		Д	15-19 : 24-25
		Н	<15 : >25
12.	Гідротермічний коефіцієнт за період з температурою повітря вище 10°C	О	1.1-1.6
		Д	0.9-1.0 : 1.7-2.0
		Н	<0.9 : >2.0

Примітка: О – оптимальні, Д – допустимі, Н – недопустимі умови

Отже, цукровий буряк є вимогливою до факторів життя культурою, а тому найвища урожайність буде забезпечуватися на родючих ґрунтах із сприятливими агрофізичними властивостями, нейтральною реакцією середовища, підвищеним вмістом елементів живлення за умови, якщо в конкретному році складаються оптимальні кліматичні умови для даної території.

4.3. ВИБІР ҐРУНТОВО-КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ, ЇХ НОРМУВАННЯ ТА ЗВ'ЯЗКИ З УРОЖАЙНІСТЮ

Рівень родючості в значній мірі залежить від конкретних показників ґрунтових режимів, параметри яких визначаються кліматичними умовами, агрофізичними властивостями ґрунту, його гранулометричним, мінералогічним, хімі-

чним складом, потенційним запасом елементів живлення, вмістом і складом гумусу, інтенсивністю мікробіологічних процесів, реакцією середовища тощо [92, 120, 197, 301, 237, 326, 173]. Встановлення та розрахунок оптимальних значень найважливіших факторів можливий при розгляді їх у вигляді певної системи. Об'єктивну інформацію про основні оптимальні параметри ґрунтової родючості, якими можна користуватись при складанні моделей управління нею, отримують в багатofакторних польових дослідках по окультурюванню ґрунтів [319, 242].

Життя рослин визначається як внутрішніми властивостями самого організму, так і зовнішніми характеристиками навколишнього середовища, які являють собою фактори життя [23, 161, 208, 35].

В подальшому нами будуть розглянуті тільки зовнішні фактори життя рослин, головні з яких встановлені давно. Це – світлова та теплова енергії, вода, повітря, поживні елементи. Вказані фактори безпосередньо засвоюються організмом, є незамінними і рівнозначними. Виключення з середовища будь-якого з них веде до загибелі рослин. Крім того, на рослини в різній мірі впливають компоненти фітоєкосистеми та процеси, які в ній проходять. Одні з них безумовно необхідні для життя рослин і є в усіх екосистемах, а інші відіграють непряму роль, є шкідливими або нейтральними по відношенню до рослин.

Різні автори по різному виділяють ті чи інші групи факторів родючості, хоча детальний аналіз показує, що незалежно від автора, охоплюються майже всі чинники, що впливають на життя рослин. Так, за А.М.Гринченком (64), природними факторами родючості ґрунтів виступають ті, що наведені на схемі 4.3.

О.М.Заяц [100] поділяє усі фактори життя рослин на **біотичні** і **абіотичні**. До **абіотичних** належать космічні (світло, тепло), атмосферні (повітря, гази, вітер), земні (вода, поживні речовини, реакція ґрунту). **Біотичні** – це живі організми (мікроорганізми, вищі та нижчі рослини, тварини, людина). Додатково вводиться таке поняття, як “умови життя рослин”, під яким розуміють явища

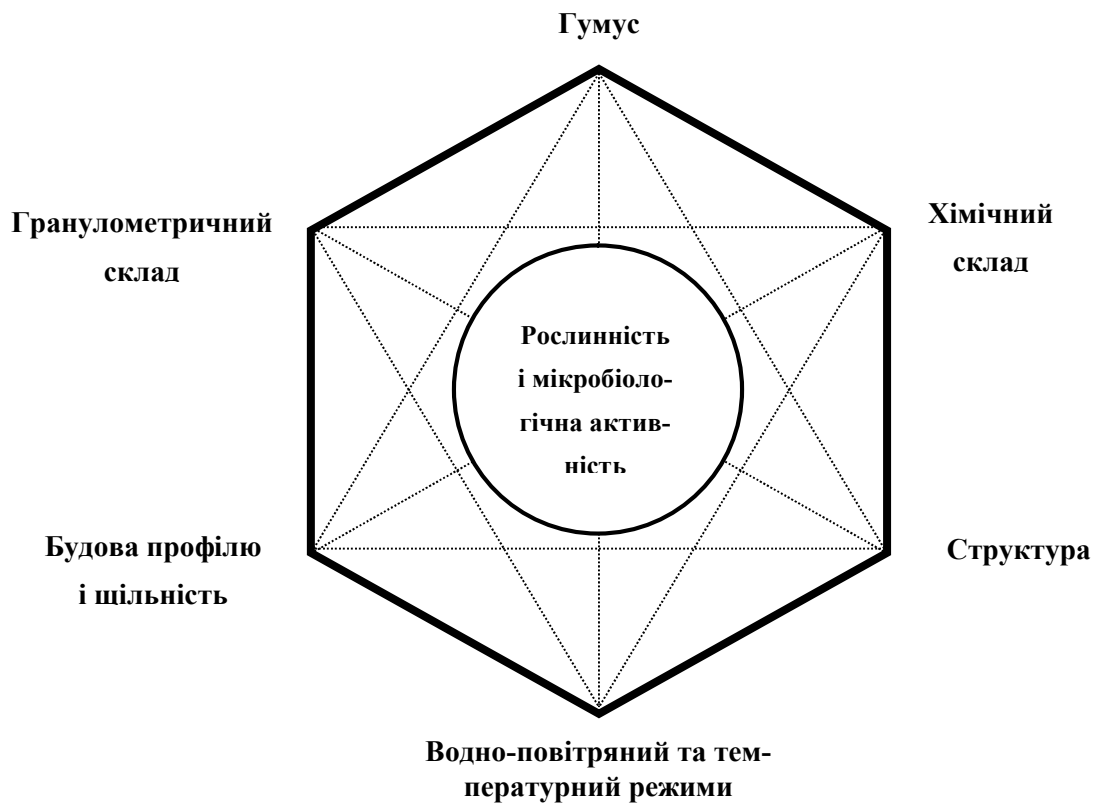


Схема 4.3. Схема природних факторів родючості [64]

зовнішнього середовища, які впливають на ріст і розвиток рослин не безпосередньо, а через матеріальні фактори, сила і напрямок дії яких змінюються при зміні цих умов. До них належать географічне розташування території, рельєф та інші.

Б.А.Никитин [208] за характером впливу на рослини розділяє компоненти і процеси на такі групи: 1) необхідні для життя рослин, або фактори життя (світлова енергія, поживні речовини, теплова енергія, співвідношення іонів в розчині та його реакція тощо); 2) непрямі, що створюють регулюючий вплив на необхідні фактори; 3) токсичні - представлені різними компонентами чи процесами середовища не обов'язковими для нього (сірчистий газ, фенол, фтористі сполуки, хлор, дим, фітонциди, сполуки алюмінію, солі в ґрунті); 4) випадкові фактори – виникають в екосистемах періодично, носять, як правило, тимчасовий характер і самостійно зникають (хвороби, град, мороз, ураган, особливо сприятливий режим випадання опадів влітку); 5) нейтральні – компоненти і процеси екосистеми, які не впливають на життя і продуктивність рослин, але

необхідні для її існування: деякі космічні випромінювання, хімічні сполуки, особливо в твердому вигляді, інертні гази, ряд живих організмів тощо.

Впливаючи на інтенсивність прояву факторів (посилення чи ослаблення їх дії, виключення деяких факторів з середовища) людина спрямовує процеси росту і розвитку сільськогосподарських рослин в потрібному напрямку.

До загальних показників властивостей та режимів ґрунтів, оптимальні параметри, яких треба встановити для розробки моделі родючості конкретного ґрунту, відносять [237]:

- показники гумусного стану (склад, вміст, запаси гумусу і потужність гумусованого шару);
- параметри, що характеризують поживний режим ґрунту;
- показники водно-фізичних властивостей – рівноважна щільність, агрегованість, польова вологемність, водопроникність, аерація;
- показники, які характеризують будову ґрунтового профілю – потужність орного шару і гумусового профілю в цілому;
- показники, що характеризують стан ГПК – рН, ємність поглинання, склад обмінних катіонів, ступінь насиченості основами та ін.

Оскільки продуктивність рослин визначається також запасами вологи та температурними умовами, то, на наш погляд, необхідно ввести ще й показники волого- та теплозабезпеченості рослин впродовж вегетації і, особливо, в критичні періоди, що дозволить певною мірою врахувати, крім ґрунтових, і кліматичні умови.

Розглянемо більш детально основні фактори, які впливають на ріст та розвиток культур, оскільки без цього створення моделі родючості ґрунтів неможливе. Для цього згрупуємо їх у групи, які певною мірою узагальнюють агрофізичні, агрохімічні, фізико-хімічні та агрокліматичні властивості.

Рівноважна щільність. Вона є одним з основних агрофізичних показників ґрунту, що істотно впливає на поглинання вологи, газообмін, розвиток коре-

невих систем рослин, інтенсивність мікробіологічних процесів у ґрунті і як наслідок – на рівень його родючості [69, 287, 237, 123, 159, 245].

Щільність ґрунту обумовлюється ступенем з'єднання первинних частинок в мікро- і макроагрегати [190]. Величина її є досить мінливою і залежить як від природних властивостей ґрунту (гранулометричний і мінералогічний склад, вміст гумусу), так і від культурного стану (орне угіддя, переліг). Під впливом самоущільнення і саморозпушування тверда фаза ґрунту набуває так званої рівноважної щільності [297, 77, 245]. В основних типах ґрунтів вона знаходиться в межах 1.2-1.4 г/см³, хоча відхилення можуть бути досить значними. Так, щільність підзолистих горизонтів становить 0.8-1.0 г/см³, болотних ґрунтів – 1.1-1.3 г/см³, торфу – 0.2-0.5 г/см³, ґрунту під лісом – 1.35-1.5 г/см³, для орних горизонтів – 1.0-1.1 г/см³ [190, 247, 266, 35, 183].

Відмітимо, що при ущільненості 1.40-1.55 г/см³ утруднюється проникнення коренів у ґрунт та пригнічується розвиток рослин, а при щільності, що перевищує 1.55 г/см³ стає практично неможливим ріст кореневих систем рослин [35]. Однією з головних причин цього є зменшення тісноти контакту коренів з ґрунтом [105], хоча самі кореневі системи рослин розпушуючи ґрунт, дещо знижують його щільність [266, 157, 247].

Прогноз і розрахунок рівноважної щільності є актуальним і важливим завданням для практики обробітку ґрунту, проведення меліоративних заходів, управління водним режимом полів, а також однією з найважливіших агрономічних характеристик та кількісних показників агрофізичного стану та потенційної родючості ґрунту [248, 85, 182, 274].

В прямій залежності від рівноважної щільності ґрунту знаходиться об'єм порового простору. Порожнини і пори містять необхідний запас повітря, по них переміщується вода з розчиненими в ній речовинами. Крім того, залежно від їх розміру, вони містять мікроорганізми, найпростіших та іншу ґрунтову біоту, по порах проникають в глибину ґрунту корені і кореневі волоски рослин [58, 274]. Величина загальної пористості в значній мірі впливає на водно-

повітряний і тепловий режими ґрунту [245, 10]. Тому щільність ґрунту та залежні від неї показники є одними з важливих структурних характеристик ґрунту.

Водоутримуюча здатність ґрунтів і їх гідравлічна провідність в більшій мірі залежить від гранулометричного, агрегатного, мінералогічного складу і щільності, ніж від клімату, рослинності, рельєфу і типу ґрунту, тобто ґрунти з подібними агрофізичними характеристиками володіють аналогічними гідрофізичними властивостями [2, 203, 205, 109, 174, 307, 51].

Отже, щільність ґрунту, його пористість в комплексі з гранулометричним, мікроагрегатним та мінералогічним складом обумовлюють сильний вплив на розвиток культурних рослин, які дуже чутливо реагують на підвищення щільності ґрунту і на погіршення його аерації [145, 187, 139]. Оптимальною вважається щільність, при якій урожайність сільськогосподарських культур при інших рівнозначних умовах є найвищою. Для зернових вона коливається в межах 1.10-1.30 г/см³, картопля і цукровий буряк суттєво знижують врожаї при її значеннях більших 1.15-1.20 г/см³ [136, 83, 247, 330, 339, 337]. Щільність 1.35-1.40 г/см³ є верхньою межею оптимального значення для розвитку коріння злакових і критичною для коріння кукурудзи і просапних культур [176].

Ущільнення ґрунту супроводжується руйнуванням макроструктури, погіршенням водно-повітряного і теплового режимів ґрунтів, зниженням урожаю сільськогосподарських культур [144, 83, 329, 330, 339, 267, 149, 148, 159]. В чорноземах при цьому знижується агрегованість, якість агрегатів, водопроникність, тобто посилюється фізична деградація, наслідком якої є погіршення екологічних функцій ґрунту (водно-повітряного і газового режимів), умов життєдіяльності різних ценозів, відновлення запасів органічної речовини, зниження врожаю, ефективності добрив, поливної води та ослаблення стійкості ґрунтів і ґрунтового покриву до руйнівної дії води, вітру, забруднення [183].

Дослідження показують, що при збільшенні щільності з 1.30 до 1.40 г/см³ нітрифікуюча здатність ґрунтів зменшується в два рази, а при щільності 1.5 г/см³ спостерігається денітрифікація, що призводить до порушення надхо-

дження азоту в рослини [204, 25].

Одним з вагомих факторів переущільнення ґрунтів є високий тиск на ґрунт сільськогосподарської техніки. В результаті численних проходів тракторів і механізмів, які проводять основний і додатковий обробіток ґрунту, збір та транспортування врожаю, відбувається не тільки погіршення структури орних і підорних горизонтів, але й значне ущільнення і розпилення ґрунту [158, 219].

Сильно розпушений ґрунт також володіє незадовільними агрофізичними властивостями. Врожайність різко знижується через надлишкову аерацію, поганий контакт коренів з ґрунтовими частками, нестачу поживних речовин та води [245, 166, 35, 183].

Отже, рівноважна щільність ґрунту – об'єктивний показник основних властивостей ґрунту, що впливають на умови росту рослин та рівень ефективної родючості ґрунту.

Гумусний стан. Родючість ґрунту та урожайність сільськогосподарських культур в значній мірі залежить від наявності в ньому органічної речовини – гумусу, який є джерелом поживних речовин для рослин і більшості ґрунтових організмів, а також одним із важливих факторів створення водостійкої структури, яка позитивно впливає на вологоємність, водо-, повітропроникність, тепловий режим ґрунту, оптимізацію фізичної стиглості та водоутримуючої здатності. Завдяки життєдіяльності мікроорганізмів відбувається поступова мінералізація гумусу, внаслідок чого азот, фосфор, сірка, калій, кальцій, магній, мікроелементи переходять у доступні форми та виділяється велика кількість вуглекислого газу, який є джерелом вуглецю для рослин. Тому зі збільшенням вмісту гумусу в ґрунті зростає врожайність сільськогосподарських культур [338, 221, 281, 194]. Крім того, гумус зменшує можливість негативного впливу на рослину деяких шкідливих властивостей мінеральних компонентів ґрунту [165, 314].

Зі збільшенням вмісту гумусу щільність ґрунту знижується [153, 199, 200, 19, 312]. Кількісна оцінка залежності між рівноважною щільністю і вмістом

гумусу без врахування інших факторів дозволила встановити, що вміст його в ґрунті відбиває кліматичні, літологічні, ландшафтні умови біологічного генезису ґрунтоутворення і культури землеробства, обумовлює агрофізичні властивості ґрунту і є мірою його потенційної родючості [274], рівень якої визначається запасами гумусу в ґрунті [15].

Однією з суттєвих умов накопичення гумусу в ґрунтах є кількість мулистих та колоїдних частинок, що сприяють закріпленню органічних речовин. Існує пряма залежність між мінеральною колоїдною частиною ґрунту і накопиченням гумусу та взаємопов'язаність місткості катіонного обміну і вмісту гумусу [131, 53, 225], щільності ґрунту та вмісту гумусу [156, 153].

Від рівня вмісту і складу гумусових речовин залежать фізико-хімічні властивості ґрунту, що пов'язано перш за все з накопиченням азоту і зольних елементів живлення рослин. Завдяки наявності в гумусових речовин кислих функціональних груп вони визначають ємність катіонного обміну більшості ґрунтів, що обумовлює зростання їх кислотно-основної буферності [328].

Гумусу належить провідна роль в оструктуренні ґрунту і прояві ним здатності до розуцільнення [74, 26, 146, 148]. Органічні речовини насичують ґрунтові агрегати, склеюють їх, надають водостійкості структурним відокремленням, підвищують стійкість їх до ґрунтового вивітрювання. Однак, при переважанні фульвокислот, вони активно діють на ґрунтові мінерали, сприяючи не тільки збільшенню рухомості елементів живлення рослин, а й розвитку процесу опідзолення [113, 223]. Отже, такий багатосторонній вплив гумусу на властивості ґрунтів вказує на велику його роль в підвищенні їх родючості.

На збагачених гумусом ґрунтах рослини характеризуються підвищеною стійкістю до хвороб та шкідників, а продукція має вищу якість [54]. Проте, встановлено, що вплив гумусу на урожай сильніше проявляється на бідних органічною речовиною ґрунтах (дерново-підзолистих, сіроземах). Так, при збільшенні кількості гумусу в орному горизонті дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів з 1.4 до 2.5% урожай підвищується з 36.8 до 65.3 ц/га [17]. Співробітни-

ками Ґрунтового інституту ім. В.В.Докучаєва (м. Москва) встановлено, що якщо при вмісті гумусу 3-4% урожайність прийняти за 100%, то при 2-3% вона знижується до 80-90, при 1.5-2.0% – 75-80, при 1.5% – до 55-60% [258]. Причому, чим менше гумусу в ґрунті, тим ефективніше він бере участь у створенні врожаю [54, 35]. Погіршення гумусного стану ґрунту призводить в більшості випадків до зниження врожайності сільськогосподарських культур [47].

Проте, існують і винятки. Для винограду оптимум вмісту гумусу лежить в межах 1.0-3.5%, і при збільшенні чи зменшенні запасів гумусу урожайність знижується. Ця залежність має параболічну форму, причому сильно асиметричну, з максимумом в районі 1.6-1.7% [35]. При визначенні оптимуму гумусу головним є встановлення мінімального його вмісту, при якому нестача його в ґрунті стримує формування високих і стійких врожаїв [153]. Дослідженнями, проведеними на дерново-підзолистих ґрунтах [122, 153] встановлені тісні кореляційні зв'язки більшості окремих біологічних властивостей ґрунту з вмістом та складом органічної речовини і врожайністю сільськогосподарських культур.

Дерново-підзолисті і опідзолені лісові ґрунти характеризуються прямим зв'язком між гумусом та врожаєм, а чорноземи – нелінійним, тобто врожайність зростає до визначеного рівня вмісту гумусу в ґрунті, а подальше його підвищення не супроводжується адекватним збільшенням врожайності [184].

Вміст органічної речовини в ґрунті розглядається і з точки зору екологічної стабільності ґрунтів [128]. Розорювання цілинних ґрунтів призводить до значних втрат гумусу [66], темп яких поступово сповільнюється і настає відносна рівновага [13], але на більш низькому рівні вмісту гумусу через зменшення кількості рослинних решток, які надходять у ґрунт [128].

Зменшення вмісту гумусу в ґрунтах, що не удобрюються, в значній мірі пов'язане з інтенсифікацією обробітку ґрунту під окремими культурами [114, 236, 117, 275]. Сільськогосподарське використання ґрунту також приводить до суттєвих змін якісного складу гумусу в основних типах ґрунтів [181]. Зокрема, при залученні цілинних і цілинно-лісових ґрунтів в сільськогосподарське вико-

ристання, при відсутності систематичного внесення добрив відбувається розширення співвідношення Сгк:Сфк [89, 252, 216].

Зменшення вмісту гумусових речовин у ґрунті зумовлює погіршення фізичних властивостей, і, насамперед, його структурного стану і водопроникності. Погано оструктурені ґрунти більше піддаються водній і вітровій ерозії. У слабоеродованих ґрунтах вміст гумусу на 5-10%, на середньоеродованих – на 25-30%, сильноеродованих – на 35-40% нижче порівняно з повнопрофільними аналогами [79]. Високий вміст гумусу, відповідно, надає ґрунтам стійкості до ущільнюючої дії важкої техніки, а також до водної та вітрової ерозії.

У зв'язку з цим виникає необхідність регулювання кількості гумусу в ґрунтах, створення умов для забезпечення його бездефіцитного і позитивного балансу. При цьому важливого значення набуває раціональне використання органічних і мінеральних добрив [22, 52, 221, 164], вибір оптимальних систем обробітку та інших агротехнічних засобів [96], залишення рослинних решток на полі [318], застосування протиерозійних заходів [194] та оптимізація водного режиму [292], застосування органічних добрив і багаторічних трав [132, 163].

Однією з визначальних умов розвитку і продуктивності рослин є потужність гумусованого шару, яка тісно пов'язана з минулими і нинішніми кліматичними умовами, особливостями рослинного покриву, ґрунтоутворюючих порід, рельєфом місцевості і в цілому з типом ґрунтоутворного процесу [234]. Вона сильно впливає на ріст та розвиток тих культур, біологічні особливості будови кореневої системи яких не дають змоги отримати максимальну продуктивність. Встановлено, що зв'язок між врожаєм сільськогосподарських культур та потужністю гумусованого шару досить тісний в межах від 30 до 90 см, а при більшій потужності значно ослаблюється [183]. Підвищення врожайності відмічене лише до зростання потужності гумусових горизонтів до 150-160 см і запасів гумусу до 600-650 т/га [34]. Тому при бонітуванні ґрунтів використовують поправки на потужність гумусованого шару, яка деякою мірою характеризує і еродованість ґрунту [45, 46, 151, 264].

Отже, оптимізація гумусного стану ґрунту дозволить покращити й інші фактори його родючості: стан ґрунтового-поглинального комплексу, водно-фізичні властивості, біологічну активність, вміст макро- та мікроелементів, тобто ті фактори, які необхідно враховувати для створення моделі родючості ґрунтів.

Гранулометричний склад – це важлива характеристика ґрунту, яка визначає його фізико-хімічні, водно-фізичні і фізико-механічні властивості [251]. Будучи одним із основних структурних рівнів організації твердої фази ґрунту і безпосередньо приймаючи участь у формуванні мікро- і макроструктури, гранулометричний склад у значній мірі визначає його структурно-функціональні властивості [197, 148]. З ним пов'язана фільтраційна і водоутримуюча здатність ґрунтів, їх гумусованість, насиченість поживними речовинами, можливість і швидкість окультурення ґрунтів, ефективність застосування добрив, швидкість просихання та величина опору ґрунтів при дії ґрунтообробних знарядь. Істотну роль гранулометричний склад відіграє в тепловому режимі ґрунтів: як правило, легкі (піски, супіски) є більш “теплыми”, тобто швидше прогріваються сонячним промінням, а багаті мулистими частками суглинкові та глинисті ґрунти краще забезпечені елементами живлення в порівнянні з супіщаними і піщаними. Важкі безструктурні ґрунти володіють несприятливими фізичними та фізико-механічними властивостями. Вони слабководопроникні, легко запливають, утворюють кірку, мають високу щільність, липкість, часто й несприятливі повітряний та тепловий режими. Піщані та супіщані є малородючими [127]. Тому гранулометричному складу належить одне із важливих місць у формуванні врожаю.

Водно-фізичні та фізико-механічні властивості ґрунтів, збагачених мулистою фракцією, в значній мірі визначаються здатністю їх коагулювати та склеювати механічні елементи в агрегати (зокрема в мікроагрегати). Дана властивість залежить від мінералогічного та хімічного складу ґрунтів, збагаченості гуму-

сом, сполуками заліза та кальцію, від складу поглинутих катіонів. Структурний ґрунт навіть при високому вмісті мулу характеризується сприятливими фізичними властивостями [229, 127].

Отже, мул бере участь в усіх процесах, що відбуваються в ґрунті, а його вміст визначає практично всі генетичні характеристики ґрунту. Існує кореляційний зв'язок деяких ґрунтових властивостей (потужність гумусованого горизонту, вміст гумусу, обмінного кальцію, магнію, кислотність, щільність і ін.) та вмісту в ґрунті мулу. В мулистій фракції зосереджений майже весь гумус, азот, багато фосфору та інші життєво необхідні для рослин елементи [153].

Із збільшенням вмісту мулистих частинок збільшується і потенційна родючість ґрунту, однак вона залежить і від його фізичного стану. Важкі глинисті ґрунти через погані фізичні властивості є малопридатними для вирощування сільськогосподарських культур. Чим легший гранулометричний склад, тим менша кількість в ґрунті елементів живлення рослин та гумусу [35, 129, 153].

Хоча гранулометричний склад є одним з найбільш інерційних показників, при високому насиченні ґрунту біотою (червами), як показали дослідження Т.Темирова, Б.Батахмедова, И.С.Алоева [285], значно зростає вміст дрібнодисперсних фракцій.

В залежності від гранулометричного складу змінюються умови обробітку, строки польових робіт, норми добрив тощо [180]. Ґрунти піщані і супіщані легко піддаються обробітку, володіють доброю водопроникністю та сприятливим повітряним режимом, швидко прогріваються, але вони збіднені гумусом та елементами живлення рослин, володіють незначною поглинальною здатністю, легко піддаються вітровій ерозії.

Не зважаючи на високу пристосованість рослин до ґрунтів різного гранулометричного складу, є визначений оптимум для кожної групи культур, що слід враховувати при розробці заходів по раціональному використанню земель та підвищенню їх родючості [161, 35, 180, 184].

Гранулометричні елементи ґрунту, злипаючись один з одним, або скріп-

люючись з мінералами чи органічними колоїдами, утворюють мікроагрегати. Останні, з'єднуючись між собою, здатні створювати макроагрегати, що забезпечує оптимальний водно-повітряний режим ґрунту та високу протиерозійну стійкість. Мікроагрегати, особливо розміром від 0.05 до 0.25 мм, сприятливо впливають на родючість ґрунту, але не забезпечують таких позитивних параметрів властивостей ґрунту як агрегати макроструктури [229].

Отже, від гранулометричного та мікроагрегатного складів ґрунтоутворюючих порід та ґрунтів в значній мірі залежить інтенсивність ґрунтоутворних процесів, що пов'язані з перетворенням, переміщенням та накопиченням органічних і мінеральних сполук в ґрунті. Гранулометричний та мікроагрегатний склади здійснюють суттєвий вплив на водно-фізичні, фізико-механічні, теплові, повітряні властивості, окисно-відновні умови, поглинальну здатність, накопичення в ґрунті гумусу, зольних елементів та азоту, тобто тих всіх властивостей, які визначають родючість ґрунту.

Параметри ґрунтового вбирного комплексу. Реакція ґрунтового середовища – один з головних показників рівня родючості ґрунту для більшості сільськогосподарських культур. Вона є інтегральним показником цілого комплексу властивостей ґрунту, від яких залежить формування врожаю: вміст доступних для рослин форм азоту, фосфору і калію, мікроелементів, рухомість алюмінію, склад мікрофлори, фізичні та агрохімічні властивості ґрунту [331, 315, 115, 179].

Від реакції середовища значною мірою залежить швидкість і спрямованість хімічних та біологічних процесів, які відбуваються в ґрунті, ріст і розвиток рослин та ґрунтових мікроорганізмів, надходження іонів в рослину [227].

Більшість рослин найкраще розвиваються і формують високі врожаї при нейтральній та слаболужній реакціях середовища, однак рослини ацидофіли (конюшина, люпин, чай тощо) потребують кислих умов і не переносять надлишку кальцію [23, 161, 72, 35].

Від ємності поглинання ґрунту залежать сорбційні процеси, які відіграють велике значення в закріпленні елементів живлення в кореневмісному шарі ґрунту; тому дані речовини не вимиваються з ґрунтового профілю, а навпаки, акумулюються в ньому та використовуються рослинами. Ґрунти з більшою ємністю поглинання містять більше увібраних та необхідних для рослин поживних речовин [268].

Лужна реакція властива засоленим і солонцюватим ґрунтам, яким характерні незадовільні фізичні властивості, безструктурність. Останнє зумовлене підвищеним вмістом у вбирному комплексі катіонів натрію. При зволоженні солонцюваті ґрунти запливають, а при висушуванні перетворюються в щільну брилисту масу, що утруднює проникнення коренів рослин [95].

Ґрунти з кислою реакцією збіднені основами (в першу чергу кальцієм і магнієм), характеризуються невисокою ємністю поглинання, низькою буферністю, поганою структурою. За умов кислої реакції в ґрунті посилено розвиваються збудники різних хвороб сільськогосподарських рослин, знижується або зовсім припиняється фіксація азоту, рухомі сполуки фосфору зв'язуються з півтораоксидами заліза і алюмінію, утворюючи важкодоступні для рослин сполуки фосфатів. Все це негативно впливає на умови живлення рослин [178, 315, 124].

Характер та ступінь насиченості поглинального комплексу кальцієм визначає здатність ґрунту утримувати елементи живлення від вимивання, буферність та фізичні властивості ґрунту [160]. При застосуванні певної дози вапна практично нейтралізуються актуальна та обмінна кислотності, різко зменшується величина гідролітичної кислотності, збільшується вміст водорозчинного і обмінного кальцію і ступінь насиченості ґрунту основами [249, 197, 134]. Крім того, зменшується надходження в корені іонів H^+ і Al^{3+} , і знижується їх негативна дія на рослину; в ґрунті нагромаджується більше доступних для рослин форм поживних речовин, а кислотність наближається до нейтрального значення рН. Після вапнування, сільськогосподарські рослини продуктивніше викорис-

товують внесені в ґрунт органічні і мінеральні добрива. Все це позитивно впливає на їх ріст і розвиток, нагромадження в них біологічно активних речовин, підвищення урожайності та поліпшення якості одержаної продукції [298, 293, 153].

Гідрологічні та температурні умови. Погодні умови – це один з головних, а в окремих випадках – вирішальний фактор одержання високих врожаїв. Найбільш важливими метеорологічними показниками, що впливають на ефективність внесення добрив і підвищення урожайності сільськогосподарських культур є температура, опади, відносна вологість повітря. Екстремальні умови, особливо висока температура, нестача вологи негативно впливають не тільки на ріст і розвиток рослин, але й на ефективність добрив [298, 99, 294].

Гальмування росту та розвитку, як показали дані А.В.Уласевича [296] в суглинкових ґрунтах для більшості сільськогосподарських культур починається при вологості більш високій, ніж вологість в'янення і рівній біля 70% від граничної польової вологості (ПВ). Як виявилось пізніше, ця величина рівна відкритій М.М.Абрамовою [1] вологості розриву капілярних зв'язків (ВРКЗ). Найкращі умови для розвитку рослин складаються при деякому інтервалі вологостей, коли корені рослин та ґрунтова мікрофлора постачається достатньою кількістю повітря та рухливої вологи. В.А.Уласевич [296] виділяє його в межах 70-80% від ПВ для ґрунтів середнього гранулометричного складу.

При вирішенні питань про районування території і розробці технологій вирощування сільськогосподарських культур, необхідно мати інформацію про зволоження ґрунту в найбільш критичні періоди росту і розвитку культур [133].

Посушливі умови негативно впливають на врожайність. Так приріст врожаю від добрив у засушливі роки знижується на 50% і більше, оскільки при нестачі вологи в ґрунті пригнічуються фізіологічні процеси у рослині, збільшується концентрація ґрунтового розчину, що негативно впливає на обмінну здатність кореневої системи [44, 170, 171].

Рівень накопичення продуктивної вологи в ґрунті залежить від середньо-

добових та середньорічних температур повітря та ґрунту, середньомісячних та середньорічних сум опадів і показників сумарної радіації [308, 133, 273].

Тепловий стан середовища є необхідним і незамінним фактором життя рослин, оскільки ріст і розвиток їх проходить лише в певному температурному інтервалі, який для більшості культурних рослин становить 1-45°C, хоча найоптимальнішим є діапазон 15-25°C [272, 208].

Тривалість теплового періоду року взагалі і вегетаційного зокрема є важливою характеристикою теплового режиму території відносно вирощуваних сільськогосподарських культур. Чим він триваліший, тим вищою є роль температури за умов забезпечення іншими факторами життя, тим набір вирощуваних культур різноманітніший, тим якісніша отримується сільськогосподарська продукція. Тепловий режим ґрунту разом із водним і повітряним має великий вплив на ґрунтоутворюючий процес, родючість ґрунту і продуктивність рослин [293, 294].

Веgetаційний період більшості сільськогосподарських культур обмежується кількістю днів із середньодобовими температурами повітря, які перейшли через +5°C, а для теплолюбних культур – переходами через +10°C. Кількість днів з температурою, вищою за +15°C називають періодом найбільш активної вегетації рослин [272, 308].

Суми температур періоду вегетації поєднують в собі тривалість вегетаційного періоду і середню його температуру. Тривалість біохімічних та біофізичних процесів, які визначають родючість ґрунту, пов'язана з тривалістю періоду вегетації; швидкість руху елементів, а значить швидкість фотосинтезу – з рівнем температури. Характер зв'язку продуктивності культур з тривалістю основного періоду вегетації аналогічний зв'язку продуктивності з сумою температур [272, 6].

В агрометеорології, ґрунтознавстві та землеробстві для комплексної оцінки умов зволоження певної території використовують гідротермічний коефіцієнт Селянинова (ГТК) – відношення суми опадів за період із середньодобовою

температурою більше 10°C до суми температур за той же період [54, 272, 308]. Для оцінки умов зволоженості встановлені градації цього показника для сільськогосподарських культур: менше 0.7 – дуже посушливі умови; 0.7-1.0 – посушливі; 1.0-1.3 – недостатньо зволожені; 1.3-1.6 – вологі; 1.6-2.0 – дуже вологі; більше 2.0 – надлишково зволожені. Для більшості сільськогосподарських культур значення ГТК 1.0-1.5 можна вважати оптимальним. Однак на Україні райони з такими умовами обмежені, тому вирощування культур здійснюється при тих умовах, які відхиляються від оптимальних [272, 6].

Рівень ґрунтових вод (ГВ) в природних умовах в залежності від змін метеорологічних факторів (випаровування і опади) підлягає постійним коливанням, однак при глибині залягання менше 5 м до поверхні, за винятком ґрунтів піщаного і супіщаного гранулометричного складу, саме вони мають визначальний вплив на повітряний і водний режими ґрунтів [35].

Мінералізація (засоленість) ґрунтових вод – її екологічне значення проявляється тільки при умові, коли рівень ґрунтових вод ближче 5 м до поверхні ґрунту, тобто коли стає можливим засолення ґрунту [6].

Отже, важливою умовою у формуванні врожаю сільськогосподарських культур є забезпечення теплом, вологою та в окремих випадках – мінералізація ґрунтових вод, що за відсутності стихійних явищ та сприятливому поєднанні цих факторів дозволяє отримати максимальний урожай.

Елементи живлення відносяться до агрохімічних показників родючості ґрунту, тобто це вміст доступних форм азоту, фосфору, калію [57, 118, 196, 215, 81].

Нестача будь-якого елемента призводить до порушення обміну речовин та фізіологічних процесів у рослині, а при гострому дефіциті елементів живлення з'являються характерні ознаки голодування [268, 111].

Рівень азотного живлення визначає розміри та інтенсивність синтезу білка та інших азотистих органічних сполук в рослині, ростові процеси. Слабке формування фотосинтезуючого апарату в результаті дефіциту азоту, в свою чергу

обмежує утворення органів плодоношення та призводить до зниження урожаю і зменшення кількості білку в продукції [268, 118, 56].

Фосфор входить до складних білків, відіграє велику роль в процесах обміну речовин та енергії в рослинних організмах. Його нестача гальмує ріст і розвиток рослин (особливо утворення репродуктивних органів), затримує дозрівання, знижує врожай та погіршує його якість. Фосфор обумовлює використання інших елементів живлення з ґрунту [302, 268, 50, 214, 215].

Відомо, що початковий період розвитку рослин є найбільш критичним до умов фосфорного живлення. Дефіцит фосфору в цей період настільки сильно гальмує процеси біосинтезу, що його неможливо в подальшому компенсувати покращенням фосфорного живлення [115, 5, 116]. Оптимізація його сприяє кращому розвитку кореневої системи рослини – вона сильніше галузиться і глибше проникає в ґрунт, що покращує постачання рослин поживними речовинами [188]. Тому необхідно створювати оптимальний фосфорний режим для вирощування сільськогосподарських культур протягом всієї вегетації.

На відміну від азоту, запаси якого в ґрунті поповнюються ще й шляхом активізації процесів симбіотичної і асоціативної азотфіксації, оптимізація фосфорного режиму ґрунту здійснюється виключно застосуванням мінеральних і органічних добрив [32, 211, 117]. Тому важливим завданням є пошук шляхів збільшення рухомості природних фосфатів і покращення фосфорного живлення рослин шляхом застосування ефективних агрозаходів, які, не потребуючи великих затрат засобів і праці, сприяли б підвищенню родючості ґрунтів, попереджували ерозійні процеси і тим самим збільшували врожайність сільськогосподарських культур [210].

Екологічне значення калію для вирощування сільськогосподарських культур полягає в тому, що він бере участь в вуглеводному обміні і підвищує стійкість рослин до несприятливих погодних умов. Калій в значній мірі запобігає виляганню рослин, сприяючи кращому розвитку механічних тканин, обмежує вразливість захворюваннями і шкідниками. Від калійного живлення значно залежить продуктивність і, особливо, якість урожаю рослин-калієфілів: цукрово-

го буряка, картоплі, овочевих культур [268, 228, 118, 56, 6].

При нестачі калію затримується синтез білків, посилюється їх розпад і накопичується небілковий азот, що створює сприятливі умови для розвитку в тканинах рослин різних патогенних грибів і бактерій. Зерновим культурам калій необхідний з першого дня росту до цвітіння, однак найбільше – у фазу виходу в трубку і колосіння. Нестача калію в ґрунті посилює полягання хлібів і ураження їх іржею [188]. Основними шляхами регулювання калійного режиму ґрунту є внесення органічних та мінеральних добрив [5, 171, 172] та агротехнічні заходи [112, 54].

Отже, розглянуті рівноважна щільність, гумусний стан, гранулометричний склад, параметри ґрунтового вбирного комплексу, гідрологічні та температурні умови, поживний режим в основному визначають рівень продуктивності рослин, що обумовлює їх включення до моделей ґрунтової родючості для адекватного опису потенційної та ефективної її форм.

Тому, з наведених факторів ми вибрали ті, які найбільше впливають на продуктивність конкретних культур. Нижченаведений ряд ґрунтових показників з достатньою точністю описує всі ґрунтові параметри і режими або безпосередньо, або за рахунок взаємокореляцій, що показано в підрозділі 4.1: вміст гумусу, глибина гумусованого шару, гранулометричний склад, рН сольової витяжки, рівноважна щільність, вміст легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору, обмінного калію. Згадані ґрунтові фактори та такі клімато-метеорологічні показники, як сума активних температур періоду вегетації, гідротермічний коефіцієнт (ГТК), температура при появі сходів та формуванні генеративних органів, на наш погляд, майже повністю охоплюють вимоги рослин до факторів життя. Така кількість показників (всього 12) є цілком достатньою, як обґрунтовано раніше (підрозділ 4.1), для достовірного опису умов росту та розвитку будь-якої культури.

Розширені варіанти шкал виділених факторів родючості та розраховані відповідні їм рівняння апроксимації (згідно розробленої методики) для озимої пшениці та цукрового буряка наведені у додатках Б4 і В4.

4.3.1. ОЗИМА ПШЕНИЦЯ НА ЧОРНОЗЕМАХ ОПІДЗОЛЕНИХ

Чорноземам опідзоленим Кіцманської державної сортовипробувальної ділянки відповідають агрохімічні показники, наведені у табл. 4.4. Для розрахунку їх значень у роки, коли не проводилося агрохімічне обстеження пропонуються інтерполяційно-екстраполяційні регресійні моделі (додат. А4).

Метеорологічні показники території дослідження за ряд років відображені у табл. 4.5. Агрокліматичні показники розраховані за періоди з активною вегетацією озимої пшениці, тобто в середньому з II-ї декади вересня по III-ю декаду жовтня та III-ї декади березня по II-III декади липня. Цим і обумовлюється відносно невелике значення суми температур та суми опадів. Зауважимо, що при розрахунку суми активних температур за весь теплий період року, її величина сягає відомих середньобогаторічних значень, відомих з літератури [4, 97, 239].

З метою порівняння вкладу кожного з факторів родючості у величину урожаю (додат. Г4) та наступного усереднення пронормували їх згідно методики, описаної в підрозділі 4.1. за допомогою рівнянь, наведених у додатку В4.

Для встановлення достовірності та відповідності нормованих величин їх абсолютним значенням (табл. 4.6) провели кореляційний аналіз залежності врожайності озимої пшениці від досліджуваних показників (табл. 4.7).

Врожайність озимої пшениці на чорноземі опідзоленому Кіцманської сортоділянки за період 1992-2000 р., як показує лінія тренда, прогресивно зменшувалася (рис. 4.10). Це зумовлено рядом причин, основною з яких є недотримання запланованої системи удобрення. Як засвідчено у відповідних актах, останній раз повний набір NPK вносився у 1993 році, у 1994 році внесли половину від запланованої норми фосфору і калію та десяту частину – азоту, а починаючи з 1995 року, вносили лише по 10-15 кг діючої речовини фосфору при посіві. Отже, в 1995-2000 роках урожайність отримувалася практично за рахунок природної родючості ґрунту. Це супроводжується різким зниженням запа-

Таблиця 4.4

**Агрохімічна характеристика чорноземів опідзолених
(Кіцманська державна сортовипробувальна діляниця)**

Поле	Площа, га	Вміст гуму- су, %		Вміст легко- гідролізова- ного азоту.		Вміст рухомого фосфору			Вміст обмінного калію			рН(KCl)		Гідролітична кислотність (H _r)		Сума ввіб- раних основ (S)		Ступінь на- сиченості основами (V), %	
				1991	1997	1965	1991	1997	1965	1991	1997			1991	1997	1991	1997		
		мг/100 г ґрунту											мг-екв/100 г ґрунту						
1	11,0	3,0	2,7	14,0	8,5	11,5	18,8	15,9	13,6	17,1	12,4	6,1	5,8	2,2	3,5	21,9	19,3	90,9	84,6
2	9,3	2,9	2,4	12,8	9,5	15,8	18,7	16,4	9,7	15,7	11,1	6,2	5,8	2,5	3,6	22,9	20,7	90,2	85,2
3	10,3	2,1	1,8	12,7	10,5	16,3	19,1	16,0	14,5	17,7	13,1	6,3	5,8	2,9	4,2	23,0	20,5	88,8	83,0
4	10,0	2,2	2,0	11,4	10,3	15,5	17,1	15,7	12,6	15,2	11,0	6,1	5,5	2,5	4,1	21,0	19,8	89,4	82,8
5	10,4	2,5	2,3	12,7	12,3	14,0	18,8	15,7	11,5	17,9	12,5	6,1	5,7	2,1	3,9	22,0	21,2	91,3	84,5
6	10,0	2,5	2,2	12,0	10,5	13,9	19,0	16,4	13,3	16,7	11,7	5,7	5,4	2,5	3,9	20,5	19,8	89,1	83,5
7	9,9	1,8	1,6	10,9	10,4	12,7	18,6	15,8	12,8	17,6	12,0	6,1	5,9	1,9	2,6	23,8	19,9	92,6	88,4
8	9,8	1,8	1,4	12,6	10,5	12,8	14,6	12,4	12,2	16,0	10,9	6,0	5,6	1,9	2,8	27,5	22,0	93,5	88,7
9	9,8	2,7	2,4	12,0	10,1	13,3	19,4	17,3	12,3	18,6	12,4	5,8	5,6	2,9	3,4	22,8	21,2	88,7	86,2
10	9,7	2,4	2,2	11,3	10,1	13,6	16,8	14,5	10,4	15,9	10,8	5,7	5,2	2,6	5,0	23,0	19,8	89,8	79,8
Середнє:	10,0	2,4	2,1	12,3	10,3	13,9	18,1	15,6	12,3	16,9	11,8	6,0	5,6	2,4	3,7	22,8	20,4	90,4	84,7

Таблиця 4.5

Метеорологічні показники території досліджень

Роки	Період з середньодобовими температурами >10 °С			Період з середньодобовими температурами >5 °С			Середньодобова температура, °С	
	Сума опадів, мм	Сума активних температур періоду вегетації	ГТК	Сума опадів, мм	Сума ефективних температур, °С	ГТК'	при появі сходів	при формуванні продуктивних органів

Озима пшениця, Кіцманська держсортодільниця

1992	242	1773	1,36	323	2418	1,34	12,3	16,0
1993	314	1847	1,70	406	2405	1,69	11,0	17,6
1994	334	2124	1,57	359	2381	1,51	12,0	16,2
1995	242	1722	1,41	297	2079	1,43	13,2	17,0
1996	228	1967	1,16	257	2168	1,19	12,5	18,6
1997	298	1569	1,90	386	2004	1,93	10,0	16,0
1998	372	1927	1,93	448	2227	2,01	11,0	17,0
1999	280	1556	1,80	406	1897	2,14	12,0	14,0
2000	453	2048	2,21	526	2375	2,21	11,2	17,5

Таблиця 4.6

Абсолютні та нормовані значення ознак і відповідний їм узагальнений показник
родючості ґрунту за період досліджень

№ поля	Рік	рН(KCl)		Вміст гумусу		Глибина гумусованого шару		Вміст лужно-гідролізованого азоту		Вміст рухомого фосфору		Вміст обмінного калью		Рівноважна щільність		Гранулометричний склад (вміст фізичної глини)		ГТК*		Сума ефективних температур		Середньодобова температура при появі сходів		*Середньодобова температура при формуванні генеративних органів		УПРГ (загальний)		УПРГ (ґрунтовий)	
		одиниці рН	бал	%	бал	см	бал	мг/100 г ґрунту	бал	мг/100 г ґрунту	бал	мг/100 г ґрунту	бал	г/см ³	бал	%	бал	число	бал	°C	бал	°C	бал	°C	бал	бал	бал	бал	

Озима пшениця, Кіцманська держсортодільниця

5	1992	6,0	74	2,5	62	95	100	12,6	68	18,2	93	17,0	80	1,35	80	45	97	1,34	48	2418	100	12,3	100	16,0	80	78,1	79,7
1	1993	6,0	74	2,9	70	85	100	12,1	66	17,9	92	15,6	76	1,35	80	45	97	1,69	99	2405	100	11,0	97	17,6	95	85,3	80,2
9	1994	5,8	63	2,6	64	95	100	11,0	62	18,4	94	15,6	76	1,35	80	45	97	1,51	74	2381	100	12,0	100	16,2	82	80,0	76,8
4	1995	5,7	56	2,1	53	85	100	10,7	61	16,2	85	12,4	66	1,37	75	45	97	1,43	62	2079	100	13,2	100	17,0	89	74,5	70,4
6	1996	5,4	37	2,2	55	80	95	10,8	62	16,9	88	12,6	67	1,38	72	45	97	1,19	25	2168	100	12,5	100	18,6	93	62,1	65,4
3	1997	5,8	63	1,8	45	80	95	10,5	60	16,0	84	13,1	69	1,38	72	45	97	1,93	72	2004	100	10,0	93	16,0	80	73,6	69,0
10	1998	5,2	25	2,2	55	95	100	9,9	58	14,2	77	10,0	58	1,38	72	45	97	2,01	65	2227	100	11,0	97	17,0	89	64,3	57,2
7	1999	5,9	69	1,6	39	85	100	10,3	60	14,8	79	10,2	59	1,40	66	45	97	2,14	56	1897	97	12,0	100	14,0	66	68,5	65,6
8	2000	5,3	31	1,1	23	80	95	9,5	56	11,3	65	8,3	51	1,41	63	45	97	2,21	52	2375	100	11,2	98	17,5	94	55,7	48,4

* - для озимої пшениці: температура при цвітінні і запиленні, °C; для цукрового буряка: температура в період основного наростання коренеплодів, °C

Таблиця 4.7

Результати кореляційного аналізу взаємозв'язків урожайності озимої пшениці з факторами родючості (Кіцманська держсортодільниця, чорноземи опідзолені)

№ п/п	Фактор родючості, одиниці вимірювання	Коефіцієнт кореляції	
		абсолютне значення показника (R)	нормоване значення показника (R _n)
1.	Вміст гумусу, %	0,77	0,76
2.	Потужність гумусованого шару, см	0,23	0,32
3.	Гранулометричний склад (вміст фізичної глини), %	-0,51	-0,51
4.	pH(KCl)	0,59	0,58
5.	Рівноважна щільність, г/см ³	-0,86	0,86
6.	Легкогідролізований азот, мг/100 г ґрунту	0,76	0,73
7.	Рухомий фосфор, мг/100 г ґрунту	0,80	0,80
8.	Обмінний калій, мг/100 г ґрунту	0,86	0,86
9.	Сума активних температур, °C (>10°C)	0,01	0,02
10.	Сума ефективних температур, °C (>5°C)	0,27	0,39
11.	Температура при появі сходів, °C	-0,03	-0,18
12.	Температура при формуванні генеративних органів (цвітінні і запиленні), °C	0,16	0,18
13.	Опади за період вегетації з t>10°C	-0,37	не визначали
14.	Опади за період вегетації з t>5°C	-0,46	не визначали
15.	Гідротермічний коефіцієнт за період з t>10°C (ГТК(1); ГТК(2))	-0,44	0,42; 0,43
16.	Модифікований гідротермічний коефіцієнт за період з t>5°C (ГТК'(1); ГТК'(2))	-0,57	0,57; 0,69

Примітка: ГТК(1) – ГТК, прономований за шкалою (1) В.В.Медведєва (1997); ГТК(2) – нормований ГТК за модифікованою шкалою (2)

сів поживних речовин та вмісту гумусу, обмінних основ, величини рН, ступеня насиченості основами та зумовлює різко від'ємний баланс гумусу у сівозміні (табл. 4.4).

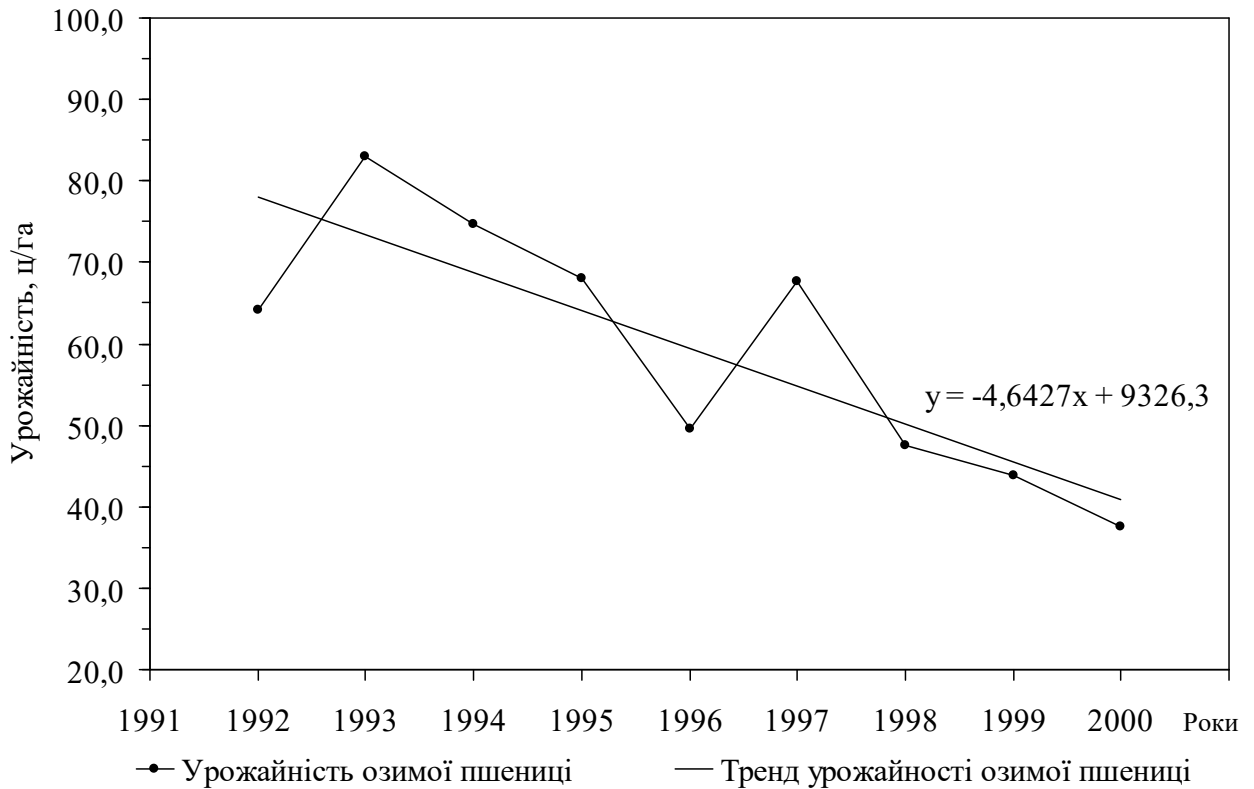


Рис. 4.10. Динаміка врожайності озимої пшениці на чорноземі опідзоленому по Кі-цманській сортодільниці за період 1992-2000 рр. (попередник - горох)

З даних по вмісту рухомого фосфору та обмінного калію за період 1965-1997 рр. видно, що 26-річне нарощування об'ємів внесення добрив сприяло підвищенню вмісту доступних елементів живлення, а лише 8-річне їх невикористання звело нанівець багаторічні зусилля по оптимізації агрохімічних показників родючості ґрунту (табл. 4.4).

Апроксимувавши дані агрохімічного обстеження 1991 та 1997 років прямолінійною залежністю, отримали лінійні рівняння регресії, які дозволяють розрахувати значення ознак за будь-який проміжний рік та одержати короткостроковий прогноз на 2-3 роки (додат. А4).

Отже, прогресивне зменшення урожайності є наслідком погіршення агрохімічних та фізико-хімічних властивостей ґрунту. А от відхилення урожайності в більшу чи меншу сторону від лінії тренду обумовлюються, на наш погляд, особливо сприятливими чи навпаки, несприятливими кліматичними умовами конкретного року (табл. 4.5). Розглянемо їх детальніше.

На продуктивність пшениці суттєво впливає теплозабезпеченість, об'єктивним критерієм якої є сума активних температур. Згідно нього запропоновано відповідну шкалу нормування [6]. Однак, вегетація озимої пшениці проходить досить активно вже при температурах вище 5°C. Кореляційним аналізом виявлено, що саме сума ефективних температур значно сильніше корелює з урожайністю (рис. 4.11; табл. 4.7), особливо після нормування цього показника. Тому в подальших розрахунках будемо використовувати саме його.

Вищу тісноту зв'язку одержано також між сумою опадів за період ефективних температур та врожайністю, ніж сумою опадів за період активних температур (рис. 4.12). Нормування для даного фактора вважаємо недоцільним, оскільки урожайність залежить не стільки від самої суми опадів, скільки від запасів продуктивної вологи в ґрунті, а остання, крім того, є функцією від гранулометричного складу і температури. Проте, сума опадів використовується для розрахунку гідротермічного коефіцієнту (ГТК), величина якого показує наскільки умови території є посушливими, чи навпаки – вологими і є одним з факторів, який викликає варіювання урожайності. Відомо, що розраховується він як від-

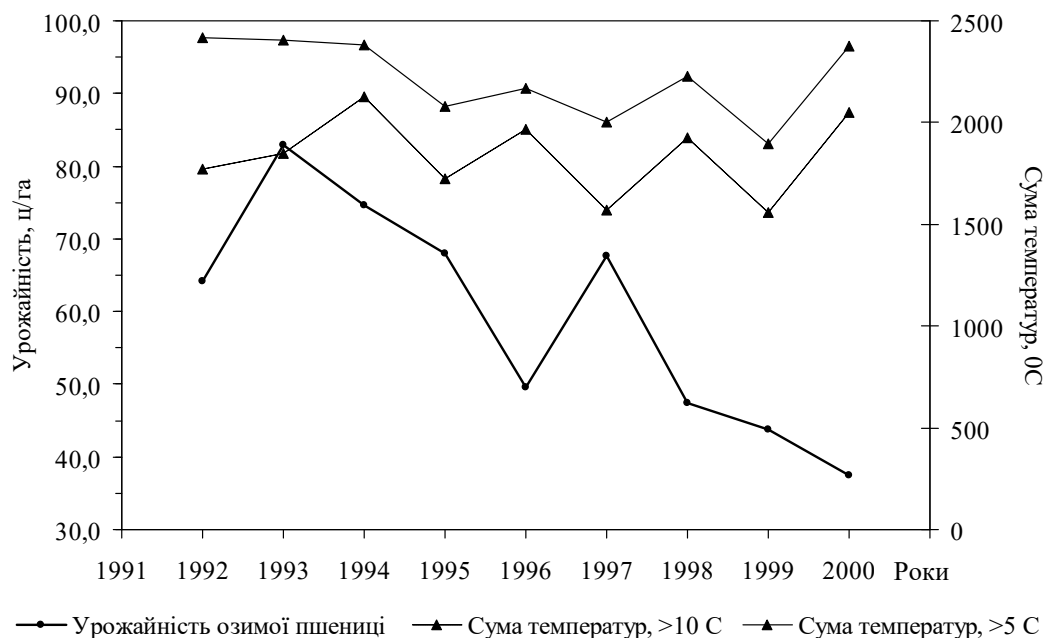


Рис. 4.11. Динаміка врожайності озимої пшениці на чорноземі опідзоленому та суми активних і ефективних температур за вегетацію по Кіцманській сортодільниці за період 1992-2000 рр.

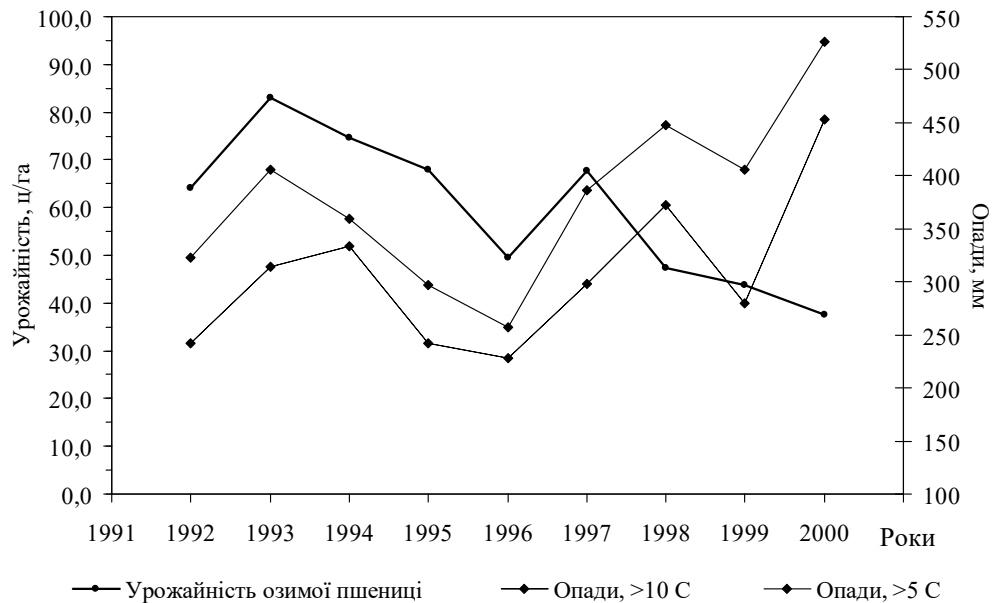


Рис. 4.12. Динаміка врожайності озимої пшениці на чорноземі опідзоленому та суми опадів за вегетацію по Кіцманській сортодільниці за період 1992-2000 рр.

ношення суми опадів до 0.1 суми активних температур. Оскільки вегетація озимої пшениці, як зазначалось вище, відновлюється при температурах вищих 5°C, то ми розрахували і пропонуємо аналогічний показник, до якого входять ті ж складники, але взяті за період з температурою більше 5°C (ГТК'). Добре прослідковується синхронність динаміки врожайності та цих показників (рис. 4.13).

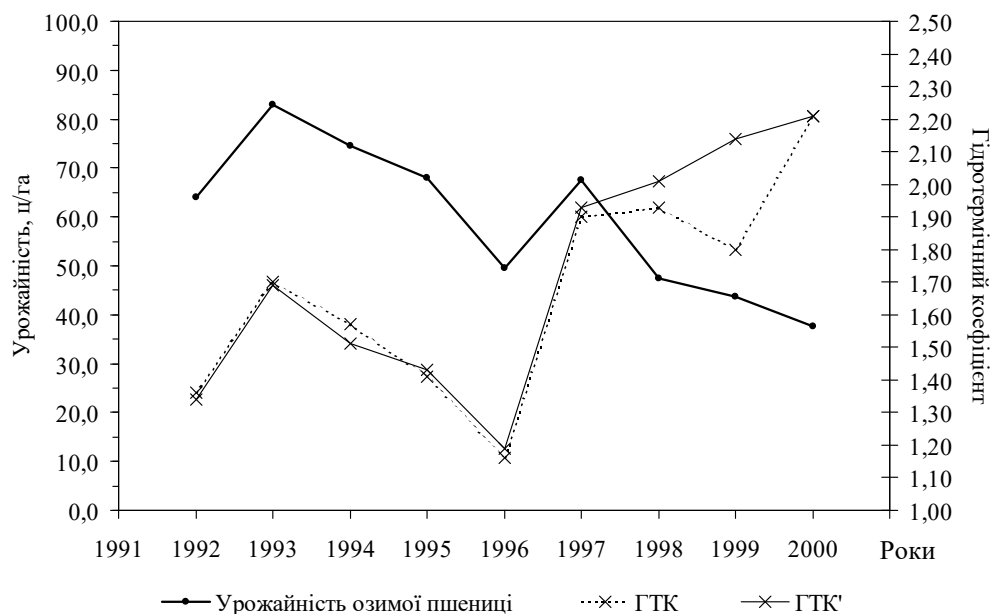


Рис. 4.13. Динаміка врожайності озимої пшениці та гідротермічних коефіцієнтів за вегетацію по Кіцманській сортодільниці за період 1992-2000 рр.

Однак тіснота зв'язку врожайності з ГТК нижча, ніж з ГТК' (-0.44 та -0.57 відповідно). Пронормувавши отримані гідротермічні коефіцієнти згідно шкали, запропонованої В.В.Медведевим [6], отримали подібні результати (табл. 4.7). Аналізуючи рис. 4.13 видно, що максимальна врожайність отримана в 1993 році, що пов'язано, на наш погляд, з найоптимальнішими умовами зволоження (при ГТК=1.70). Тому для відповідності шкали найвищій продуктивності озимої пшениці, ми змістили її вихідне значення на 0.65 одиниць вправо, що є вірним по крайній мірі для Західного Лісостепу й Передкарпаття України.

Наступним етапом було нормування ГТК і ГТК' у вихідній (1) та модифікованій нами (2) шкалі, та проведення кореляційного аналізу їх зв'язку з урожайністю. Виявилось, що проявляється певна узгодженість у динаміці цих показників та урожайності (рис. 4.14), а величина коефіцієнта кореляції не залежить від використаної шкали для нормування ГТК: для ГТК(1) $R=0.42$, для ГТК(2) $R=0.43$ при коефіцієнті кореляції з неперетвореним гідротермічним коефіцієнтом – -0.44 .

Відмінність у величинах нормованих ГТК та їх різнобій зумовлені в першу чергу двосторонністю досліджуваного фактора, а деяка схожість варіювання

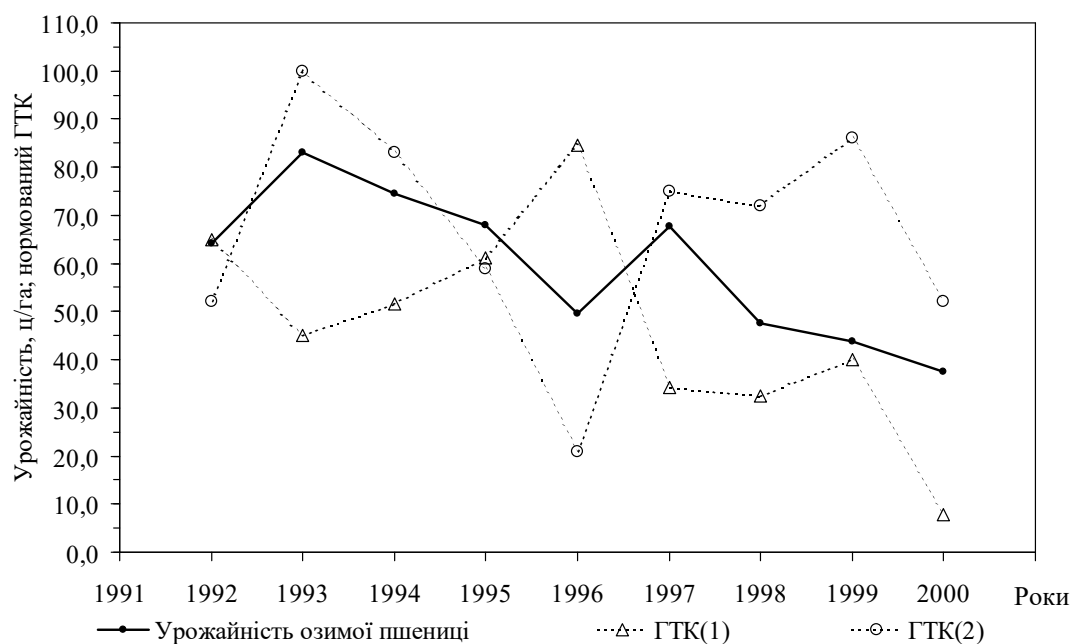


Рис. 4.14. Динаміка врожайності озимої пшениці та нормованого ГТК за вегетацію по Кіцманській сортодільниці за період 1992-2000 рр.

нормованого ГТК(2) з варіюванням урожайності дозволяє сподіватися на ще більшу достовірність опису при використанні ГТК'. І дійсно, високе значення коефіцієнта кореляції ($R_n=0.69$) між врожайністю і ГТК'(2) виводить його в найголовніший кліматичний показник, що спричинює варіювання урожайності (по крайній мірі в рамках досліджуваної вибірки).

Тенденція зміни ГТК'(2) практично тотожна змінам врожайності, на противагу ГТК'(1), що, на нашу думку, підтверджує правильність модифікації вихідної шкали (додат. Б4) стосовно кращого опису залежності врожайності від умов зволоженості (рис. 4.15).

Нормування інших показників, які включаються в модель згідно запропонованої вище методики, не викликало ніяких ускладнень, і не призводило до зменшення тісноти зв'язку між нормованим показником і урожайністю в порівнянні з ненормованим. Це вказує на те, що розроблена та удосконалена шкали добре описують вимоги озимої пшениці.

Розглянемо більш детально залежності між врожайністю та ґрунтовими факторами. З даних табл. 4.7 видно, що вміст гумусу сильно впливає на коли-

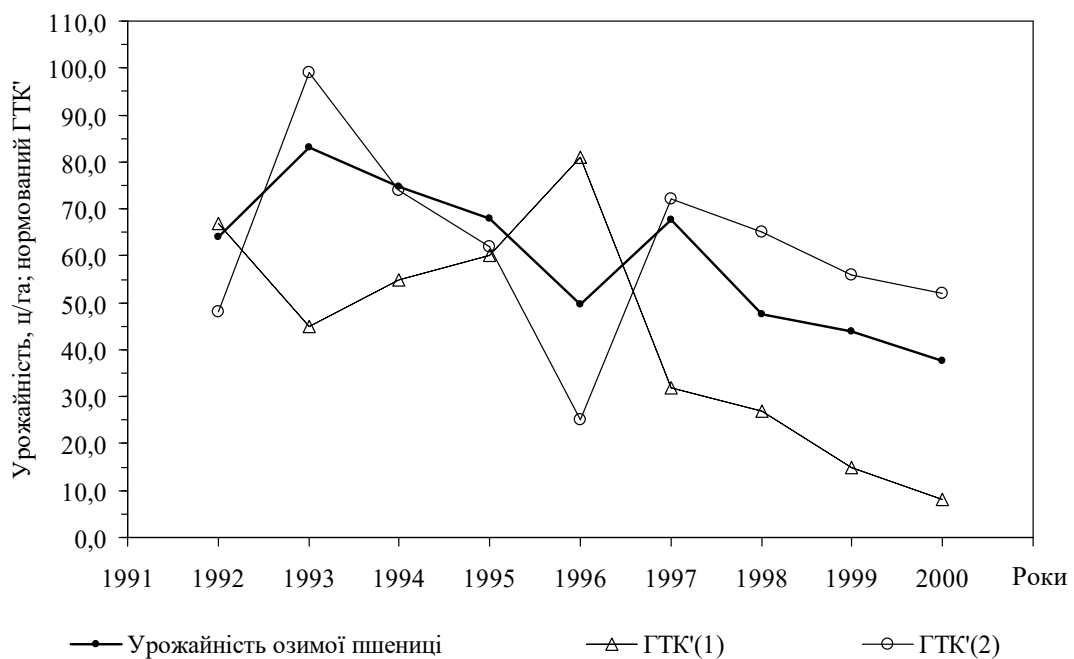


Рис. 4.15. Динаміка врожайності озимої пшениці та нормованого ГТК' за вегетацію по Кіцманській сортодільниці за період 1992-2000 рр.

вання урожайності (R і R_n становлять відповідно 0.77 та 0.76). Практична рівність коефіцієнтів між собою означає правильність опису шкалою нормування вимог культури до цього показника. У випадку підвищення тісноти зв'язку урожайності з нормованим значенням параметру робимо висновок про скритий характер залежності, який викривається при нормуванні, що видно на прикладі такого фактору, як потужність гумусованого шару ($R=0.23$, $R_n=0.32$). При цьому мала величина коефіцієнта кореляції зовсім не свідчить про неважливість фактора, оскільки цей показник, як і будь-який інший, може варіювати в широких межах в оптимальній зоні, коли його значення становить 100 балів, при цьому спостерігатиметься, на перший погляд, “незалежне” варіювання між ним і урожайністю, хоча насправді це не так. Тому, виходячи з цього, мале значення коефіцієнта кореляції не буде причиною його виключення з моделі.

Рівноважна щільність також є одним з визначальних факторів, що сильно впливають на зміни урожайності ($R=-0.86$, $R_n=0.86$). І дійсно, ґрунти є занадто ущільненими (табл. 4.6) і при зменшенні абсолютних значень щільності, урожайність підвищується. При цьому зростає бальна оцінка ґрунту по цьому фактору, що підтверджується коефіцієнтом кореляції ($R_n=0.86$), а саме зміною його знаку на протилежний. Реакція ґрунтового розчину, а також вміст легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію теж достовірно описуються вибраною шкалою, висока тіснота зв'язку з якими свідчить про їх визначальну роль у формуванні врожайності (табл. 4.7).

Отже, використання раніше розроблених та удосконалених нами шкал нормування окремих факторів родючості дозволяє добре описувати вимоги озимої пшениці до умов її росту і розвитку, а вибрана сукупність факторів досить повно характеризує майже всі агроєкологічні потреби рослин. Детальний її розгляд дозволяє виділити показники, які дещо лімітують урожайність в роки з найбільшим її рівнем – кислотність ґрунту (74% від теоретичного оптимуму), вміст гумусу (70%), легкогідролізованого азоту (66%), обмінного калію (76%) та ті з них, які сильно обмежили продуктивність в роки з найнижчим рівнем

урожайності – рН (31%), вміст гумусу (23%), доступних форм азоту, фосфору та калію (56, 65 і 51% відповідно), рівноважна щільність (63%) та зволоженість (52%) (рис. 4.16). Аналіз всієї сукупності факторів родючості (рис. 4.16) дозволяє запропонувати ряд агрохімічних та агротехнічних заходів для покращення ґрунтових умов і, в першу чергу, зосередити зусилля на нейтралізацію ґрунтової кислотності та підвищення вмісту гумусу, які в умовах інтенсивного сільськогосподарського використання без застосування мінеральних і органічних добрив та хімічних меліорантів найбільш динамічно погіршуються.

4.3.2. ОЗИМА ПШЕНИЦЯ НА БУРУВАТО-ПІДЗОЛИСТИХ ОГЛЕЄНИХ ОКУЛЬТУРЕНИХ ҐРУНТАХ

Бурувато-підзолистим оглеєним ґрунтам Сторожинецької державної сортовипробувальної ділянки відповідають агрохімічні показники, наведені у табл. 4.8.

Метеорологічні показники відображені у табл. 4.9. Величина їх розраховувалася лише за період активної вегетації озимої пшениці.

Для встановлення достовірності та відповідності нормованих величин їх абсолютним значенням (табл. 4.10) провели кореляційний аналіз залежності врожайності озимої пшениці від досліджуваних показників (табл. 4.11).

Встановивши залежність урожайності озимої пшениці, вирощуваної на чорноземах опідзолених, від досліджуваних факторів родючості, аналогічні взаємозв'язки простежили й на бурувато-підзолистих оглеєних ґрунтах (осушених) Сторожинецької сортовипробувальної ділянки. Як видно із рис. 4.17 та додатка Г4, урожайність різко коливається відносно лінії тренда. Остання відповідає деякому погіршенню ґрунтових показників за період спостережень (табл. 4.8), а різкі коливання відносно середнього значення показують нестабільність кліматичних умов (табл. 4.9), що дуже часто має місце у Передкарпатті. Підтвердженням цьому є величина коефіцієнтів кореляції між врожайністю і

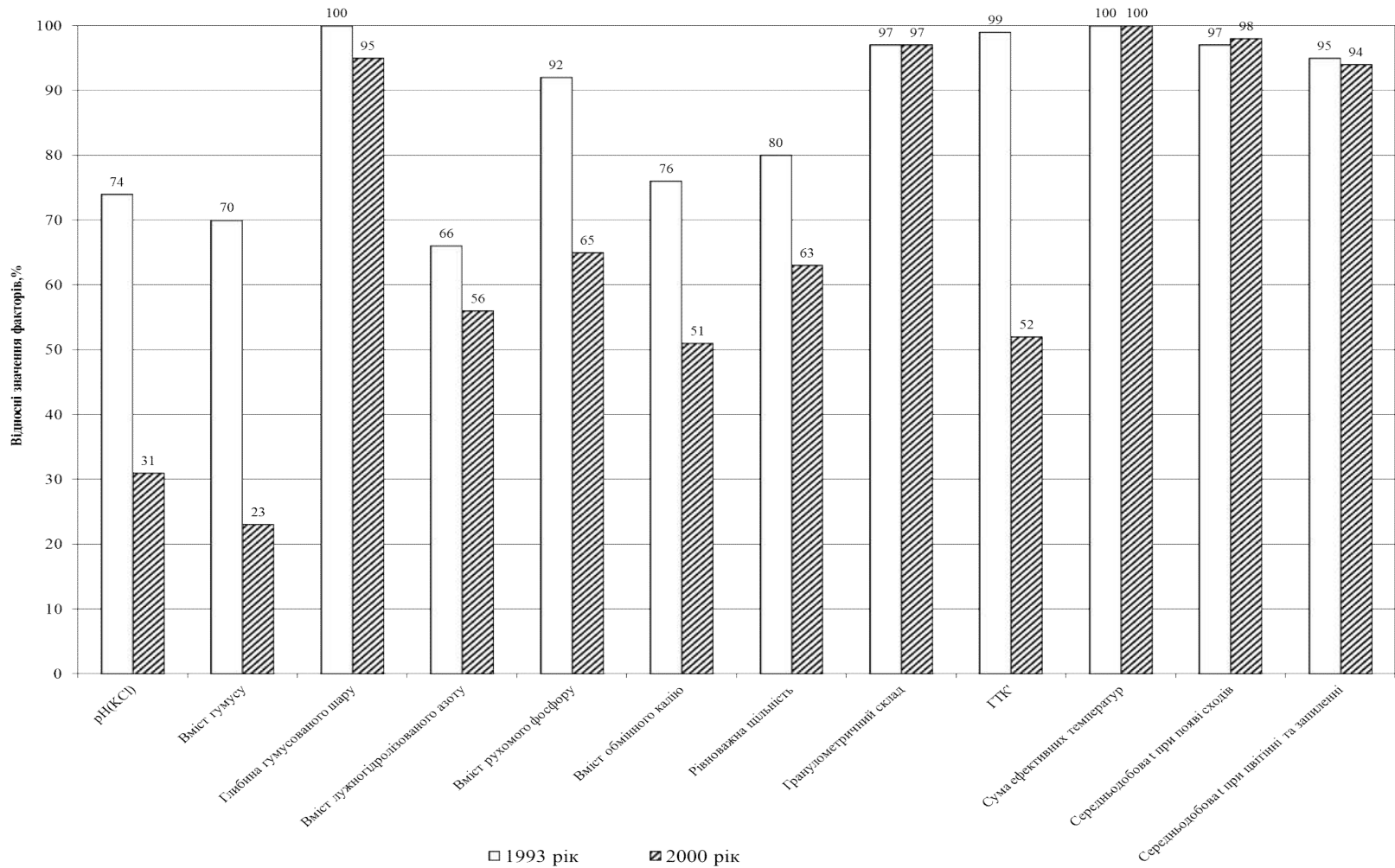


Рис. 4.16. Відносні величини значень факторів родючості чорноземів опідзолених стосовно вимог озимої пшениці в роки з максимальною та мінімальною врожайностями (83.0 та 37.5 ц/га відповідно)

Таблиця 4.8

Агрохімічна характеристика бурувато-підзолистих поверхнево-оглеєних окультурених ґрунтів (осушених)

(Сторожинецька державна сортовипробувальна діляниця)

Поле	Площа, га	Вміст гумусу, %		Вміст легко-гідролізованого азоту		Вміст рухомого фосфору		Вміст обмінного калію		рН(KCl)		Гідролітична кислотність (H _r)		Сума ввібраних основ (S)		Ступінь насиченості основами V, %	
				мг/100 г ґрунту				мг-екв/100 г ґрунту									
		1985	1991	1985	1991	1985	1991	1985	1991	1985	1991	1985	1991	1985	1991	1985	1991
1	7,45	2,0	1,8	13,0	12,5	18,8	17,7	14,8	14,4	6,1	5,1	2,2	5,1	15,3	10,4	87,4	67,1
2	7,49	2,0	1,9	10,8	8,5	18,7	15,7	15,7	15,1	6,6	5,8	2,1	5,8	14,3	11,3	87,2	66,1
3	7,25	1,9	1,8	9,9	7,9	19,1	17,1	16,4	15,4	6,8	6,4	2,9	6,4	23,0	18,7	88,8	74,5
4	7,25	1,5	1,3	9,4	8,4	17,1	16,3	16,7	16,1	6,2	5,7	2,5	5,7	17,4	11,1	87,4	66,1
5	7,23	2,1	1,8	10,5	8,5	18,8	16,4	13,4	12,4	6,2	5,8	2,1	5,8	16,5	11,7	88,7	66,9
6	7,23	1,7	1,6	9,5	7,8	19,0	18,6	10,7	10,4	6,6	6,2	2,5	6,2	17,0	11,6	87,2	65,2
7	7,31	1,8	1,7	12,1	11,3	18,6	17,3	16,2	16,5	6,3	5,5	1,9	5,5	23,8	16,5	92,6	75,0
8	8,70	1,8	1,7	9,6	8,2	14,6	12,7	13,6	13,1	6,4	5,7	1,9	5,7	22,2	16,6	92,1	74,4
9	6,81	1,9	1,7	12,0	11,6	19,4	17,7	15,5	16,0	6,3	5,6	2,9	5,6	16,8	10,3	85,3	64,8
Середнє:	7,4	1,8	1,6	9,8	8,6	16,6	15,1	13,4	13,1	5,9	5,3	2,2	5,3	16,8	12,0	80,0	62,3

Таблиця 4.9

Метеорологічні показники території досліджень

Роки	Період з середньодобовими температурами $>10^{\circ}\text{C}$			Період з середньодобовими температурами $>5^{\circ}\text{C}$			Середньодобова температура, $^{\circ}\text{C}$	
	Сума опадів, мм	Сума активних температур періоду вегетації	ГТК	Сума опадів, мм	Сума ефективних температур, $^{\circ}\text{C}$	ГТК'	при появі сходів	при формуванні продуктивних організмів

Озима пшениця, Сторожинецька держсортодільниця

1985	369	1654	2,23	412	2093	1,97	10,0	15,0
1986	312	1624	1,92	370	2021	1,83	11,0	14,8
1987	323	1878	1,72	384	2185	1,76	10,0	15,4
1988	348	1650	2,11	373	1828	2,04	10,8	14,1
1989	340	1842	1,85	367	1934	1,90	12,2	15,1
1990	283	1359	2,08	370	1564	2,37	10,1	15,0
1991	331	1323	2,50	414	1543	2,68	11,8	14,0

Таблиця 4.10

Абсолютні та нормовані значення ознак і відповідний їм узагальнений показник
родючості ґрунту за період досліджень

№ поля	Рік	рН(KCl)		Вміст гумусу		Глибина гумусованого шару		Вміст лужно-гідролізованого азоту		Вміст рухомого фосфору		Вміст обмінного калію		Рівноважна щільність		Гранулометричний склад (вміст фізичної глини)		ГТК		Сума ефективних температур		Середньодобова температура при появі сходів		*Середньодобова температура при формуванні генеративних органів		УПРГ(загальний)		УПРГ(ґрунтовий)	
		одиниці рН	бал	%	бал	см	бал	мг/100 г ґрунту	бал	мг/100 г ґрунту	бал	мг/100 г ґрунту	бал	г/см ³	бал	%	бал	число	бал	°С	бал	°С	бал	°С	бал	бал	бал	бал	

Озима пшениця, Сторожинецька держсортодільниця

5	1985	6,1	80	2,1	53	40	55	11,2	63	18,8	96	13,3	69	1,37	75	43	99	1,97	68,2	2093	100	10,0	93	15,0	72	73,6	70,3
2	1986	6,5	96	1,9	47	40	55	10,5	60	18,2	93	15,6	76	1,39	69	43	99	1,83	82,3	2021	100	11,0	97	14,8	71	74,3	69,5
7	1987	6,1	80	1,7	42	40	55	11,9	66	18,1	93	16,2	78	1,41	63	43	99	1,76	91,2	2185	100	10,0	93	15,4	75	73,1	67,1
8	1988	6,0	74	1,7	42	40	55	9,0	54	13,6	74	13,4	69	1,41	63	43	99	2,04	62,7	1828	93	10,8	96	14,1	67	66,6	62,5
9	1989	5,8	63	1,8	45	40	55	11,7	65	18,3	94	15,8	77	1,40	66	43	99	1,90	74,7	1934	98	12,2	100	15,1	73	71,5	66,4
1	1990	5,2	25	1,9	47	40	55	12,7	68	18,0	92	14,5	73	1,39	69	43	99	2,37	44	1564	78	10,1	94	15,0	72	59,0	55,8
6	1991	6,1	80	1,5	36	40	55	7,9	50	18,5	95	10,4	60	1,42	60	43	99	2,68	25,3	1543	76	11,8	99	14,0	66	57,0	60,4

* - для озимої пшениці: температура при цвітінні і запиленні, °С; для цукрового буряка: температура в період основного наростання коренеплодів, °С

кліматичними показниками, значення яких в більшості випадків перевищують величини відповідних коефіцієнтів між врожайністю і ґрунтовими умовами (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Результати кореляційного аналізу взаємозв'язків урожайності озимої пшениці з факторами родючості (Сторожинецька держсортодільниця, бурувато-підзолисті поверхнево-оглеєні окультурені ґрунти (осушені))

№ п/п	Фактор родючості, одиниці вимірювання	Коефіцієнт кореляції	
		абсолютне значення показника (R)	нормоване значення показника (R _n)
1.	Вміст гумусу, %	0,10	0,11
2.	Потужність гумусованого шару, см	-0,23	0,59
3.	Гранулометричний склад (вміст фізичної глини), %	-0,22	-0,59
4.	pH(KCl)	0,23	0,22
5.	Рівноважна щільність, г/см ³	-0,35	0,35
6.	Легкогідролізований азот, мг/100 г ґрунту	0,53	0,55
7.	Рухомий фосфор, мг/100 г ґрунту	0,14	0,13
8.	Обмінний калій, мг/100 г ґрунту	0,85	0,85
9.	Сума активних температур, °C (>10°C)	0,67	0,68
10.	Сума ефективних температур, °C (>5°C)	0,69	0,61
11.	Температура при появі сходів, °C	-0,29	-0,30
12.	Температура при формуванні генеративних органів (цвітінні), °C	0,70	0,73
13.	Опади за період вегетації з t>10°C	-0,23	не визначали
14.	Опади за період вегетації з t>5°C	-0,43	не визначали
15.	Гідротермічний коефіцієнт за період з t>10°C (ГТК(1); ГТК(2))	-0,88	0,84; 0,89
16.	Модифікований гідротермічний коефіцієнт за період з t>5°C (ГТК'(1); ГТК'(2))	-0,77	0,71; 0,83

Примітка: ГТК(1) – ГТК, пронормований за шкалою (1) В.В.Медведєва (1997); ГТК(2) – нормований ГТК за модифікованою шкалою (2)

З даних табл. 4.11 випливає, що основними факторами, які обумовлюють величину врожаю озимої пшениці в Передкарпатті на бурувато-підзолистих оглеєних ґрунтах є кліматичні: зволоженість ($R_{\text{пГТК}(2)}=0.83$), температура при формуванні генеративних органів ($R=0.73$), сума температур та ґрунтові показники: потужність гумусованого шару ($R=0.59$), гранулометричний склад ($R=-0.59$), легкогідролізований азот ($R=0.55$), обмінний калій ($R=0.85$).

Отже, головними показниками, які обмежують урожайність озимої пшениці в умовах Передкарпаття на бурувато-підзолистих ґрунтах виступають дещо інші фактори, або їх поєднання, ніж на чорноземах опідзолених Західного Лісостепу України, а саме: стабільно низький вміст гумусу (36-42 бали) азоту та калію (50-66 та 60-78 балів відповідно), глибина гумусованого шару (55 балів), рівноважна щільність (63-60 балів) та нестійкість кліматичних умов: коливання рівня зволоженості (25-91 бал), суми температур (76-100 балів) і середньої температури повітря при формуванні генеративних органів (66-75 балів) (рис. 4.18; табл. 4.10).

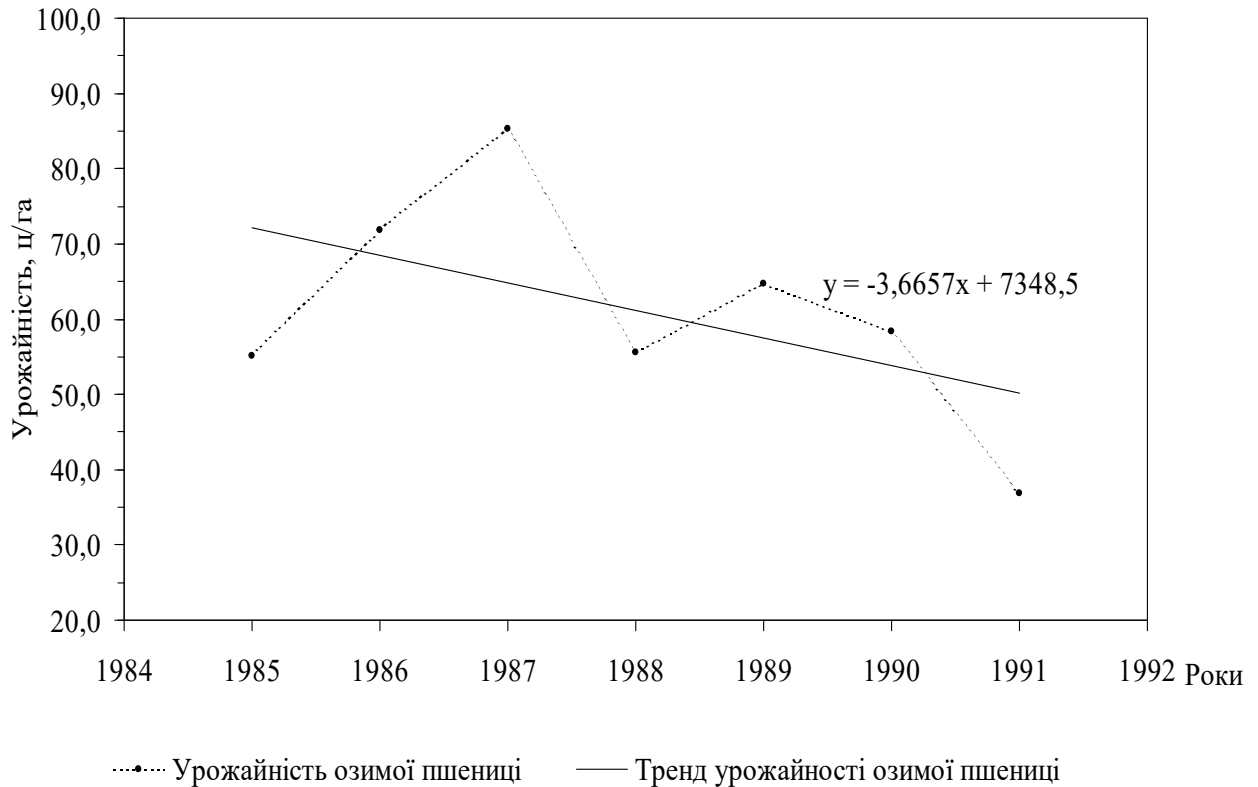


Рис. 4.17. Динаміка врожайності озимої пшениці на бурувато-підзолистому оглеєному ґрунті по Сторожинецькій сортодільниці за період 1985-1991 рр. (попередник – вико-овес)

4.3.3. ЦУКРОВИЙ БУРЯК НА ЧОРНОЗЕМАХ ОПІДЗОЛЕНИХ

Агрохімічні показники опідзолених чорноземів наведені у табл. 4.4. Метеорологічні дані стосовно цукрового буряка відображені у табл. 4.12. Величина їх розраховувалася за період активної вегетації досліджуваної культури, тобто за період травень–жовтень.

З метою порівняння вкладу кожного з факторів родючості у величину врожаю цукрового буряка та наступного усереднення їх пронормували (табл. 4.13), а для встановлення достовірності та відповідності нормованих величин їх абсолютним значенням провели кореляційний аналіз залежності врожайності від вибраних для моделювання показників (табл. 4.14). Найтісніший зв'язок виявився між врожайністю і гранулометричним складом ($R=-0.56$ і -0.56), рівноважною щільністю ($R=-0.52$ і 0.52), рН(KCl) ($R=0.62$ і 0.63), вмістом обмінного калію ($R=0.67$ і 0.66) та температурою при появі сходів ($R=-0.54$ і -0.54) відповідно для абсолютного і нормованого значення показника.

Врожайність цукрового буряка за період 1994-2000 рр. є досить динамічною величиною (рис. 4.19; додат. Г4). Як показує лінія тренда, вона прогресивно зменшується протягом досліджуваного періоду, внаслідок зниження вмісту поживних речовин, гумусу та підкислення ґрунту, обумовленого вирощуванням культур без внесення добрив і хімічних меліорантів (табл. 4.4). Деяке відхилення урожайності в більшу чи меншу сторону від лінії тренду обумовлюється кліматичними умовами конкретного року (табл. 4.12). Розглянемо їх детальніше.

На продуктивність буряка суттєво впливає теплозабезпеченість, в якості критерію якої використовується сума активних температур. Проте вегетація цукрового буряка восени продовжується також при температурах вище 5°C . Підтвердженням цього є тісніша кореляція суми ефективних температур з урожайністю (табл. 4.14). Тому в подальших розрахунках ми будемо оперувати саме цією величиною.

Таблиця 4.12

Метеорологічні показники території досліджень

Роки	Період з середньодобовими температурами $>10^{\circ}\text{C}$			Період з середньодобовими температурами $>5^{\circ}\text{C}$			Середньодобова температура, $^{\circ}\text{C}$	
	Сума опадів, мм	Сума активних температур періоду вегетації	ГТК	Сума опадів, мм	Сума ефективних температур, $^{\circ}\text{C}$	ГТК'	при появі сходів	при формуванні продуктивних органів

Цукровий буряк, Кіцманська держсортодільниця

1994	440	3137	1,40	447	3260	1,37	10,0	19,5
1995	360	2735	1,32	387	2936	1,32	8,0	20,0
1996	455	2689	1,69	510	2933	1,74	8,0	18,7
1997	435	2462	1,77	473	2657	1,78	7,0	18,7
1998	491	2996	1,64	531	3078	1,73	12,0	19,5
1999	400	2310	1,73	519	2646	1,96	8,0	17,4
2000	483	3175	1,52	503	3300	1,52	12,5	19,2

Таблиця 4.13

Абсолютні та нормовані значення ознак і відповідний їм узагальнений показник
родючості ґрунту за період досліджень

№ поля	Рік	рН(KCl)		Вміст гумусу		Глибина гумусованого шару		Вміст лужно-гідролізованого азоту		Вміст рухомого фосфору		Вміст обмінного калію		Рівноважна щільність		Гранулометричний склад (вміст фізичної глини)		ГТК		Сума ефективних температур		Середньодобова температура при появі сходів		*Середньодобова температура при формуванні генеративних органів		УПРГ(загальний)		УПРГ(ґрунтовий)	
		одиниці рН	бал	%	бал	см	бал	мг/100 г ґрунту	бал	мг/100 г ґрунту	бал	мг/100 г ґрунту	бал	г/см ³	бал	%	бал	число	бал	°С	бал	°С	бал	°С	бал	бал	бал	бал	

Цукровий буряк, Кіцманська держсортодільниця

4	1994	5,8	63	2,2	55	85	95	10,9	42	16,5	95	13,1	57	1,37	60	45	88	1,37	98	3260	100	10,0	60	19,5	75	68,7	64,3
5	1995	5,8	63	2,4	59	95	100	12,4	53	16,7	97	14,3	64	1,35	66	45	88	1,32	99	2936	100	8,0	50	20,0	80	72,0	70,1
10	1996	5,8	63	2,7	65	85	95	9,4	31	16,5	95	13,2	57	1,37	60	45	88	1,74	69	2933	100	8,0	50	18,7	68	63,4	61,5
8	1997	5,6	50	1,4	34	80	90	10,5	39	12,4	54	10,9	43	1,38	56	45	88	1,78	66	2657	91	7,0	45	18,7	68	54,5	50,9
2	1998	5,7	56	2,4	59	80	90	8,9	27	16,1	91	10,2	39	1,37	60	45	88	1,73	70	3078	100	12,0	69	19,5	75	60,1	54,2
7	1999	5,6	50	2,3	57	95	100	9,4	31	16,6	96	10,4	40	1,40	50	45	88	1,96	53	2646	90	8,0	50	17,4	60	56,3	54,6
3	2000	5,6	50	1,7	42	80	90	9,3	30	14,4	74	10,7	42	1,39	53	45	88	1,52	86	3300	100	12,5	72	19,2	72	58,5	51,4

* - для озимої пшениці: температура при цвітінні і запиленні, °С; для цукрового буряка: температура в період основного наростання коренеплодів, °С

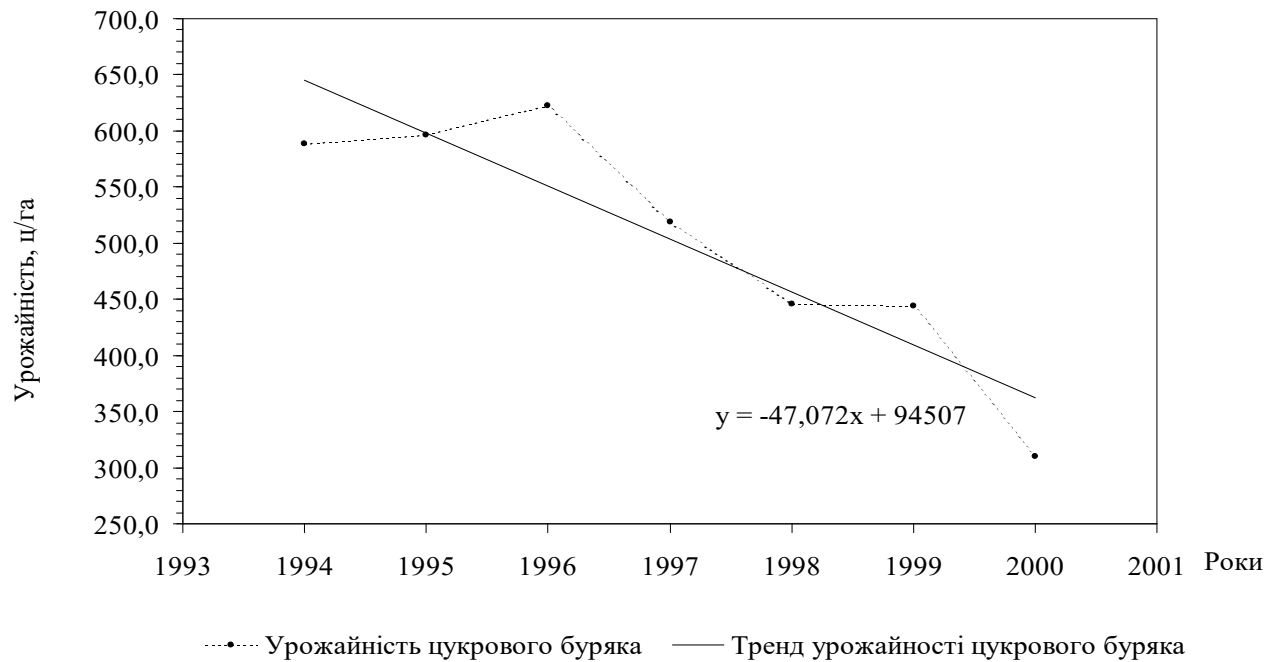


Рис. 4.19. Динаміка врожайності цукрового буряка на чорноземі опідзоленому по Кіцманській сортодільниці за період 1994-2000 рр.

Таблиця 4.14

Результати кореляційного аналізу взаємозв'язків урожайності цукрового буряка з факторами родючості (Кіцманська держсортодільниця, чорноземи опідзолені)

№ п/п	Фактор родючості, одиниці вимірювання	Коефіцієнт кореляції	
		абсолютне значення показника (R)	нормоване значення показника (Rn)
1	2	3	4
1.	Вміст гумусу, %	0,34	0,31
2.	Потужність гумусованого шару, см	0,23	0,32
3.	Гранулометричний склад (вміст фізичної глини), %	-0,56	-0,56
4.	pH(KCl)	0,62	0,63
5.	Рівноважна щільність, г/см ³	-0,52	0,52
6.	Легкогідролізований азот, мг/100 г ґрунту	0,40	0,41
7.	Рухомий фосфор, мг/100 г ґрунту	0,20	0,20
8.	Обмінний калій, мг/100 г ґрунту	0,67	0,66

Продовження табл. 4.14

1	2	3	4
9.	Сума активних температур, °C (>10°C)	-0,22	0,03
10.	Сума ефективних температур, °C (>5°C)	-0,20	0,15
11.	Температура при появі сходів, °C	-0,54	-0,54
12.	Температура в період основного наростання коренеплодів, °C	0,13	0,13
13.	Опади за період вегетації з $t > 10^\circ\text{C}$	-0,34	не визначали
14.	Опади за період вегетації з $t > 5^\circ\text{C}$	-0,38	не визначали
15.	Гідротермічний коефіцієнт за період з $t > 10^\circ\text{C}$ (ГТК(1); ГТК(2))	-0,12	0,10; -0,21
16.	Модифікований гідротермічний коефіцієнт за період з $t > 5^\circ\text{C}$ (ГТК'(1); ГТК'(2))	-0,19	0,17; -0,15

Примітка: ГТК(1) – ГТК, пронормований за шкалою (1) В.В.Медведєва (1997); ГТК(2) – нормований ГТК за модифікованою шкалою (2)

Кореляційний зв'язок суми опадів за період ефективних температур з врожайністю теж є тіснішим. Оскільки вегетація цукрового буряка, як зазначалося, продовжується і при температурах вищих 5°C , то ми розрахували і пропонуємо використовувати аналогічний ГТК показник (ГТК'), до якого входять ті ж складники, але взяті за період з температурою більше 5°C .

Керуючись міркуваннями, наведеними в розділі 4.3.1 та аналізуючи дані по урожайності, найоптимальнішими умовами зволоження визначили такі, при яких ГТК становить 1.70. Тому для відповідності шкали найвищій продуктивності, ми змістили вихідне значення шкали В.В.Медведєва [6] на 0.35 одиниць вправо.

Пронормувавши ГТК та ГТК' у вихідній (1) і модифікованій нами (2) шкалі, та провівши кореляційно-регресійний аналіз їх зв'язку з урожайністю, встановили, що величина коефіцієнтів кореляції дещо коливається, хоча найстабі-

льніші результати отримуються при використанні ГТК' (табл. 4.14).

Аналізуючи зміну ГТК'(2) можна помітити, що вона подібна до змін врожайності із зміщенням на один рік. Тобто, спостерігається ситуація, коли попередній посушливий рік спричинює зменшення урожайності в наступному році і навпаки, тобто в залежності від суми опадів в попередній рік в ґрунті формуються більші чи менші вологозапаси наступного року. Тому можна зробити такий висновок – величина ГТК при вирощуванні цукрового буряка є менш інформативним показником вологозабезпеченості посівів, ніж для озимої пшениці і в практичних цілях більш доцільно використовувати запаси продуктивної вологи в ґрунті, або тотожні їм показники.

Нормування інших показників, які включаються до моделі (табл. 4.13), не призводило до зменшення тісноти зв'язку між нормованим показником і урожайністю в порівнянні з ненормованим (табл. 4.14), тобто шкала відповідає поставленим вимогам, які полягають в точному описі умов росту і розвитку цукрового буряка.

Детальний аналіз рис. 4.20 показує, що обмежуючими факторами врожайності цукрових буряків в умовах Західного Лісостепу України виступають як ґрунтові так і кліматичні умови. Основними з ґрунтових показників є вміст легкогідролізованого азоту (30-31% від теоретичного оптимуму), гумусу та обмінного калію (42-65 і 42-57% відповідно), ґрунтова кислотність (50-63%), рівноважна щільність (53-60%). До кліматичних віднесемо коливання температури при появі сходів (50-70%) та відносно стабільне значення нормованого значення температури періоду основного наростання коренів (68-72%).

4.4. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ГРУНТОВО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВ ТА МОДЕЛІ РОДЮЧОСТІ

4.4.1. МОДЕЛЬ РОДЮЧОСТІ ДЛЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ НА ЧОРНОЗЕМАХ ОПІДЗОЛЕНИХ ТА БУРУВАТО-ПІДЗОЛИСТИХ ОКУЛЬТУРЕНИХ ГРУНТАХ

Моделі родючості ґрунту створювались на основі даних по урожайності та ґрунтових обстежень Кіцманської і Сторожинецької державних сортовипробувальних ділянок і кліматичних даних відповідних метеорологічних пунктів (додат. Г4; табл. 4.4, 4.5, 4.8, 4.9).

Для комплексної оцінки родючості чорнозему опідзоленого пропонуємо використовувати узагальнений показник родючості ґрунту (УПРГзагальний) на основі 12 факторів, включаючи агрокліматичні, методика розрахунку якого запропонована вище (підрозділ 4.1). Він добре описує динаміку урожайності (рис. 4.21), а відповідний коефіцієнт кореляції $R=0.88$ є дуже високим (табл. 4.15). Коефіцієнт детермінації при цьому становить 0.77, що на практиці означає 77% охоплюваність створеною моделлю умов росту і розвитку озимої пше-

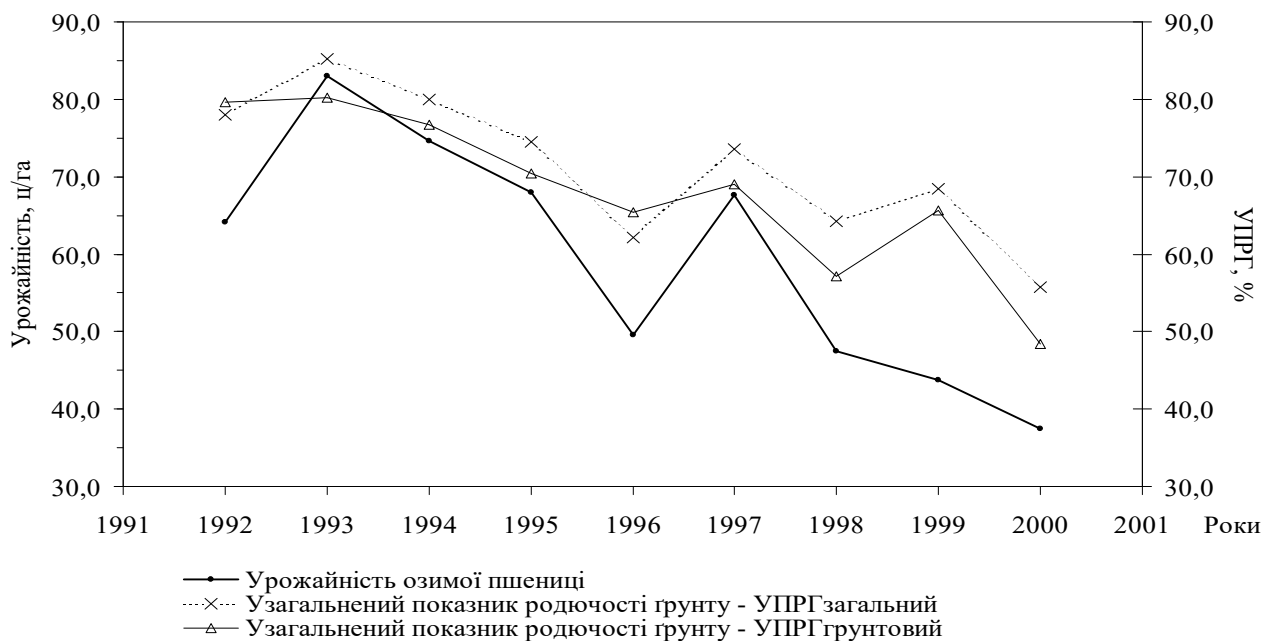


Рис. 4.21. Динаміка врожайності озимої пшениці та узагальненого показника родючості ґрунту (УПРГ) по Кіцманській сортоділянці за період 1992-2000 рр.

ниці. Решта 23% варіювання урожайності можна віднести за рахунок хвороб, шкідників, бур'янів, нерівномірності випадання опадів, недотримання агротехнології тощо.

Таблиця 4.15

Динаміка урожайності озимої пшениці та величини узагальненого показника родючості ґрунту (УПРГ) по Кіцманській сортодільниці за період 1992-2000 рр.

Рік	Середня урожайність, ц/га	УПРГ, %		Коефіцієнт кореляції, R
		загальний	ґрунтовий	
1992	64,1	78,1	79,7	0,88 – УПРГ (загальний)
1993	83,0	85,3	80,2	
1994	74,6	80,0	76,8	
1995	68,0	74,5	70,4	
1996	49,5	62,1	65,4	
1997	67,6	73,6	69,0	0.83 – УПРГ (ґрунтовий)
1998	47,5	64,2	57,2	
1999	43,8	68,5	65,6	
2000	37,5	55,7	48,4	

З роками, протягом яких не вносилися мінеральні добрива проходить послаблення тісноти зв'язку між розрахованим УПРГ (загальним) та фактичним рівнем урожайності, що виявляється у деякому завищенні оцінки родючості при врахуванні ґрунтово-кліматичних умов (рис. 4.21; табл. 4.15). На наш погляд це пояснюється зменшенням кількості легкодоступних форм азоту, фосфору та калію, що особливо гостро відчувається на початкових етапах розвитку рослин. Рослини озимої пшениці гірше розвиваються в осінній період, виходять ослабленими після перезимівлі, що сильно позначається на кінцевій урожайності. Прогресуюче збільшення похибки між теоретичними і практичними значеннями родючості може викликатися й іншими факторами (включаючи економічну ситуацію).

На основі отриманих даних створена статистична модель родючості ґрунту стосовно озимої пшениці у вигляді рівняння залежності між урожайністю та УПРГ (загальним):

$$\text{Урожайність (ц/га)} = - 54,575 + 1,596 \cdot \text{УПРГ(загальний)} \quad (4.1)$$

$$\text{Урожайність (ц/га)} = 0,845 \cdot \text{УПРГ(загальний)} \quad (4.2)$$

Обидва коефіцієнта регресії в рівнянні (4.1) є статистично значущими (додат. 4.8). При збільшенні значення УПРГ на один бал, урожайність в досліджуваних умовах зростатиме на 1,6 ц/га. Рівняння (4.1) є точнішим за (4.2) в межах досліджуваної вибірки, але при екстраполяції за її межі при величині УПРГ менше 34 бали починає давати від'ємні значення урожайності. Тому, з прогностичною метою ми пропонуємо використовувати рівняння (4.2), яке володіючи меншою точністю у межах досліджуваної вибірки, дозволяє проводити екстраполяцію урожайності у діапазоні шкали УПРГ 0-100 балів (рис. 4.22).

При розрахунку узагальненого показника родючості ґрунту на основі лише

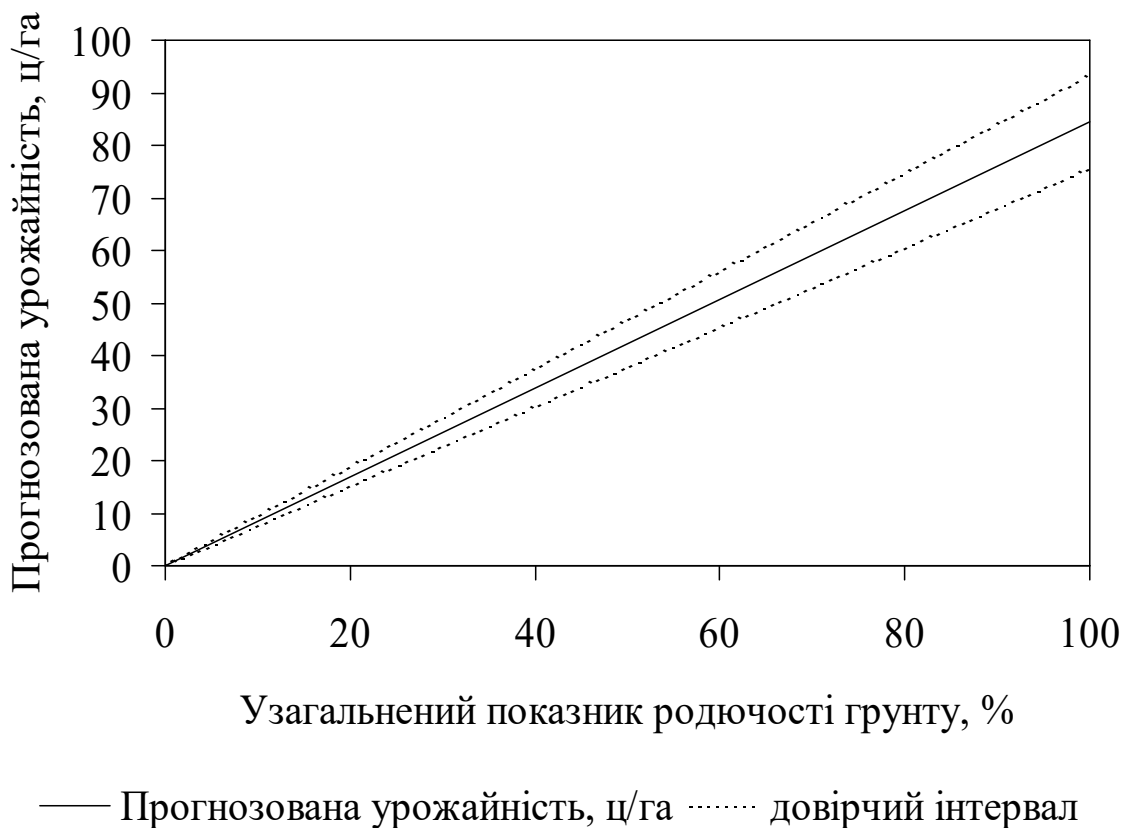


Рис. 4.22. Прогнозована зміна рівня врожайності озимої пшениці на чорноземі опідзоленому в залежності від змін узагальненого показника родючості ґрунту (залежність 4.2)

грунтових параметрів отримали подібні результати. Одержаний УПРГ(грунтовой) з роками поступово знижується (рис. 4.21), що впливає із згаданих раніше причин. Лише у 1997 та 1999 роках відмічається різке його покращення, що пояснюється дещо сприятливішими ґрунтовими умовами на полях, де в ці роки вирощувалася пшениця. Але рівень урожайності був невисоким, оскільки було кілька лімітуючих факторів, зокрема неврахована в моделі якість посівного матеріалу (низька репродукція). На основі ґрунтового УПРГ також отримані статистичні моделі родючості чорнозему опідзоленого стосовно озимої пшениці наступного виду:

$$\text{Урожайність (ц/га)} = -33,295 + 1,373 \cdot \text{УПРГ(грунтовой)} \quad (4.3)$$

$$\text{Урожайність (ц/га)} = 0,884 \cdot \text{УПРГ(грунтовой)} \quad (4.4)$$

Останні можуть бути використані з метою оцінки потенційної родючості ґрунтів при проведенні ґрунтово-бонітувального моніторингу, а величина УПРГ(грунтовой) є об'єктивною характеристикою при відслідковуванні негативних тенденцій у зміні ґрунтової обстановки.

Проведений регресійний аналіз показав, що отримані рівняння статистично достовірні, тобто узагальнений показник родючості ґрунту значущо впливає на рівень урожайності та його зміни у всіх випадках (табл. 4.16).

З метою комплексної оцінки родючості бурувато-підзолистого оглеєного ґрунту також розраховували узагальнений показник родючості ґрунту як з врахуванням всього комплексу ґрунтово-кліматичних (УПРГзагальний) так і без клімато-метеорологічних факторів (УПРГгрунтовой). Відмітимо дещо гіршу описуваність узагальненим показником умов росту і розвитку озимої пшениці на бурувато-підзолистих ґрунтах (рис. 4.23).

Коефіцієнти кореляції між врожайністю та загальним і ґрунтовим УПРГ становлять 0.72 і 0.47 відповідно (табл. 4.17). Така різниця між ними пояснюється значно більшою нестабільністю погодних умов Передкарпаття ніж для умов Лісостепу, що і обумовлює зниження значення коефіцієнта кореляції.

Таблиця 4.16

Результати лінійного регресійного аналізу залежності урожайності польових культур (Y) від величини узагальненого показника родючості ґрунту (X)

Ознака X	Кількість спостережень, n	Рівняння виду $Y = b_0 + b_1 \cdot X$					Рівняння виду $Y = b_1 \cdot X$			Табличні значення			
		b_0	t_{b_0}	b_1	t_{b_1}	F_ϕ	b_1	t_{b_1}	F_ϕ	$t_{0.05}$	$t_{0.01}$	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$

Озима пшениця, Кіцманська держсортодільниця

УПРГ(загальний)	n=261	-54,575	14,26	1,596	29,70	882,22	0,845	21,58	18,82	1,96	2,58	3,88	6,75
УПРГ(ґрунтовий)		-33,295	8,64	1,373	24,01	576,39	0,884	91,38	391,18				

Озима пшениця, Сторожинецька держсортодільниця

УПРГ(загальний)	n=43	-35,796	1,89	1,441	5,25	27,57	0,925	35,79	22,62	1,96	2,58	4,06	7,24
УПРГ(ґрунтовий)		-18,619	0,68	1,260	3,00	8,98	0,975	31,53	8,63				

Цукровий буряк, Кіцманська держсортодільниця

УПРГ(загальний)	n=203	-60,194	0,78	9,325	7,42	55,09	8,347	71,59	54,59	1,96	2,58	3,89	6,76
УПРГ(ґрунтовий)		-83,311	1,42	10,310	10,16	103,30	8,877	78,00	100,77				

Таблиця 4.17

Динаміка урожайності озимої пшениці та величини узагальненого показника родючості ґрунту (УПРГ) по Сторожинецькій сортодільниці за період 1985-1991 рр.

Рік	Середня урожайність, ц/га	УПРГ, %		Коефіцієнт кореляції, R
		загальний	ґрунтовий	
1985	55,2	70,3	73,6	0,72 – УПРГ (загальний)
1986	71,9	69,5	74,3	
1987	85,3	67,1	73,1	
1988	55,6	62,5	66,6	0,47 – УПРГ (ґрунтовий)
1989	64,8	66,0	71,5	
1990	58,4	55,8	59,0	
1991	36,9	60,4	57,0	

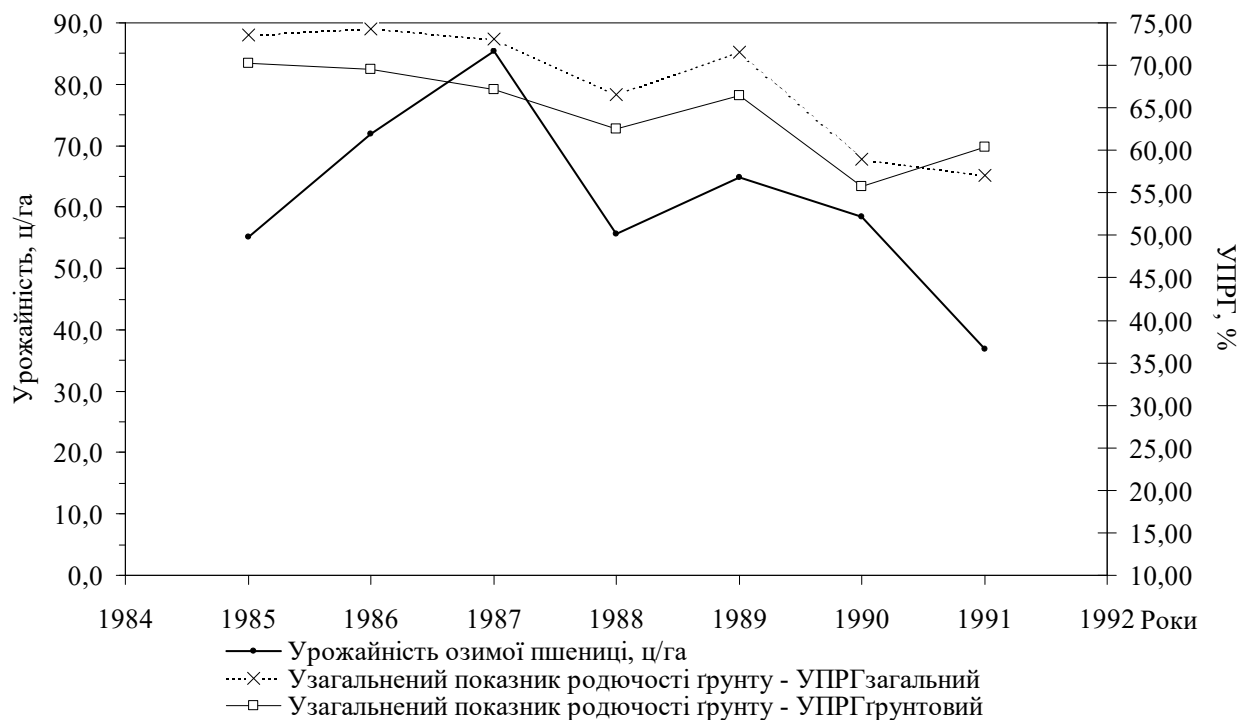


Рис. 4.23. Динаміка врожайності озимої пшениці та узагальненого показника родючості ґрунту (УПРГ) по Сторожинецькій сортодільниці за період 1985-1991 рр.

На основі отриманих даних побудовано регресійні моделі урожайності наступного виду:

$$\text{Урожайність (ц/га)} = -35,796 + 1,441 \cdot \text{УПРГ(загальний)} \quad (4.5)$$

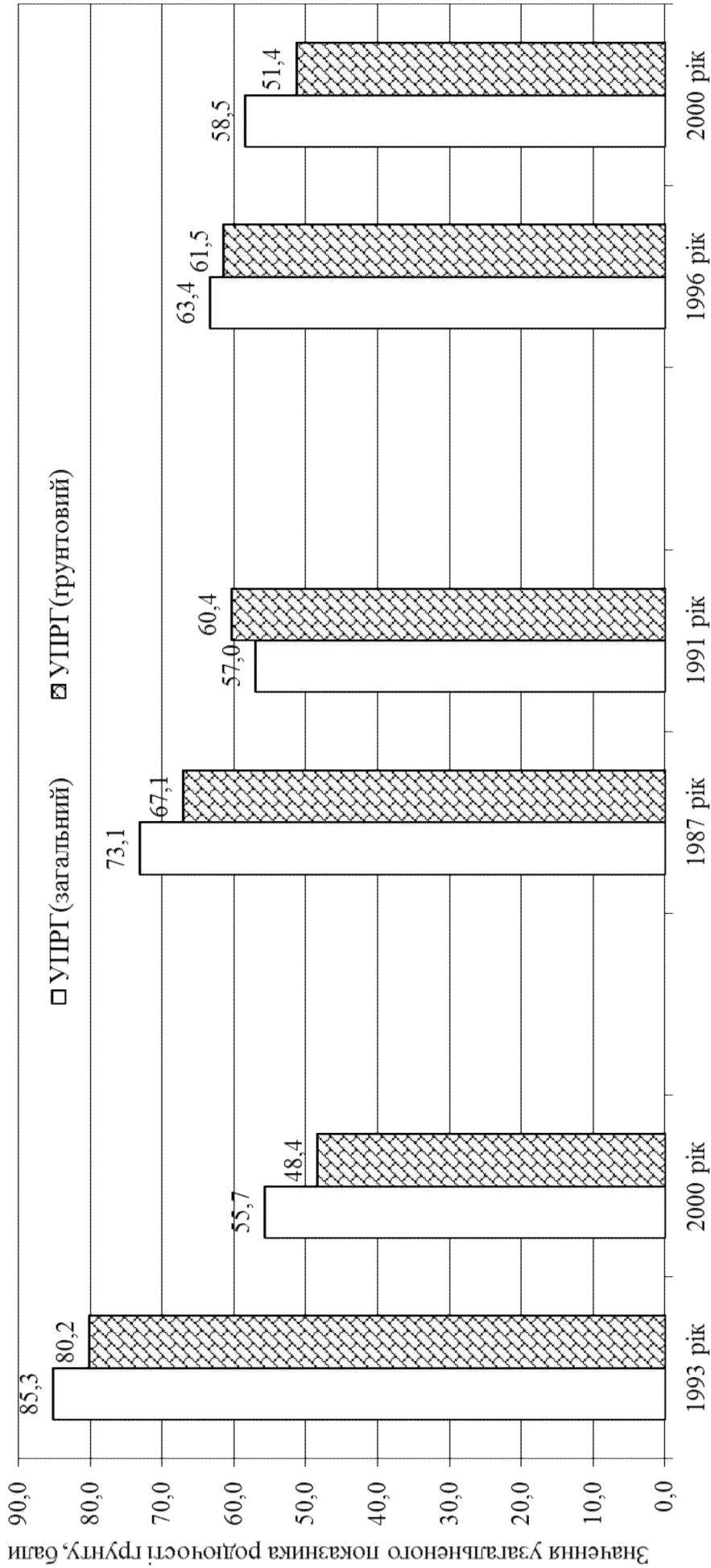
$$\text{Урожайність (ц/га)} = 0,924 \cdot \text{УПРГ(загальний)} \quad (4.6)$$

$$\text{Урожайність (ц/га)} = -18,619 + 1,260 \cdot \text{УПРГ(грунтовий)} \quad (4.7)$$

$$\text{Урожайність (ц/га)} = 0,975 \cdot \text{УПРГ(грунтовий)} \quad (4.8)$$

Дані проведеного регресійного аналізу показують, що одержані рівняння є достовірними (табл. 4.16). З прогностичною метою за межами досліджуваної вибірки доцільніше використовувати залежності (4.6) та (4.8), які коректно описують коливання урожайності у всьому діапазоні зміни узагальненого показника родючості ґрунту.

Пряме порівняння узагальненого показника родючості чорноземів опідзолених та бурувато-підзолистих оглеєних ґрунтів щодо придатності до вирощування озимої пшениці (рис. 4.24) показує, що в роки, коли ще повністю зберігалася система удобрення та система захисту рослин чорнозем опідзолений володів більшим значенням УПРГ(загального) у порівнянні з бурувато-підзолистим ґрунтом (85.3 та 73.1 бали відповідно) – різниця становила 12.2 бали на користь чорнозему. Розбіжність між УПРГ(грунтовим) складала 13.1 бал, тобто мала той самий порядок. Незважаючи на це урожайність приблизно була на одному рівні: 85.3 і 83.0 ц/га. Даний факт можна пояснити так: величезну роль у формуванні урожайності відіграють мінеральні та органічні добрива, які забезпечують рослини легкодоступними елементами живлення. Внесення їх в нормах 100-150 кг. д. р. на 1 га збільшує вміст NPK в перерахунку в мг/100 г ґрунту на досить малу величину. Однак, внесення добрив, як показано дослідями практично всіх агрохіміків, різко підвищує урожайність порівняно з неудобреним фоном, навіть якщо в ньому міститься підвищений запас елементів живлення. На Сторожинецькій сортодільниці в 1987 році отримали більшу врожайність ніж на Кіцманській в 1993 році, перш за все тому, що внесли великі дози азоту, фосфору і калію (по 217, 217 і 148 кг діючої речовини на 1 га відпо-



Озима пшениця, чорноземи опідзолені Озима пшениця, буруваго-підзолисті оглеєні ґрунти Цукровий буряк, чорноземи опідзолені
 Рис. 4.24. Значення загального та ґрунтового узагальненого показника родючості ґрунтів в роки з
 максимальною та мінімальною врожайностями польових культур

відно), а на останній використовували норми добрив на порядок менші, що і обумовило практично рівну урожайність при різниці УПРГ рівній 12.2-13.1 бал. Останнє ще раз доводить роль системи удобрення, яка дозволяє на потенційно менш родючих ґрунтах отримувати високі врожаї. В роки з найменшою врожайністю, яка була майже однаковою на обох типах ґрунтів (36.9 та 37.5 ц/га відповідно для чорнозему опідзоленого і бурувато-підзолистого ґрунту), практично рівною була і величина узагальненого показника родючості ґрунту, врахованого на основі всього комплексу ґрунтово-кліматичних факторів – 55.7 та 57.0 балів відповідно при величині УПРГ(ґрунтового) 48.4 та 60.4 бали. Останнє показує перш за все важливість метеорологічних умов, які в сприятливих умовах здатні підвищити оцінку ґрунту щодо вимог культури й, відповідно, урожайність цієї культури.

На відміну від УПРГ(загального), який включає й кліматичні фактори, котрі самі по собі є дуже динамічними, УПРГ(ґрунтовий) володіє більшою стабільністю в часі (рис. 4.21 та 4.23), однак, незважаючи на це, він дозволяє оперативно відслідковувати зміни в ґрунті та переводити їх у числову форму. При погіршенні показників, тобто деградації ґрунту, можна визначити її швидкість (у випадку чорнозему опідзоленого 6-7 балів на рік) та запропонувати заходи по зупинці цього процесу і спрямуванні його в сторону покращення. Саме тому ми пропонуємо УПРГ(ґрунтовий) використовувати в якості показника при ґрунтово-бонітувальному моніторингу земель.

Виходячи із вищесказаного, запропонована модель родючості ґрунту на основі УПРГ стосовно озимої пшениці дозволяє планувати її врожайність, аналізувати і оцінювати ефективність використання земельних і виробничих ресурсів, системно підходити до організації агротехнічних та агрохімічних заходів для підвищення родючості ґрунту та доведення її до максимально можливого рівня в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Отримані результати свідчать, що незалежно від типу ґрунту можна отримувати високі врожаї при створенні оптимальних умов росту і розвитку культур та підтриманні їх на цьому

рівні. Останнім, згідно закону сукупної дії факторів, можна дещо нівелювати негативний вплив погодно-кліматичних умов.

Отже, чорноземи опідзолені Західного Лісостепу, незважаючи на наявність деградаційних процесів, є більш придатними до вирощування озимої пшениці в порівнянні з бурувато-підзолистими оглеєними ґрунтами Передкарпаття, дозволяють отримувати більшу урожайність озимої пшениці без вкладення додаткових затрат, що обумовлюється як їх генетичними відмінностями, так і кліматичними умовами регіонів поширення цих ґрунтів.

4.4.2. МОДЕЛЬ РОДЮЧОСТІ ДЛЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКА НА ЧОРНОЗЕМАХ ОПІДЗОЛЕНИХ

Для комплексної оцінки родючості чорнозему опідзоленого стосовно цукрового буряка використовуємо УПРГ на основі 8 та 12 факторів. Як можна зауважити, вони задовільно описують динаміку урожайності з коефіцієнтами кореляції 0.75 та 0.61 (табл. 4.18 та рис. 4.25). Відхилення врожайності від передбаченої моделлю зумовлюється забур'яненістю посівів, хворобами, шкідниками, нерівномірністю випадання опадів та їх нестачею, недотриманням агротехнології, похибками при обчисленнях, оскільки деякі дані отримано за рахунок різного роду інтерполяцій та екстраполяції, тощо.

Показник, який вираховується на основі восьми ґрунтових факторів родючості (вміст гумусу, потужність гумусованого шару, гранулометричний склад, вміст азоту, фосфору та калію, рН та рівноважна щільність), досить точно відображає фактичний рівень ефективної родючості ґрунту, вираженої через урожайність, оскільки максимально повно узагальнює ґрунтові показники. Це дозволяє запропонувати УПРГ(ґрунтовий) для використання в якості одного з критеріїв ґрунтово-бонітувального моніторингу земель.

Таблиця 4.18

Динаміка урожайності цукрового буряка та величини узагальненого показника родючості ґрунту (УПРГ) по Кіцманській сортодільниці за період 1994-2000 рр.

Рік	Середня урожайність, ц/га	УПРГ, %		Коефіцієнт кореляції, R
		загальний	ґрунтовий	
1994	588,7	68,7	64,3	0,62 – УПРГ (загальний)
1995	594,4	72,0	70,1	
1996	622,4	63,4	61,5	
1997	519,1	54,5	50,9	
1998	445,9	60,1	54,2	0,75 – УПРГ (ґрунтовий)
1999	443,9	56,3	54,6	
2000	309,9	58,5	51,4	

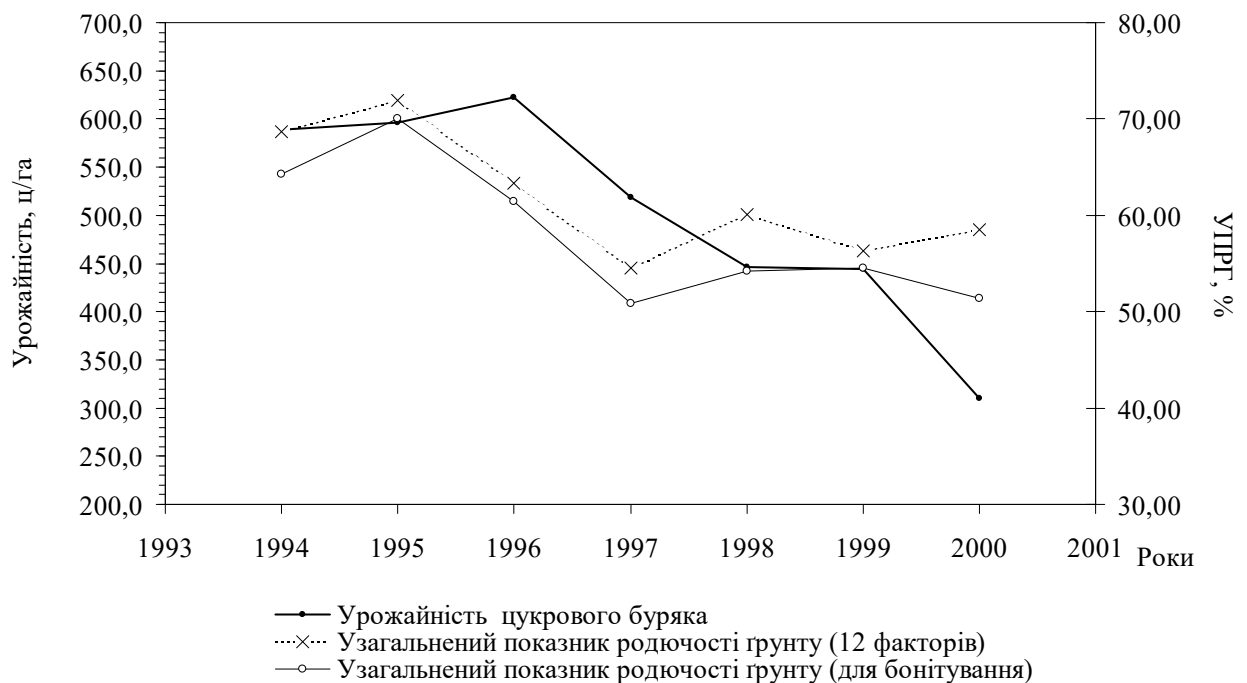


Рис. 4.25. Динаміка врожайності цукрового буряка та узагальненого показника родючості ґрунту на чорноземі опідзоленому по Кіцманській сортодільниці за період 1994-2000 рр.

На основі отриманих даних створена статистична модель родючості ґрунту стосовно цукрового буряка у вигляді рівняння залежності між урожайністю та УПРГ:

$$\text{Урожайність (ц/га)} = -60,194 + 9,325 \cdot \text{УПРГ(загальний)} \quad (4.9)$$

$$\text{Урожайність (ц/га)} = 8,347 \cdot \text{УПРГ(загальний)} \quad (4.10)$$

$$\text{Урожайність (ц/га)} = -83,311 + 10,310 \cdot \text{УПРГ(ґрунтовий)} \quad (4.11)$$

$$\text{Урожайність (ц/га)} = 8,877 \cdot \text{УПРГ(ґрунтовий)} \quad (4.12)$$

Коефіцієнти регресії, як і самі рівняння (4.9-4.12) є статистично значущими (табл. 4.16). При збільшенні значення УПРГ на один бал, урожайність в досліджуваних умовах зростатиме на 9,3-10,3 ц/га. Рівняння (4.9) та (4.11) є точнішими за (4.10) і (4.12) в межах досліджуваної вибірки, але можуть використовуватися в більшості випадків, оскільки лише при значеннях УПРГ менше 6.5-8% починають давати від'ємні значення урожайності, а така оцінка ґрунтових умов є досить рідкісною. Тому, з прогностичною метою ми пропонуємо використовувати будь-яку з отриманих залежностей. Аналіз рівнянь показує, що максимальна урожайність у виробничих умовах може становити близько 835-888 ц/га. Вважаємо, що дані величини є цілком реальними при належній агротехніці, системі внесення добрив та інтегрованій системі захисту рослин, використанні районованих сортів і гібридів тощо.

Розгляд рис. 4.24 підтверджує цей висновок: цукровий буряк дуже вимоглива культура і при порушенні агроекологічних умов різко знижує урожайність, а якщо це відбувається на фоні загальної агрофізичної, фізико-хімічної та агрохімічної деградації (табл. 4.4, 4.6) при недотриманні системи удобрення та системи захисту рослин наслідки бувають просто катастрофічними. Так, в порівнянні з найбільш врожайним роком з урожайністю 622.4 ц/га, коли значення УПРГ загального та ґрунтового становило відповідно 63.4 і 61.5 бали, в найбільш неврожайний рік (309.9 ц/га) УПРГ знизився лише на 4.9 і 10.1 бали відповідно. При використанні отриманих регресійних моделей урожайності цукрового буряка в залежності від УПРГ її зниження мало би становити 40.9-89.7

ц/га проти 312.5 ц/га реальних. Зменшення урожайності в 7.6-3.5 рази перевищує розраховане за нашими моделями, що ні в якій мірі не є доказом неспроможності моделі описувати ґрунтову родючість – вона просто в таких умовах перестає точно працювати, даючи похибку в розмірі ефективної родючості, але залишаючись досить точною при визначенні розмірів потенційної родючості. Останнє є фактором, який допускає використання УПРГ, а саме його “ґрунтового” варіанту в якості показника при ґрунтово-бонітувальному моніторингу земель.

Отже, модель родючості ґрунту на основі УПРГ задовільно описує потенційну а також й ефективну родючість ґрунту, який не піддався деградації, а у випадку такої необхідно застосовувати хоча б якусь систему удобрення. Модель дозволяє прогнозувати урожайність цукрового буряка в зв'язку з ґрунтово-екологічними умовами, планувати заходи щодо раціонального ведення виробництва, а самі показники УПРГ свідчать про те, що опідзолені чорноземи є досить сприятливими ґрунтами для вирощування високих і стабільних врожаїв цукрових буряків в умовах Західного Лісостепу України.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне і практичне обґрунтування відповідності моделей ґрунтової родючості та її факторів стосовно основних законів землеробства та агроекологічних вимог польових культур. Результати досліджень мають значення при проведенні ґрунтово-бонітувального моніторингу земель.

1. Проведений аналіз літературних джерел та патентний пошук виявили, що існуючі моделі родючості та її факторів не в повній мірі відповідають основним законам землеробства та вимогам сільськогосподарських культур, у більшості випадків не враховують всі показники, які впливають на урожайність, часто не виявлені форми залежностей між ними, що не дозволяє в повній мірі охарактеризувати ґрунт стосовно рівня його родючості.
2. Показано, що між величиною рівноважної щільності та вмістом гумусу основних ґрунтів зонально-генетичного ряду України існує нелінійний зв'язок високої тісноти в координатах подвійно-оберненої залежності, що обумовлює неоднакове зменшення рівноважної щільності при одній і тій самій зміні вмісту гумусу, але в різних діапазонах. Обмінний кальцій мінеральних компонентів ґрунтового поглинального комплексу (ГПК) визначає варіацію рівноважної щільності приблизно в 2 рази меншу порівняно з органічними, обмінні форми магнію обумовлюють її приблизно порівну. На ущільнених ґрунтах більш доцільним є використання кальцій-, а на розпушених магнійвмісних матеріалів (меліорантів та добрив).
3. Встановлені регресійні моделі взаємозв'язку рівноважної щільності ґрунтів з параметрами ГПК у вигляді лінійних рівнянь, які володіють достатньо великою силою прогнозу і можуть бути використані для її розрахунку.
4. **Введено узагальнений показник родючості ґрунту (УПРГ)**, який за допомогою формули середнього гармонійного усереднює попередньо перетворені в еквіваленти 0-100% шкали абсолютні значення факторів родючості, що

здійснюється шляхом обчислень винайденими поліномами 3-4 степеня. Пропонується **грунтовий** та **загальний** варіанти узагальненого показника, значення яких знаходяться в межах від 0 до 100 балів. **УПРГ(грунтовий)** включає вісім факторів родючості, а саме: вміст гумусу, потужність гумусованого шару, вміст фізичної глини, азоту, фосфору та калію, рН(KCl) і рівноважну щільність; **УПРГ(загальний)** крім ґрунтових, враховує й агрокліматичні фактори: гідротермічний коефіцієнт за період з ефективними температурами, суму ефективних температур, середньодобову температуру повітря при появі сходів і утворенні продуктивних органів.

5. На основі УПРГ теоретично обґрунтовано і практично розроблено моделі родючості, які враховують основні закони землеробства: незамінності та рівнозначності факторів; обмежуючого фактора; мінімуму, оптимуму і максимуму; сукупної дії факторів і критичних періодів. Отримані моделі надають можливість формалізованого математичного опису та дозволяють оцінювати продуктивність ґрунту щодо агроєкологічних вимог певної культури в аспекті максимальної родючості, а також можуть використовуватися з прогностичною метою.
6. Продемонстровано застосування УПРГ до вирощування ряду культур Західного Лісостепу та Передкарпаття України (озима пшениця, цукровий буряк), що дозволило встановити лімітуючі фактори врожайності цих культур як в роки з найвищим так і найнижчим її рівнем (стосовно ґрунтової родючості та агрокліматичних факторів). Показано при цьому, що УПРГ(грунтовий) добре відображає фактичний рівень родючості, дозволяє оперативно відслідковувати зміни в ґрунті та переводити їх в числову форму, визначати кризові ситуації, володіє більшою стабільністю в часі ніж УПРГ(загальний), дає змогу оцінювати ефективність використання земельних ресурсів, розробляти заходи підвищення родючості ґрунту до максимально можливого рівня й може використовуватися в якості показника при ґрунтово-бонітувальному моніторингу земель.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Рекомендуємо використовувати лінійні регресійні моделі рівноважної щільності з врахуванням вмісту гумусу, обмінних форм кальцію та магнію, суми обмінних основ для проведення практичних заходів по досягненню її оптимальних значень.
2. Виявлення факторів, які лімітують врожайність польових культур, проводити за допомогою методики по розрахунку узагальненого показника родючості ґрунту, а модель на його основі використовувати для планування урожайності польових культур та для реалізації заходів щодо раціонального ведення виробництва.
3. УПРГ(ґрунтовий) доцільно використовувати в якості показника при ґрунтово-бонітувальному моніторингу земель.