

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка
Хіміко-біологічний факультет

Кафедра загальної біології та методики навчання природничих дисциплін

Кваліфікаційна робота

Формування дослідницької компетенції учнів на основі моделювання процесів родючості ґрунтів у позакласній роботі з біології і екології

Спеціальність: 014 .05 Середня освіта

Предметна спеціальність: 014.05 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини)»

Здобувача другого (магістерського)
рівня вищої освіти, ОПП «Середня освіта
(Біологія та здоров'я людини, хімія)»

Шукшина Олександра Сергійовича

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

кандидат біологічних наук, доцент

Гуменюк Галина Богданівна

РЕЦЕЗЕНТ:

доктор педагогічних наук, професор
завідувач кафедри педагогіки вищої школи
та суспільних дисциплін

Тернопільського національного
медичного університету імені

І.Я.Горбачевського

Міністерства охорони здоров'я України

Кульчицький Віталій Йосипович

Тернопіль – 2025

ВСТУП

Сучасна система загальної середньої освіти вимагає переходу від репродуктивних методів навчання до діяльнісних, орієнтованих на формування ключових і предметних компетентностей. Однією з провідних серед них є дослідницька компетентність, що забезпечує здатність учнів самостійно формулювати наукові проблеми, висувати гіпотези, обирати методи пізнання, аналізувати емпіричні дані, інтерпретувати отримані результати та представляти їх у науковій формі. Формування таких умінь є особливо важливим у природничій галузі, де вивчення об'єктів і процесів неможливе без експериментального підходу, практичної діяльності та розуміння реальних природних закономірностей [51].

Ґрунт є базовим компонентом біосфери, що виконує життєво важливі екологічні функції: забезпечує рослинність поживними елементами, регулює водний режим територій, впливає на якість повітря, накопичує органічний вуглець, є фундаментом продуктивності агрокосистем. Погіршення стану ґрунтів, зниження їх родючості та деградація набувають в Україні масштабів екологічної проблеми, пов'язаної як з порушенням технологій землеробства, так і з глобальною зміною клімату. Саме тому збереження родючості ґрунтів, їх охорона та відновлення є ключовим екологічним і соціальним завданням, що визначається на рівні державної та світової екологічної політики [30].

Моделювання ґрунтових процесів є перспективним напрямом сучасної природничої освіти, який поєднує традиційні ґрунтознавчі методи з цифровими технологіями, математичними моделями, елементами STEM та екологічного прогнозування. Застосування моделювання у шкільній освіті сприяє розвитку здатності аналізувати реальні дані, виявляти закономірності, встановлювати причинно-наслідкові зв'язки, використовувати наукові підходи до оцінки родючості ґрунтів та їх екологічного стану. Через роботу з фактичними показниками ґрунту учні опановують навички наукового мислення, вчаться робити

обґрунтовані висновки та застосовувати природничі знання для вирішення практичних задач. Організація навчання на основі дослідження ґрунтових властивостей та моделювання ґрунтових процесів відповідає положенням Концепції Нової української школи та вимогам Державного стандарту базової середньої освіти [10,25] згідно з якими пріоритетним є розвиток критичного мислення, дослідницьких умінь, вміння працювати з інформацією, здійснювати вимірювання, аналізувати результати та використовувати цифрові інструменти. Залучення учнів до експериментальної, проєктної та польової діяльності є важливим засобом підвищення навчальної мотивації, формування екологічної свідомості та розвитку компетентностей, необхідних для подальшого навчання і професійної діяльності.

Підвищення уваги до вивчення ґрунтового покриву та його родючості є актуальним як у світовому, так і в українському контексті. У глобальному вимірі це зумовлено деградацією ґрунтів, зменшенням запасів органічного вуглецю, інтенсифікацією землекористування, порушенням екологічного балансу, а також потребою забезпечення продовольчої безпеки. Для учнів дана тематика є доступним практичним об'єктом дослідження, який дозволяє виконувати завдання різного рівня складності — від простих спостережень до побудови математичних моделей і аналізу цифрових даних.

Таким чином, проблема формування дослідницької компетентності учнів у процесі моделювання родючості ґрунтів є своєчасною, науково обґрунтованою і практично значущою. Її вирішення сприятиме підвищенню якості природничої освіти, формуванню екологічної культури, розвитку критичного мислення та практичних умінь, необхідних для життя в умовах сучасних екологічних викликів [51]. Отже, проблема формування дослідницької компетентності учнів на основі моделювання родючості ґрунтів є своєчасною, науково обґрунтованою та практично значущою. Її розв'язання дозволяє підвищити якість природничої освіти, сприяє

екологічній освіті школярів та створює умови для розвитку індивідуальних освітніх траєкторій.

Мета дослідження. З'ясувати педагогічні, теоретичні та методичні засади формування дослідницької компетентності учнів загальноосвітньої школи у позакласній роботі на основі моделювання родючості ґрунтів та розробити ефективну модель організації дослідницької діяльності на основі вивчення якості ґрунтів із застосуванням комплексного набору агрохімічних показників.

. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- Проаналізувати теоретичні засади формування дослідницької компетентності учнів у процесі вивчення біології в умовах сучасної природничої освіти.
- Вивчити зміну агрохімічних показників ґрунтів досліджуваних територій та охарактеризувати їх вплив на стан і процеси ґрунтоутворення.
- Розкрити зміст поняття “родючість і моделювання ґрунтів ” та визначити основні показники, що можуть бути використані як об’єкт досліджень у позакласній роботі.
- Розробити методику формування дослідницької компетентності учнів на основі моделювання процесів родючості ґрунтів.
- Провести експертну оцінку якості й ефективності запропонованої методики та педагогічної моделі.

Об’єктом дослідження Процес формування дослідницької компетентності учнів у закладах загальної середньої освіти на основі моделювання процесів родючості ґрунтів.

Предметом дослідження Педагогічні умови, методи та технології формування дослідницької компетентності учнів шляхом застосування

моделювання родючості ґрунтів для класифікації якості ґрунтів в позакласній роботі.

Методи досліджень – агрохімічний аналіз ґрунтів, статистичний аналіз, кореляційний аналіз, методів наукового пізнання (аналіз, синтез, індукція, дедукція, спостереження, систематизація), емпіричні (педагогічний експеримент, спостереження, анкетування).

Практичне значення полягає в тому, що методика організації дослідницької діяльності на основі вивчення якості ґрунтів із застосуванням комплексного набору агрохімічних показників може бути використана вчителями біології та студентами-практикантами у гуртковій роботі.

Актуальність

Сучасні виклики сталого землекористування, деградації ґрунтів та зміни клімату зумовлюють необхідність формування в учнів екологічної свідомості, дослідницького мислення та здатності застосовувати наукові знання для вирішення практичних проблем. Одним із ключових компонентів таких компетентностей є розуміння процесів ґрунтоутворення, факторів родючості та механізмів збереження ґрунтових ресурсів, що визначено у пріоритетах екологічної та природничої освіти в межах Концепції «Нова українська школа». Розвиток дослідницької діяльності учнів засобами моделювання створює умови для експериментального осмислення природних процесів, аналізу даних, формування причинно-наслідкових зв'язків та ухвалення обґрунтованих висновків. Практичний характер моделювання забезпечує активну навчальну діяльність, що відповідає STEM-підходу та посиленню природничо-наукового компонента в освітніх програмах. Педагогічна значущість теми полягає у можливості формувати дослідницьку компетентність не лише на рівні засвоєння теоретичного матеріалу, а й шляхом діяльнісного підходу,

який розкриває реальні ґрунтові процеси через експеримент, аналіз показників родючості, роботу з даними та моделювання ґрунтових систем.

Таким чином, організація гуртка «Ґрунтознавець» із використанням технологій моделювання є актуальною з огляду на необхідність екологічної освіти, розвиток STEM-компетентностей, формування дослідницьких умінь та підвищення інтересу учнів до природничих наук, що повністю відповідає завданням сучасної освіти та вимогам НУШ.

Апробація та впровадження результатів дослідження. За темою магістерської роботи опубліковані тези у збірнику міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 25-ій річниці створення кафедри геоекології та гідрології Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка і 10-ій річниці початку створення територіальних громад в Україні: «Підходи до вибору індикаторів якості ґрунту» (Шукшин О.С., Гуменюк Г. Б., Яворівський Р.Л., Мацюк О.Б.).

Структура і обсяг магістерської роботи: Магістерська робота викладена на сторінках тексту і складається із вступу, трьох розділів розділів, висновків, списку літератури, анотації. Робота ілюстрована 13 таблицями, 21 рисунком.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДД – дослідницька діяльність

ДК – дослідницька компетентність

КЯГ – коефіцієнт якості ґрунту

НУШ – Нова українська школа

S

T **КТД** – календарно-тематичне дослідження (у межах гуртка)

E **P** – фосфор (хімічний елемент)

M **N** – нітроген (хімічний елемент)

– природничо-науковий показникний підхід

K – калій (хімічний елемент)

Ca – кальцій (хімічний елемент)

T

I

M

S

S

T

r

e

n

d

s

i

n

I

n

t

e

r

n

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ТА ПЕДАГОГІЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ УЧНІВ

Особливості формування дослідницької компетенції та її взаємозв'язок з дослідницькою діяльністю

Вивчення родючості ґрунтів у контексті педагогічної та методичної діяльності має важливе значення для формування в здобувачів освіти природничо-наукової компетентності, екологічної свідомості та дослідницьких умінь. Ґрунт є універсальним об'єктом, на якому ефективно реалізуються принципи дослідницького навчання, STEM-підходів, екологічної освіти, а також інтеграції теорії з практикою. Дослідження ґрунтів дозволяє здобувачам освіти набувати досвіду наукового пошуку, опрацьовувати та інтерпретувати результати вимірювань, проводити експеримент, формувати вміння бачити причинно-наслідкові зв'язки у природних процесах.

Формування дослідницької компетенції є поетапним процесом, що передбачає розвиток умінь самостійно здобувати знання, застосовувати наукові методи, аналізувати результати та робити обґрунтовані висновки. Вона має інтегративний характер і охоплює мотиваційний, когнітивний, операційно-діяльнісний, комунікативний та рефлексивний компоненти, які формуються у процесі активної пізнавальної діяльності учнів.

Дослідницька діяльність є ключовим засобом формування дослідницької компетенції, оскільки забезпечує практичну реалізацію набутих знань і вмінь. Взаємозв'язок між ними має двосторонній характер: залучення учнів до досліджень сприяє розвитку дослідницької компетенції, а сформована компетенція, своєю чергою, забезпечує більш усвідомлене й результативне виконання дослідницьких завдань.

З педагогічної точки зору дослідницька діяльність із вивчення родючості ґрунтів відповідає сучасним освітнім тенденціям, спрямованим на розвиток

критичного мислення, формування компетентностей на основі діяльнісного підходу та застосування інтерактивних методів навчання. Організація таких досліджень сприяє розвитку ключових компетентностей: вміння працювати з інформацією, проводити спостереження, застосовувати методи аналізу та синтезу, працювати в команді, робити обґрунтовані висновки.

У структурі дослідницької компетентності виділяються наступні компоненти:

- Мотиваційно-ціннісний компонент включає систему мотиваційно-ціннісних та професійно-значущих мотивів стосовно дослідницької діяльності, а також емоційно-вольові та ціннісні ставлення студентів до світу, діяльності, людей, самого себе, власних здібностей та їх розвитку. Це включає усвідомлене уявлення про цінність сучасної освіти та вміння формулювати цілі дослідницької діяльності відповідно до гіпотези та завдань дослідження.
- Когнітивний компонент відображає систему професійних та міждисциплінарних наукових знань і пізнавальних умінь науково-дослідницької діяльності.
- Діяльнісно-практичний компонент містить сукупність способів і прийомів науково-дослідницької діяльності, а також вміння реалізувати їх у дослідницькій діяльності, розвинену самостійність і творчу активність.
- Рефлексивний компонент включає в себе діяльність, пов'язану з усвідомленням й оцінюванням ходу й результатів самостійної дослідницької діяльності. Здатність до саморегуляції, наявність знань про способи професійного самовдосконалення, вміння усвідомлювати рівень власної діяльності та своїх здібностей також входять в цей компонент. Важливою частиною є бажання самоудосконалюватися, вміння використовувати механізм самооцінки власних досягнень в дослідницькій діяльності. Це передбачає вміння виявляти у своїй роботі позитивні й негативні аспекти, порівнювати досягнуті результати з наміченими цілями й завданнями,

реально усвідомлювати свої можливості та адекватно планувати й реалізовувати програму наукового дослідження [24].

Компоненти дослідницької компетентності здобувачів освіти виконують низку функцій, таких як спонукальна, ціннісно-орієнтовна, когнітивна, результативна і регулятивна.

Оскільки компетентність пов'язана із здатністю ефективно діяти в різноманітних ситуаціях, структурні компоненти дослідницької компетентності, повинні відповідати компонентам дослідницької діяльності. Єдність теоретичних та практичних дослідницьких вмінь формує модель дослідницької компетентності [24].

1.2. Педагогічні засади дослідницької діяльності у (позакласній) гуртковій роботі з біології та екології

На сучасному етапі розвитку педагогічної науки посилюється інтерес до проблематики гурткової роботи як специфічної форми позакласної та позашкільної діяльності. Історичні засади організації позакласної діяльності учнів були окреслені у працях С. Шацького. Дослідник наголошував на необхідності створення додаткових форм організації вільного часу дітей, які сприяли б розвитку їхніх інтересів, здібностей та ініціативи, а також запобігали негативним впливам стихійного середовища. Науковець підкреслював важливість гурткової діяльності як простору для самостійності, активності й творчості дітей [50].

Праці Г. Пустовіта присвячено теоретико-методичним основам організації гурткової роботи в позашкільних закладах, зокрема екологічного спрямування [38]. Автором доведено ефективність відповідної організаційно-педагогічної структури, розроблено навчальні програми та методичні матеріали, спрямовані на удосконалення екологічної освіти учнів. Актуальність екологічної тематики та дослідницького підходу у гуртках підкреслює С. Совгіра, яка визначає постійний

с

к

л

а

сприяє формуванню стійкої навчальної мотивації, розвитку наполегливості, дослідницьких умінь та професійних освітніх орієнтацій. Н. Сушик у методичних рекомендаціях окреслює характерні ознаки гуртка як форми позакласної діяльності: добровільність участі, діяльнісний характер, відносно малу чисельність учасників, гнучкість змісту та можливість творчої адаптації навчального матеріалу [45].

Перевагою гурткової роботи є створення умов, у яких учні опановують нові знання, відпочивають, взаємодіють з однолітками, беруть участь у творчих іграх і практичній діяльності. Дослідження І. Мороз та Н. Грицай містять розгорнутий аналіз організації гуртків еколого-натуралістичного спрямування, їх структури, вікових особливостей і змістових підходів. Автори визначають гурток як найбільш поширену добровільну форму об'єднання учнів, що забезпечує можливість поглибленого вивчення природничих дисциплін [8].

На основі аналізу педагогічної літератури можна констатувати, що класифікація гуртків охоплює кілька критеріїв: напрям діяльності, тривалість, віковий склад та зміст. У контексті дослідження особливий інтерес становлять гуртки еколого-натуралістичного спрямування, які частіше є довготривалими, різновіковими та мають однопрофільний зміст. Отже, вивчення теоретичних засад гурткової діяльності та її організаційних моделей дає змогу визначити оптимальні підходи до роботи з учнями, забезпечити розвиток пізнавальних інтересів, природничої компетентності, дослідницьких умінь і творчих здібностей школярів, а також створити сприятливі умови для їхньої самореалізації у позаурочний час. У методиці навчання природничих дисциплін дослідницька діяльність розглядається як вищий рівень пізнавальної активності, що забезпечує глибоке та усвідомлене засвоєння знань [24]. Власне, вивчення родючості ґрунтів дозволяє реалізувати принципи:

- наочності, оскільки дослідники працюють із реальними ґрунтовими зразками;

- зв'язку теорії з практикою, через поєднання навчального матеріалу з польовими та лабораторними дослідженнями;
- науковості, що проявляється у використанні сучасних методів аналізу;
- проблемності, адже дослідження ґрунтів містить значний потенціал для постановки дослідницьких задач;
- індивідуалізації та диференціації, оскільки здобувачі освіти можуть обрати власні напрями дослідження.

Дослідження родючості ґрунтів формує в учнів і студентів навички самоорганізації, планування експерименту, контролю та оцінювання власної діяльності. Воно також сприяє формуванню екологічної культури, усвідомлення залежності людини від стану ґрунтового покриву, що є важливою складовою компетентнісної природничої освіти.

1.3. Методичні основи організації дослідницької діяльності учнів у вивченні родючості та моделюванні ґрунтів

Методика організації дослідницької діяльності передбачає структуровану систему роботи, у якій студент або учень виступає активним учасником пізнання, а педагог – консультантом, наставником і модератором. Дослідження родючості ґрунтів може реалізовуватися в межах лабораторних практикумів, навчальних проєктів, факультативних занять, польових практик, STEM-уроків або екологічних експедицій [13].

Етапи організації дослідження

Методично доцільно виділяти такі етапи [35]:

1. Мотиваційно-цільовий етап

- формування пізнавального інтересу;
- постановка проблеми;

- обговорення значення ґрунтових ресурсів у житті людини.

2. Проектувально-планувальний етап

- визначення мети та завдань дослідження;
- вибір об'єктів;
- складання плану та програми дослідження;
- аналіз джерел.

3. Операційно-дослідницький етап

- відбір ґрунтових зразків;
- лабораторний аналіз показників родючості;
- застосування цифрових та вимірювальних технологій;
- ведення польових журналів і протоколів.

4. Аналітико-інтерпретаційний етап

- статистична обробка даних;
- інтерпретація результатів;
- формулювання висновків.

5. Презентаційний етап

- представлення результатів у формі звітів, презентацій, наукових робіт;
- рефлексія та самооцінка діяльності.

Такий підхід відповідає компетентнісній парадигмі освіти, забезпечуючи формування дослідницьких умінь, що є пріоритетними в сучасній педагогіці.

1.4. Методичні підходи та педагогічні технології дослідження родючості та моделювання ґрунтів школярами у гуртковій роботі.

У контексті вивчення родючості ґрунтів ефективними є такі методи та технології :

- дослідницьке навчання (inquiry-based learning) – учасники навчаються через активне дослідження;
- проектна діяльність – створення навчальних мініпроектів або проектів довготривалої дії;
- STEM-освіта – інтеграція природничих наук, технологій, техніки та математики;
- польові практики – спостереження, картування та робота з природними об'єктами;
- цифрові технології – використання мобільних застосунків, ків, ГІС та онлайн-платформ [2];
- кооперативне навчання – робота в групах над спільним дослідницьким завданням.

Такі технології сприяють розвитку в здобувачів освіти навичок 21 століття: критичного мислення, аналізу даних, комунікації та відповідального ставлення до довкілля [51].

Організація досліджень родючості ґрунтів у навчальному процесі забезпечує:

- формування наукової картини світу;
- розвиток умінь працювати з природними об'єктами;
- практичне застосування теоретичних знань;
- підвищення мотивації до природничих наук;
- виховання екологічної відповідальності;
- розвиток здібностей до самостійного наукового пошуку.

У педагогічному аспекті такі дослідження сприяють формуванню дослідницької компетентності — здатності самостійно ставити проблему, планувати експеримент, добирати методи та критично оцінювати результати.

1.5. Педагогічна модель організації дослідницької діяльності учнів щодо вивчення родючості та моделювання ґрунтів

Родючість ґрунтів є одним із ключових факторів, що визначають продуктивність агроєкосистем, ефективність сільськогосподарського виробництва та екологічну стабільність територій. В умовах зростаючого антропогенного навантаження, деградації земель і зміни клімату особливої актуальності набуває формування дослідницької компетентності здобувачів освіти у сфері ґрунтознавства та природокористування. Педагогічна модель організації дослідницької діяльності, спрямована на вивчення родючості ґрунтів, дає змогу сформувати в учнів та студентів системне розуміння ґрунтових процесів, розвинути навички наукового пошуку, критичного мислення та екологічно відповідальної поведінки [39]. Запропонована модель базується на міждисциплінарному підході [7], поєднує теоретичну підготовку, практичні дослідження, проєктну діяльність і використання цифрових інструментів, зокрема методів машинного навчання для аналізу ґрунтових показників.

Теоретичний компонент моделі

Теоретичний блок передбачає формування у учнів базових знань про:

- будову та походження ґрунтів;
- основні показники родючості (гумус, структура, рН, вміст поживних елементів);
- антропогенні чинники деградації (ерозія, виснаження, забруднення, ущільнення);
- екологічні функції ґрунтів у біосфері;
- сучасні методи ґрунтової діагностики.

Теоретичний матеріал супроводжується аналізом реальних кейсів, відеоматеріалами, роботою з картами ґрунтів, електронними базами даних та GIS-платформами. Теоретичний компонент моделі формує понятійну та наукову основу для подальшої дослідницької роботи.

Практико-дослідницький компонент

Центральною складовою моделі є організація практичних досліджень, що можуть проводитись у шкільних лабораторіях або в польових умовах. Практичні заняття охоплюють:

- відбір зразків ґрунту за науковою методикою;
- визначення гранулометричного складу;
- аналіз вмісту гумусу (методом Тюріна або модифікованими методами);
- вимірювання рН та електропровідності;
- аналіз структури та водопроникності ґрунту.

Під час виконання лабораторних і польових робіт учні та студенти опановують:

- методи вимірювання та документування результатів;
- правила роботи з приладами та обладнанням;
- базові навички статистичного аналізу;
- навички інтерпретації ґрунтових показників у контексті родючості.

Регулярні дослідження сприяють формуванню наукового стилю мислення, відповідальності та вмінню працювати з емпіричними даними.

Проектно-аналітичний компонент

Проектна діяльність є завершальним етапом реалізації педагогічної моделі. Вона включає:

- формулювання дослідницької проблеми;
- розробку індивідуального або групового проєкту;
- проведення експериментів чи польових спостережень;
- обробку даних, включно з використанням цифрових технологій та машинного навчання;
- підготовку презентації та захисту результатів.

Особливу увагу зосереджено на використанні сучасних цифрових інструментів. Зокрема, алгоритми машинного навчання можуть застосовуватися для [2]:

- моделювання залежностей між показниками родючості;
- прогнозування вмісту органічного вуглецю в ґрунтах;
- класифікації типів ґрунтів за польовими даними;

Такі технології не лише підвищують точність аналізу, а й роблять навчальний процес сучасним і науково орієнтованим.

Педагогічні умови ефективної реалізації моделі

Для результативного впровадження моделі необхідно забезпечити такі педагогічні умови [26]:

оєднання теорії та практики – інтеграція навчального матеріалу з реальними природними об'єктами та дослідженнями.

оступове ускладнення завдань – від простих спостережень до повноцінних наукових проєктів.

астосування компетентнісного підходу – орієнтація на формування дослідницьких, аналітичних та екологічних компетентностей.

використання сучасних технологій – цифрові лабораторії, мобільні додатки для аналізу ґрунтів, GIS, інструменти машинного навчання.

ідтримка індивідуальних інтересів здобувачів освіти – можливість вибору теми дослідження, участь у конкурсах та польових практиках.

Реалізація цих умов сприяє розвитку мотивації до наукової діяльності та підвищенню якості підготовки майбутніх фахівців у галузі природничих наук.

Результати впровадження моделі

Ефективне застосування педагогічної моделі організації дослідницької діяльності щодо родючості ґрунтів забезпечує:

- формування у здобувачів освіти цілісного уявлення про ґрунти як складну екосистему;
- розвиток навичок наукового мислення та самостійної дослідницької роботи;
- підвищення екологічної відповідальності та усвідомлення значення ґрунтів для сталого розвитку;
- здатність працювати з емпіричними даними та сучасними методами їх аналізу;
- підготовку до участі у наукових проєктах, конкурсах МАН [23].

Педагогічна модель організації дослідницької діяльності щодо вивчення родючості ґрунтів є ефективним інструментом формування екологічної компетентності та наукового мислення здобувачів освіти. Вона інтегрує зміст природничих дисциплін, практичні дослідження, цифрові технології та проєктну діяльність. Такий підхід сприяє глибокому розумінню процесів, що відбуваються у ґрунтах, формуванню відповідального ставлення до природних ресурсів та підготовці здобувачів освіти до майбутньої професійної діяльності.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Стан ґрунтового покриву сільськогосподарських ландшафтів є один із головних джерел, що забезпечує сталий розвиток біосфери. Розорювання земель, недотримання технологій обробітку, необґрунтоване застосування мінеральних добрив і засобів захисту рослин призвели до порушення динамічної рівноваги, яка підтримувала родючість і, як наслідок, це спричинило деградацію ґрунтів. Найбільш масштабними є ерозія ґрунтів (57,5 % території), підтоплення (12 %) та інші чинники [29].

Моніторинг, аналіз, оцінювання й прогнозування стану ґрунтів є важливим, як на національному, так і на регіональному, і локальному рівнях [3]. Землі Хмельницької області України зазнають найбільшого впливу від сільськогосподарської діяльності з-поміж усіх видів природокористування. Сільськогосподарська освоєність території області є однією із найвищих в Україні і становить близько 78 %.

Це впливає не лише на формування сучасної структури земельного фонду, але й визначає ефективність використання земельних ресурсів, як основного засобу сільськогосподарського і лісгосподарського виробництв [44]. Актуальною проблемою сучасного світу є погіршення екологічного стану земель сільськогосподарського використання, що спостерігається і в Україні.

Вчені підкреслюють важливість урахування екологічних факторів (рівень розораності земель, екологічна стабільність, забруднення земель, розвиток деградаційних процесів тощо) у процесі організації ефективного сільськогосподарського землекористування [69]. Ідентифікація екологічних загроз і ризиків дозволить змоделювати заходи протидії впливу екодеструктивних факторів та сформувати механізм їх реалізації, що позитивно вплине на стан сільськогосподарського землекористування. Тому для виявлення екодеструктивних факторів у системі сільськогосподарського землекористування необхідно дослідити

вплив на якість ґрунтів деяких елементів родючості і розробити математичну модель їх якості.

2.1. Матеріали і методи

Територія дослідження розміщена у межиріччі Горині та притоки Случа р. Хомора. Це південно-східна частина Ізяславської територіальної громади обмежена з півдня обширною заболоченою низовиною по лінії сіл Щурівці – Забрід – Топірчики. Загалом, територію являє собою припідняту горбисту рівнину, розчленовану долинами малих річок – приток Горині та Хомори. Абсолютні висоти в межах 250–300 м над рівнем моря. Досліджувані ділянки розміщені західніше с. Топори в напрямку с. Щурівці та між селами Ріпки і Топори. Зразки відібрані як на великих масивах орних земель, так і на присадибній ділянці, ближче до с. Топори. Основним фактором ландшафтної диференціації території Ізяславської громади виступають рельєф, а також склад і особливості залягання гірських порід. Саме вони визначають геопросторові особливості розвитку ґрунтового покриву та поширення рослинних угруповань.—З позиції фізико-географічного районування, регіон дослідження відноситься до Вілійсько-Ізяславського району Середньоподільської височинної області зони широколистяних лісів [1]. Поверхневі відклади Ізяславського фізико-географічного району представлені переважно малопотужними лесоподібними суглинками. Останні перекривають неогенові глинисто-піщані відклади. Широко розвинена яружно-балкова сітка, особливо на схилах річкових долин, глибина врізу її незначна. Поверхня ускладнена блюдцеподібними суфозійно-прогинними зниженнями (рис.2.1.1) [1].-У ґрунтовому покриві домінують чорноземи опідзолені та темно-сірі опідзолені ґрунти з вмістом гумусу менше 3 % та pH 5,6–6,5 [31]. Трапляються також чорноземи типові глибокі малогумусні. Домінантними урочищами є слабохвилясті середньорозчленовані межирічні рівнини, складені лесоподібними відкладами, залягаючими на неогенових пісках, місцями глинах або глинистих сланцях. Тривалий процес господарського освоєння території став причиною тотального перетворення

природних грабових дібров. Сьогодні тут переважають орні землі і відбуваються поступові зміни в структурі ґрунтового покриву.–Основним видом господарської діяльності регіону є сільськогосподарське виробництво. Діють сільськогосподарські підприємства СТОВ «Колос», ТОВ «Еліта», ФГ «Агро-Ріпки», ФГ «Люльчук», ФГ «Гнатюка О.М.», ТОВ «Дельтар», ФГ «Свидерок» та індивідуальні селянські господарства. Основним видом сільськогосподарської діяльності є вирощування зернових і технічних культур, виробництво м'ясо-молочної продукції, а допоміжним – вирощування овочевих культур.



Рис. 2.1.1 Ландшафтна карта України (за даними [31, 32]).

2.2. Лабораторні аналізи

Для дослідження використовувались земельні ділянки ТОВ «Дельтар», ФГ «Свидерок» та приватного господарства у с. Топори навесні 2025 та восени 2024 і 2025 р. Для проведення експерименту відбирали ґрунт відповідно до ДСТУ ISO

11464:2007 [19]. Ґрунт просушували до постійної ваги на повітрі та просівали для видалення каміння і залишків рослин (діаметр вічка сита – 2 мм). Зразок ґрунту поміщали у поліетиленовий мішечок чи паперовий пакет із етикеткою, на якій вказували господарство і його адресу, номер поля, назву ґрунту, глибину відбору зразка і дату відбору (рис.2.2.1).



Рис 2.2.1 Розміщення дослідних ділянок на території Ізяславської громади Хмельницької області

Різні параметри ґрунту визначали стандартними методами. Вміст амонійного та нітратного азоту визначали згідно з ДСТУ 4725:2007 [16]. Рухомі форми фосфору та калію вимірювали згідно з ДСТУ методом Чирікова 4115:2002 [14]; вміст кальцію визначали згідно з ДСТУ 7861:2015 [17]. рН ґрунту (зі сольовим вилученням) вимірювали згідно з ДСТУ ISO 10390:2001 [18]. Загальну органічну речовину вимірювали за методом Тюріна ДСТУ 4289:2004 [15]. Для проведення дослідження використані реактиви класифікації «хч» (Sigma).

Статистичну обробку отриманих нами даних та побудову регресійної моделі якості ґрунту проводили за допомогою програм «Microsoft Excel 2016» та «Statistica коефіцієнтами кореляції від 0,3 до 0,7, у яких рівень значущості $p > 0,05$, були виключені з регресійного аналізу. Для перевірки якості прогностичної моделі

використовували критерій Нейджелкерка (R^2), а для оцінки прийнятності моделі – аналіз ANOVA [5,61,66,67,68].

2.3. Аналіз гідрохімічних показників

Згідно зі Всесвітньою реферативною базою ґрунтових ресурсів (ФАО Організації Об'єднаних Націй, 2015), досліджувані ґрунти належать до феоземів та чорноземів [59]. Дослідження власне проводилося на чорноземах опідзолених, які утворилися на лесовидних суглинках важкосуглинкового гранулометричного складу в смузі переходу від чорноземів типових до темно-сірих опідзолених ґрунтів, де залежно від висоти, особливостей рельєфу, експозиції складаються різні гідротермічні умови. Тому може спостерігатися різне співвідношення процесів акумуляції гумусу, вилуговування карбонатів та опідзолення. З високим ступенем ймовірності можна стверджувати, що результати досліджень у цьому стаціонарному досліді можна поширювати також і на інші типи ґрунтів на лесових породах, зокрема на чорноземи типові та темно-сірі опідзолені ґрунти. Папіш І. (2016) [36] зазначив, що чорноземам опідзоленим властиве поєднання ознак чорноземів типових та опідзолених ґрунтів, попри те, що у всесвітній реферативній базі FAO/WRB та в національних класифікаціях окремих країн ці ґрунти належать до різних типів [62,71]

За однакового гранулометричного складу вони є подібними за рівнем накопичення азоту, фосфору та калію, тобто мають близький рівень потенційної родючості. Завдяки здатності накопичувати значний запас азоту такі ґрунти забезпечують стабільну врожайність культур, навіть без застосування мінеральних добрив [58].

Обмінна кислотність. Аналіз рівня обмінної кислотності зразків ґрунту досліджених ділянок Ізяславської громади Хмельницької області показав, що вони близькі до нейтральних або нейтральні. Середньозважений показник становив pH 6,8 (рис.2.3.1). Найвище значення pH спостерігалась у ґрунту фермерського господарства «Свидерок» – 7,2 (близькі до нейтральних).

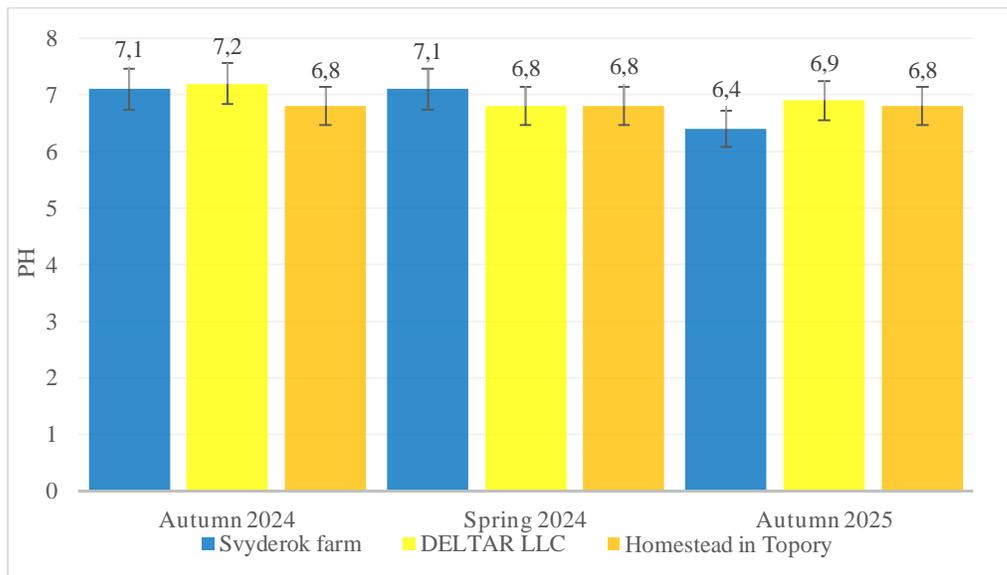


Рис. 2.3.1 Сезонна динаміка обмінної кислотності в ґрунтах Ізяславської громади Хмельницької області ($M \pm m$), $n=15$.

Враховуючи, що сільськогосподарські культури потребують слабокислої (pH 5,1–5,5) (картопля, жито) нейтральної (pH 6,1–7,0) або близької до нейтральної (pH 7,1–7,5) реакції ґрунтового розчину [40], концентрація обмінної кислотності на досліджених ділянках є оптимальною для одержання високих врожаїв.

Органічний карбон. Вміст органічної речовини ґрунту є показником його родючості. Вона є найбільшим планетарним резервуаром Карбону, тому навіть незначна інтенсифікація збільшує концентрацію парникових газів, зокрема діоксиду карбону в атмосфері. Екологічна роль органічної ґрунту (ОРГ) полягає не лише у резервуванні значних кількостей Карбону і Нітрогену, а й у забезпеченні фітоценозу і мікробіоти елементами мінерального живлення й енергією [63]. Органічний вуглець ґрунту відіграє ключову роль у глобальному циклі вуглецю та впливає на структуру ґрунту. Вуглець змінює біологічні, хімічні та фізичні властивості ґрунтів. Він впливає на здатність утворювати комплекси з іонами металів та зберігати воду [70]. Органічний вуглець сприяє здатності ґрунту до катіонного обміну та утриманню калію, кальцію, магнію тощо. При поступовій мінералізації органічного карбону ці елементи переходять у мінеральні форми і використовуються рослинами. При розкладі органічного карбону і органічних залишків виділяється велика

рослин. Він концентрує до 98% усіх запасів азоту, 80% – сірки, 60% – фосфору і мікроелементів [46].

Аналіз отриманих результатів показав, що у ґрунтах досліджених ділянок вміст органічного Карбону середній і підвищений. (рис. 2.4.). Спостерігається тенденція незначного зменшення кількості органічного Карбону восени, очевидно, внаслідок мінералізації й підвищення його вмісту навесні. Винятком є його вміст восени 2025 року у ґрунтах приватного підприємства в с. Топори (4,1 %) (рис.2.3.2). Середньозважений показник становить 3,0 %, що відповідає середньому рівню. Падіння органічного карбону пояснюється недостатнім внесенням органічних добрив, інтенсивним обробітком, насиченням сівозмін просапними культурами, зменшенням площ під травами [37].

Для забезпечення відтворення органічного карбону найважливішим ресурсом залишаються органічні добрива. Проте, застосування органіки в господарствах району залишається мізерним. Останнє десятиліття аграрії почали заорювати побічну продукцію рослинництва та солому, яка є цінним джерелом надходження поживних речовин до ґрунту та утворення гумусу, а також збільшилися посіви сидеральних культур. Але, на жаль, такої статистичної звітності не ведеться [11,40].

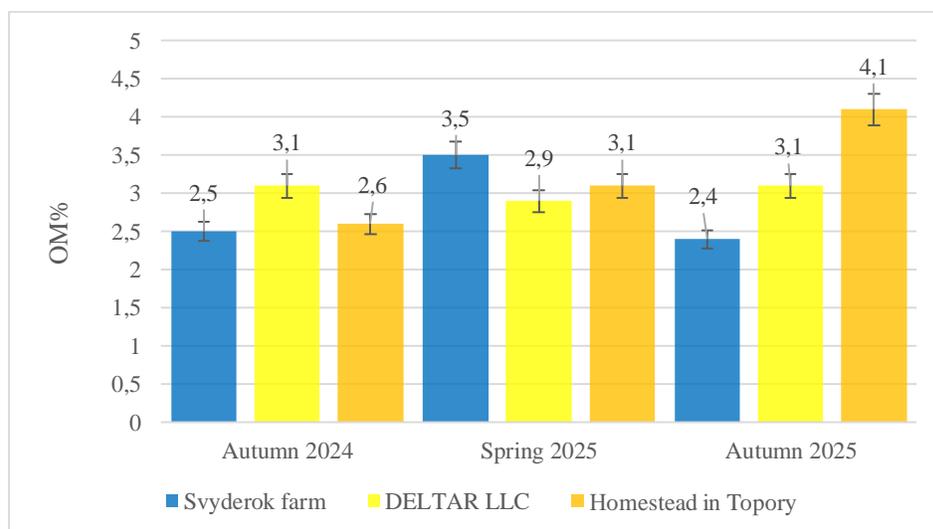


Рис. 2.3.2 Сезонна динаміка вмісту органічного Карбону в ґрунтах Ізяславської громади Шепетівського району Хмельницької області ($M \pm m$), $n=15$.

Амонійний азот. Серед мінеральних сполук Нітрогену відводиться головне значення у живленні рослин мають нітратний та амонійний азот ґрунтового розчину або колоїдів. Ці сполуки динамічні в часі, легкорухомі, легкорозчинні й легкодоступні [6,60,72]. Сумарний вміст нітратного й амонійного азоту є діагностичним критерієм наявності в ґрунті доступного Нітрогену [33]. Тому для оцінки забезпеченості рослин азотом головну роль відіграє кількість у ґрунті рухомих його сполук. Саме систематичні спостереження за динамікою сполук азоту в процесі росту і розвитку сільськогосподарських культур дають змогу встановлювати або коригувати дози внесення азотних добрив [34]-.

Вміст амонійного та нітратного азоту є динамічним показником, який постійно змінюється, багато в чому залежить від погодних умов, повітряного та водного режиму ґрунтів, а також мікробіологічної діяльності. Ці форми азоту варто визначати протягом періоду вегетації рослини [56]. Добрива на основі аміаку за нормальних умов розкладаються в ґрунті до нітратів. Нітрат – форма азоту, менш токсична для рослин, ніж аміак. Однак цей процес розкладання, який називається нітрифікацією, може бути пригнічений, коли ґрунт має дефіцит кисню (через ущільнення, поганий дренаж, мікробні спільноти тощо). Влітку, коли в ґрунті не вистачає кисню, накопичується токсичний аміак [52]

Аналіз отриманих результатів показав, що вміст амонійного азоту у ґрунтах досліджуваних територій дуже низький і у середньому становить 1,7 мг/кг. Його концентрація зростає навесні, порівняно із осінніми показниками, проте залишається дуже низькою (рис. 2.3.3). Очевидно, це пов'язано з тим, що йони NH_4^+ легко поглинається ґрунтом із частковим переходом в необмінний (фіксований) стан. Амоній, на відміну від нітратів, не накопичується в ґрунті у великій кількості, оскільки досить швидко окиснюється до нітратів [4]. Особливо легко вимиваються ґрунтовими водами у більш глибокі шари йони NO_3^- , оскільки вони слабо фіксуються в ґрунті і є рухливими. Катіони NH_4^+ менш рухливі, добре адсорбуються негативно зарядженими частинками, і тому вимиваються менше. Здебільшого, у ґрунтовому розчині концентрація NH_4^+ значно вища, ніж NO_3^- [12].

Щодо динаміки вмісту амонійного азоту, то концентрація восени на всіх досліджуваних ділянках більша, чим навесні, що, очевидно, пов'язано з накопиченням токсичного аміаку восени внаслідок недостачі кисню. Найбільшою варіацією характеризується показник вмісту амонійного азоту, але його значення значною мірою залежить від характеру опадів, періоду взяття зразків і промивного режиму ґрунту [54].

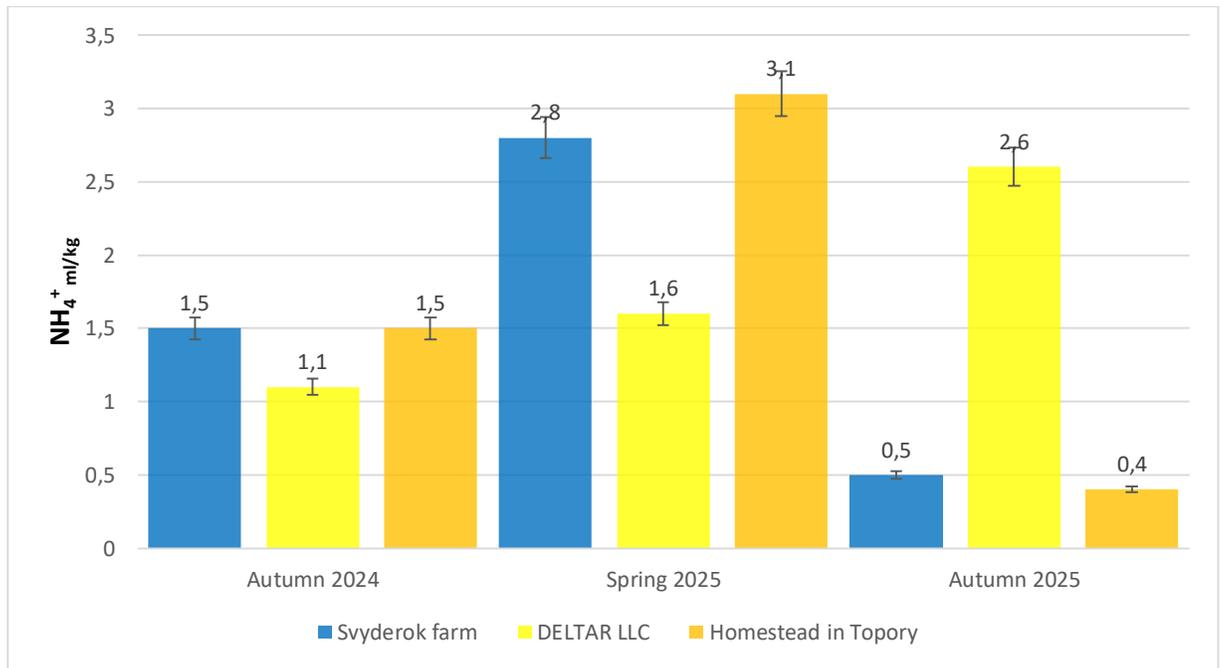


Рис. 2.3.3 Сезонна динаміка вмісту амонійного азоту в ґрунтах Ізяславської громади Шепетівського району Хмельницької області ($M \pm m$), $n=15$.

Нітратний азот. Нітратний азот – найпоширеніший показник доступності азоту в ґрунті. Нітрат – форма азоту, яка легко засвоюється рослинами та утилізується ґрунтовими мікроорганізмами, але також може швидко вимиватися з ґрунту [22]. Найбільші втрати азоту з ґрунтів відбуваються не тільки при вимиванні нітратів із ґрунтів атмосферними опадами та осушенням, а й при водній ерозії, незбалансованому внесенні мінеральних добрив, повній нестачі органічної речовини та органічних добрив. Значне варіювання вмісту нітратів у ґрунтах обумовлено інтенсивними процесами амоніфікації, нітрифікації, денітрифікації,

застосуванням добрив, споживанням азоту рослинами та водним режимом ґрунтового покриву.

У нейтральних і слаболужних ґрунтах, якими є досліджені ділянки ґрунту, більшість (75–90 %) мінерального азоту представлена нітратами. Вміст нітратного азоту у ґрунтах досліджуваних ділянок варіює від низького 4,2 мг/кг до високого – 24,1 мг/кг і дуже високого 78,1 мг/кг (рис.2.3.4). Середньозважений показник становить 23,3 мг/кг (підвищений). Восени 2024–2025 року спостерігалось зниження концентрації нітратного азоту. Це, ймовірно, викликано швидким вимиванням нітратів, особливо в дощові періоди [64]. Швидкість нітрифікації у ґрунті залежить від низки чинників, зокрема вологості, структури, вмісту гумусу, температури тощо [52]. А також, процеси нітрифікації особливо інтенсивно відбуваються навесні, коли виникають умови, що позитивно впливають на діяльність нітрифікуючих бактерій, і тоді вміст нітратного азоту у ґрунті також зростає [12].

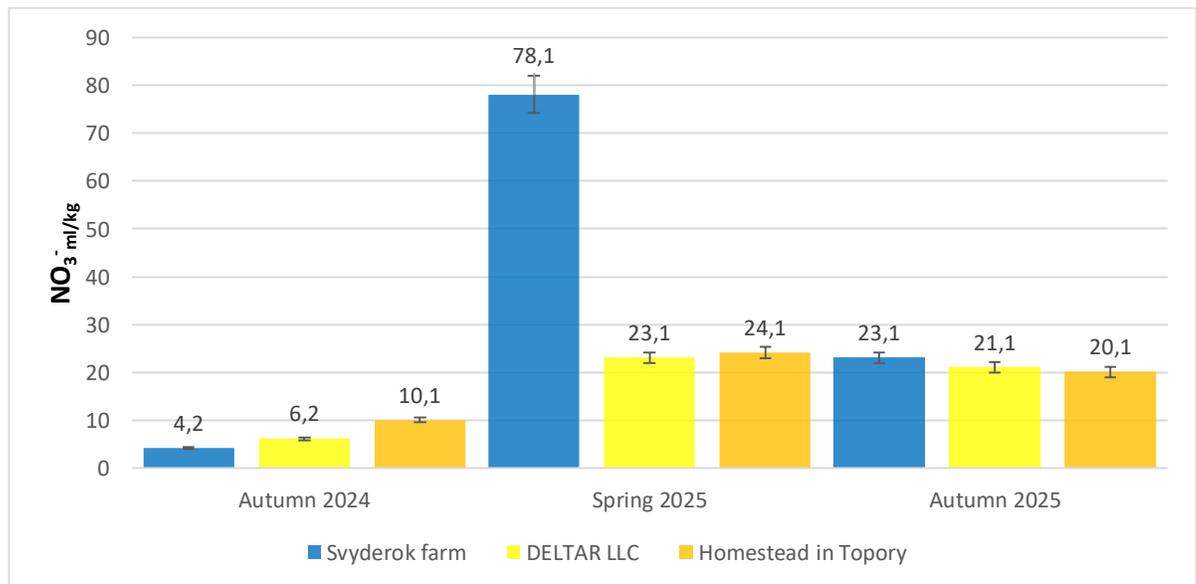


Рис. 2.3.4 Сезонна динаміка вмісту нітратного азоту в ґрунтах Ізяславської громади Шепетівського району Хмельницької області ($M \pm m$), $n=15$

Рухомий фосфор. Фосфор присутній у ґрунті як в органічній, так і в неорганічній (мінеральній) формі з низькою розчинністю в ґрунті. Наявність фосфору в рослинах стимулює ріст, підвищує продуктивність і прискорює

дозрівання [57]. Фосфор є одним із важливих чинників, який обмежує подальше зростання врожаю майже всіх без винятку культур. Парадоксальність питання про вмісту фосфору полягає в тому, що загальні запаси фосфору є надто важливими, оскільки цей макроелемент є одним із ключових компонентів мінерального живлення рослин і відіграє важливу роль у метаболізмі рослин [47].

Основними формами фосфору є ортофосфати з катіонами кальцію, магнію, натрію, калію, амонію. Доступність фосфатів, що застосовуються для рослин, визначається розчинністю продуктів реакції між добривами та ґрунтом, що дозволяє уникнути дефіциту, який призводить до зниження врожайності та рівня фосфору, доступного для рослин. Доступність для рослин внесених фосфатів визначається розчинністю продуктів реакції добрив із ґрунтом. Тому дуже важливим є підтримання рівня доступного для рослин фосфору для уникнення його дефіциту, що в результаті призводить до зниження урожайності культур.

Важливим показником, що впливає на родючість ґрунту є рухомі сполуки фосфору (рис.2.3.5) [47]. Фосфор засвоюється рослинами в значно менших дозах, ніж азот. Сполуки фосфору в ґрунті є малорухливими, важкорозчинними та важкодоступними рослинам під час їх вегетації. Фосфор у ґрунтовому розчині, як правило, міститься у відносно низьких концентраціях. Неорганічний фосфор зв'язує і утворює нерозчинні сполуки (солі) з різними мікроелементами ґрунту. Оскільки досліджені земельні ділянки характеризуються низьким рівнем рН, то доступність фосфору значно зменшується [55]. Більш нейтральний рН – 6,0–7,0 ідеально підходить для максимальної доступності фосфору. Імовірно вміст рухомого фосфору на приватних земельних ділянках дещо вищий, ніж на ділянках фермерського господарства. Стосовно динаміки рухомого фосфору згідно сезонності, то навесні вміст дещо вищий, чим восени [28].

Однією із актуальних проблем є оптимізація фосфатного режиму, оскільки фосфор відіграє важливе значення у процесах росту і розвитку рослин. Оптимальним вмістом рухомого фосфору у ґрунтах є 160–180 мг/кг [43]. Вміст рухомого фосфору у ґрунтах фермерського господарства «Свидерок» восени 2024

року становив – 99 мг/кг – середній, навесні 2021 року – 160 мг/кг – високий та восени 2021 року – 38 мг/кг – низький. У ґрунтах ТОВ «Дельтар» вміст рухомого фосфору восени 2024 року становив 74 мг/кг – середній, навесні 2025 року – 25 мг/кг, та восени 2025 року – 23 мг/кг – низький. У ґрунтах присадибної ділянки с. Топори вміст рухомого фосфору восени 2024 року був підвищеним –120 мг/кг, а навесні 2025 року – високим –155 мг/кг, а восени 2024 року низький –46 мг/кг. У цілому, спостерігається тенденція до зниження концентрації рухомого фосфору восени і підвищення навесні (окрім ТОВ «Дельтар»)(рис.2.3.5). Середньозважений показник становить 82 мг/кг (середній рівень).

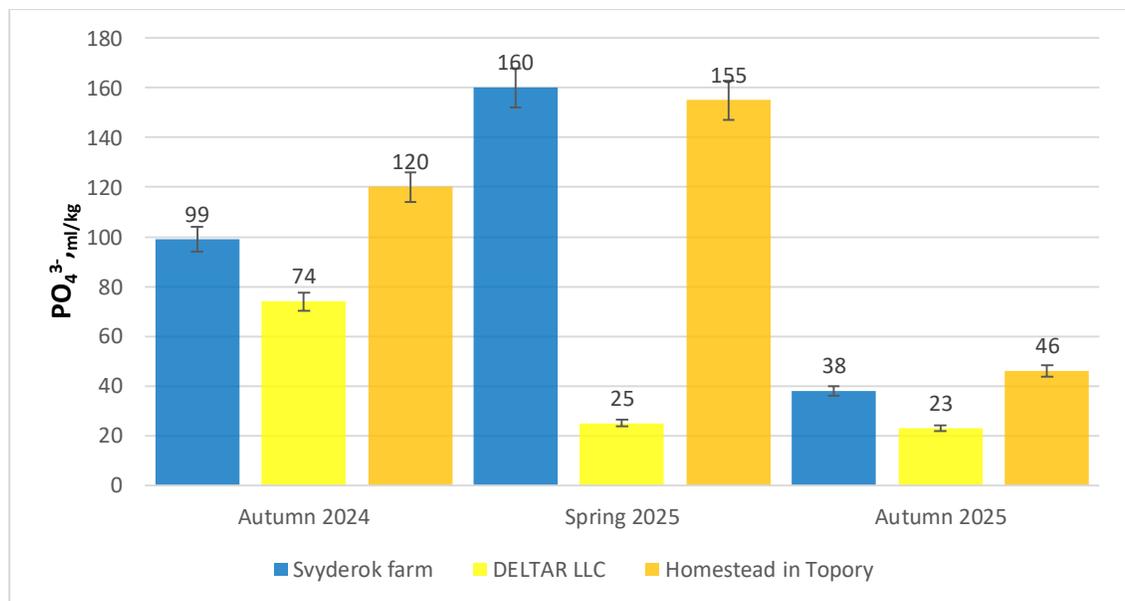


Рис. 2.3.5 Сезонна динаміка вмісту рухомого фосфору в ґрунтах Ізяславської громади Шепетівського району Хмельницької області ($M \pm m$), $n=15$.

При багаторічному екстенсивному використанні чорнозему типового (без застосування добрив) валовий вміст фосфору і його органічних форм зменшується. На фоні систематичного внесення фосфорних добрив фосфатний фонд чорнозему поліпшується: зростає валовий вміст фосфору й органічних фосфатів [32].

Обмінний кальцій. Кальцій коагулює ґрунтові колоїди в частинках глини, сприяє цементуванню, утворює дрібно грудочкуватого ґрунту. На відміну від глини, вапно не змінює свого об'єму при зволоженні і висиханні. За участю вапна

поліпшується аерація і водопроникність, унеможлиблюється утворення кірки, ґрунт стає рихлим, пухким, полегшується його обробіток.

При дефіциті кальцію знижується ферментативна та мікробіологічна активність ґрунтів, а також доступність інших елементів мінерального живлення, наслідком чого є порушення режиму живлення культурних рослин. Декальцинований ґрунт втрачає свої водо-фізичні властивості, погіршується структура, знижуються агрегатно-водостійкі зв'язки. Нестача кальцію в ґрунті призводить до порушення мінерального живлення рослин також тому, що він є одним з найважливіших незамінних елементів. Зменшення кальцію в ґрунті відбувається не на стільки в результаті винесення його з урожаєм сільськогосподарських культур, на скільки – внаслідок вимивання. Ці втрати досягають не співставних величин. Співвідношення між втратами кальцію з інфільтраційними водами і виносом урожаєм рослин може складати 4-5:1. Внесення добрив також прискорює втрати кальцію з ґрунту. Наприклад, амоній добрив витісняє кальцій з поглинаючого комплексу, який мігрує з фільтраційними водами [65].

У результаті досліджень встановлено, що вміст обмінного кальцію низький у ґрунтах усіх досліджуваних ділянок (рис.2.3.6). Особливо невисоких значень концентрація кальцію була восени 2025 року.

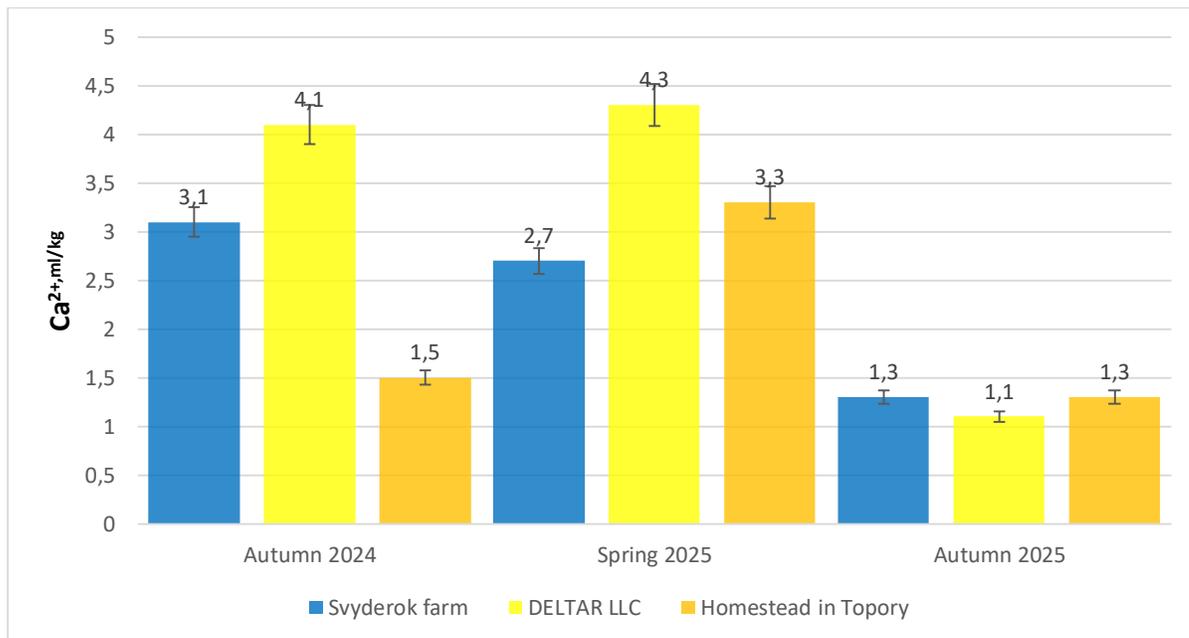


Рис. 2.3.6 Сезонна динаміка вмісту обмінного кальцію в ґрунтах Ізяславської громади Хмельницької області ($M \pm m$), $n=15$.

Середньозважений показник вмісту обмінного кальцію в Ізяславській громаді Хмельницької області становив 2,5 мг/кг, що відповідає дуже низькому рівню. На протиерозійну стійкість ґрунту істотний вплив має склад та місткість катіонів, які беруть участь в катіонному обміні, зокрема кальцію. Отже, низький рівень вмісту обмінних катіонів у ґрунтах досліджуваного регіону свідчить про дещо незадовільні водно-фізичні, фізико-хімічні властивості цих ґрунтів і про потенційну можливість розвитку ерозійних процесів [54].

Рухомий калій. Калію належить одна із основних ролей в живленні рослин. Увібраний ґрунтовими колоїдами, становить 0,8–1,5 % загального вмісту калію в ґрунті. Хороша доступність обмінного калію для рослин обумовлена його здатністю при обміні з іншими катіонами легко переходити в розчин, з якого він засвоюється рослинами. При нестачі калію в рослині гальмується синтез білка, в результаті порушується весь азотний обмін. Внесення високих норм амонійного азоту при нестачі калію призводить до накопичення в рослинах великої кількості непереробленого аміаку, який шкідливо діє на рослину. При нестачі калію затримується перетворення простих вуглеводів в складніші (оліго- і полісахариди)

[20]. Калій забезпечує живлення сільськогосподарських культур, впливає на формування високих урожаїв, а також на якість продукції рослинництва. Для різних культур оптимальним вмістом калію у ґрунті є 120–170 мг/кг [43].

Забезпеченість калієм у ґрунтах досліджених нами ділянок була дуже низькою. Особливо невисокі значення K^+ були у ґрунтах фермерського господарства «Свидерок» навесні та восени 2021 року – 4,9 та 7,1 мг/кг відповідно. і у ґрунтах ТОВ «Дельтар» 5,34 мг/кг (рис.2.3.7). Середньозважений показник вмісту обмінного калію у ґрунтах за становив 23,5 мг/кг, що відповідає дуже низькому рівню.

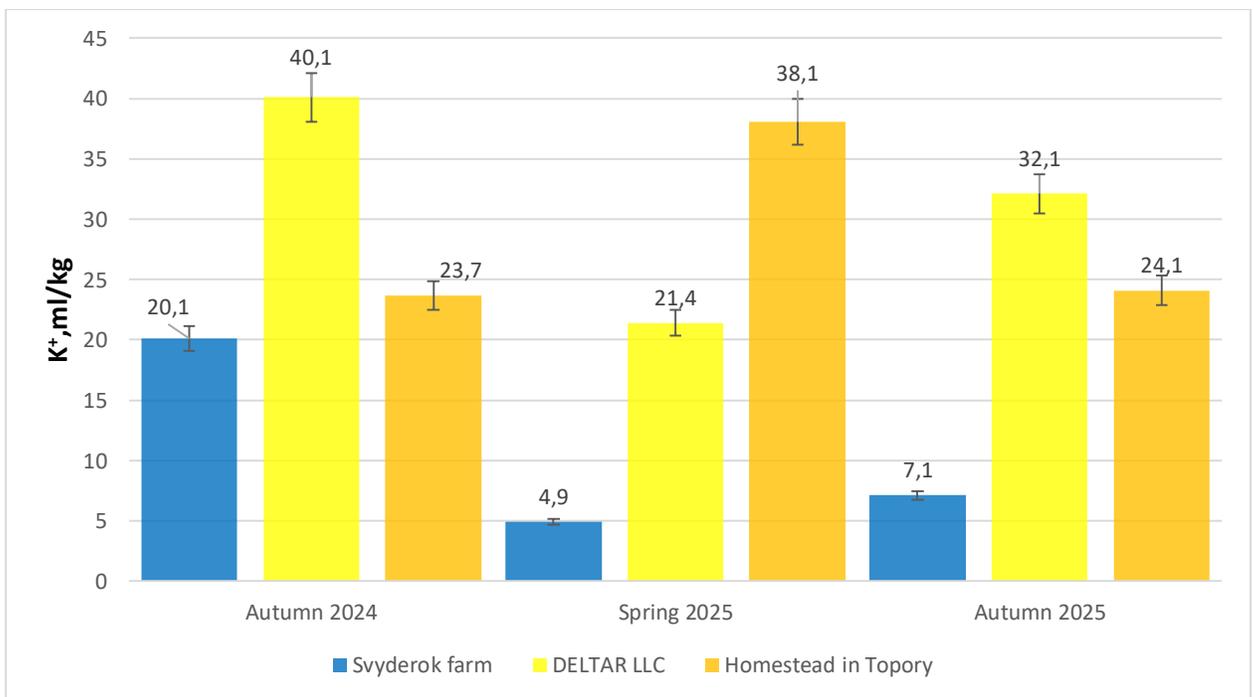


Рис. 2.3.7 Сезонна динаміка вмісту обмінного калію в ґрунтах Ізяславської громади Шепетівського району Хмельницької області ($M \pm m$), $n=15$.

Вміст обмінного калію у ґрунтах досліджуваного регіону є невисоким, що може призводити до порушення життєдіяльності рослин та зниження урожайності сільськогосподарських культур. Застосування калійних добрив – необхідна умова отримання високих і стійких врожаїв сільськогосподарських культур. При недостатньому калійному живленні затримується обмін речовин, підсилюються дисиміляційні процеси, порушується водообмін, що призводить до недобору

врожаю на 30–40 % [9]. Достатнє забезпечення калієм запобігає надлишковому накопиченню нітратів, оскільки при нестачі цього елемента гальмується синтез білків і вуглеводів, накопичується небілковий азот – нітрати.

Як нестача, так і надлишок мікроелементів значно впливає на урожайність та якість урожаю. Зі зменшенням внесення органіки майже припинилось природне поповнення мікроелементів у ґрунтах. Без них принципово неможливе повноцінне засвоєння основних добрив – азоту, фосфору і калію рослинами. Тому, тільки завдяки збалансованому застосуванню добрив, що містять мікроелементи, можливо отримати максимальний урожай належної якості [41].

2.4. Кореляційний аналіз та математична модель для визначення коефіцієнта якості ґрунту.

Якість ґрунту характеризує властивості ґрунту, які забезпечують його повноцінне існування, що проявляється в реалізації його функцій. В українських реаліях, коли частка сільськогосподарських земель складає 70 % загального земельного фонду країни, а 79 % від сільськогосподарських угідь – це орні землі, соціально-економічні аспекти питання якості ґрунтів мають пріоритетні позиції. Якість ґрунту сільськогосподарських земель характеризується певним рівнем продуктивності та визначається родючістю, яка показує здатність ґрунту забезпечити сільськогосподарські рослини поживними речовинами та вологою. Враховуючи різний характер використання та менеджменту сільськогосподарських угідь, різний набір сільськогосподарських культур, що вирощуються, вихідну природну строкатість ґрунтового покриву і його природну родючість, прямого кількісного однозначного визначення родючості не може існувати. А тому якість ґрунту, який використовується у сільськогосподарському виробництві, є функцією його родючості, яку можна формалізувати через набір певних показників, зокрема хімічних та агрохімічних (вміст органічного карбону, вміст макро-і мікроелементів живлення, вміст водорозчинних солей) [49]. Дієвим засобом для запобігання погіршення екологічного стану земельних ресурсів є моніторинг, аналіз,

оцінювання й прогнозування їх стану як на національному, так і на регіональному, і локальному рівнях [3].

В агрохімічних експериментах важливо вивести залежність між двома або декількома факторами, встановити їх взаємний зв'язок. Але в таких дослідженнях експериментатори рідко мають справу з точними і визначеними функціональними зв'язками [5]. Результати агрохімічних досліджень ґрунтів Ізяславської громади Хмельницької області вимагають встановлення кореляційних зв'язків між вмістом досліджуваними факторами родючості ґрунтів.

Загалом, аналіз кореляцій може надати важливу інформацію щодо взаємозв'язків між хімічними складовими ґрунту та вказати на ключові (значущі) фактори якості ґрунтів, що впливають на його стан і екологічну функцію (табл.2.4.1)

Таблиця 2.4.1
Фактори якості ґрунтів та їх індексація

Назва факторів	Умовні позначення факторів у математичній моделі прогнозування	Факторні діапазони та назви їх можливих варіант (групування ґрунтів, мг/кг)	Числові значення факторних діапазонів (якість ґрунтів)
Сезонність	X ₁	весна	1
		осінь	2
Рухомий фосфор (PO ₄ ³⁻)	X ₂	< 25	1
		26–50	3
		51–100	4
		101–150	6
		151–250	5
		> 250	2
Органічний карбон (ОМ)	X ₃	<1,1	1
		1,1–2,0	2
		2,1–3,0	3
		3,1–4,0	4

Назва факторів	Умовні позначення факторів у математичній моделі прогнозування	Факторні діапазони та назви їх можливих варіантів (групування ґрунтів, мг/кг)	Числові значення факторних діапазонів (якість ґрунтів)
		4,1–5,0	5
		> 5,0	6
Амонійний азот (NH ₄ ⁺)	X ₄	< 20	1
		21–30	2
		31–40	3
		41–50	4
		> 50	5
Обмінна кислотність (pH)	X ₅	< 6	1
		6,1–6,2	3
		6,6–6,7	10
		6,7–6,8	9
		6,8–6,9	8
		7–7,1	7
		7,12– 7,2	6
		7,2 –7,4	5
		7,5 – 7,7	4
>7,7	2		
Обмінний калій (K ⁺)	X ₆	< 40	1
		41–80	2
		81–120	3
		121–170	4
		171–180	5
		> 180	6
Нітратний азот (NO ₃ ⁻)	-	< 5	1
		6–10	2
		11–20	4
		20–30	5
		> 30	3
Обмінний кальцій (Ca ²⁺)	-	< 2,5	1
		2,6–5,0	3
		5,1–10	5
		10,1–15,0	6
		15,1–20,0	4
		> 20	2

Біодіагностичні показники не вважаються інформативними без їх статистичної і математичної оцінки. На основі коефіцієнта кореляції виділяють слабкі ($r = 0,01-0,29$), середні ($r = 0,30-0,69$) та сильні ($r = 0,7-0,99$) кореляційні зв'язки. З допомогою модуля STATISTICA 10 нами побудовано матрицю кореляцій [5] (табл. 2.4.2).

Таблиця 2.4.2

Кореляційна матриця з коефіцієнтами кореляції факторів родючості ґрунтів Ізяславської громади Хмельницької області

Correlations (Soil in Якість ґрунту)											
Marked correlations are significant at $p < ,05000$											
N=180 (Casewise deletion of missing data)											
Variable	Means	Std.Dev.	Сезонність	pH	OM	NH4+	NO3-	PO43+	Ca2+	K+	Якість ґрунту Б
Сезонність	1,66667	0,47272	1,000000	0,124570	-0,113423	-0,738661	-0,700609	-0,593262	-0,694882	0,207145	-0,545063
pH	6,78583	0,34628	0,124570	1,000000	-0,052768	0,051637	-0,406607	-0,233326	0,119427	0,210879	-0,561459
OM	2,86472	0,43414	-0,113423	-0,052768	1,000000	-0,098401	0,080511	-0,135454	0,015436	0,036668	0,353886
NH4+	2,00111	0,97568	-0,738661	0,051637	-0,098401	1,000000	0,492013	0,522611	0,551138	0,220971	0,316839
NO3-	29,31083	21,53389	-0,700609	-0,406607	0,080511	0,492013	1,000000	0,443913	0,249646	-0,309485	0,503936
PO43+	81,44861	44,90213	-0,593262	-0,233326	-0,135454	0,522611	0,443913	1,000000	0,297834	-0,108025	0,500770
Ca2+	2,60278	1,52781	-0,694882	0,119427	0,015436	0,551138	0,249646	0,297834	1,000000	-0,066911	0,276543
K+	25,24833	11,85536	0,207145	0,210879	0,036668	0,220971	-0,309485	-0,108025	-0,066911	1,000000	0,056284
Якість ґрунту Б	26,44444	3,64978	-0,545063	-0,561459	0,353886	0,316839	0,503936	0,500770	0,276543	0,056284	1,000000

Було встановлено наявність *позитивних* кореляційних зв'язків середньої сили між вмістом амонійного азоту (NH_4^+) та нітратного азоту (NO_3^-), рухомого фосфору (PO_4^{3-}), обмінного кальцію (Ca^{2+}); *позитивних* слабких кореляційних зв'язків, між вмістом рухомого калію (K^+) та сезонністю та вмістом органічного карбону. Встановлено *негативні* кореляційні зв'язки високої сили між вмістом амонійного азоту (NH_4^+), нітратного азоту (NO_3^-), обмінного кальцію (Ca^{2+}), рухомого фосфору (PO_4^{3-}) і сезонністю; *негативні* кореляційні зв'язки середньої сили між вмістом нітратного азоту (NO_3^-) та органічного карбону; *негативні* кореляційні зв'язки низької сили, між вмістом рухомого фосфору (PO_4^{3-}) та органічного карбону. Очевидно, це вказує на те, що ці речовини взаємодіють або мають спільні чинники впливу на своєрідні процеси в ґрунті. Зокрема, збільшення вмісту аміачного азоту може бути пов'язане з процесами азотного обміну в ґрунті, такими як амоніфікація. Це може впливати на утворення нітратного азоту через процес нітрифікації [48]. Така кореляція може бути вказівником особливостей ґрунтових умов, таких як реакція ґрунту (pH), доступність мікроелементів та інших факторів, які впливають на процеси обміну азоту та макроелементів. Аналіз рівня кислотності зразків

досліджених ділянок ґрунтів Ізяславської громади Хмельницької області показав, що ґрунти близькі до нейтральних або нейтральні. Враховуючи, що більшість з сільськогосподарських культур потребують слабокислої або близької до нейтральної реакції ґрунтового розчину, концентрація водневого показника на досліджених ділянках є оптимальною для одержання високих врожаїв.

За математичну модель був узятий метод регресійного аналізу, який дозволяє за даними коефіцієнтів регресії та значень факторів, що мають вірогідний вплив на ґрунти, виявити залежність між ними та спрогнозувати якість ґрунту. Для побудови математичної моделі прогнозування відібрано набір певних факторів, зокрема хімічних та агрохімічних, що впливають на якість ґрунту. За допомогою лінійного регресійного аналізу виділено вісім факторів, що найбільше впливають на якість ґрунту: рН – обмінна кислотність ґрунту; ОМ — вміст органічної речовини; PO_4^{3-} – вміст рухомого фосфору; NH_4^+ – вміст амонійного азоту; NO_3^- – вміст нітратного азоту; Ca^{2+} – вміст обмінного кальцію; K^+ – вміст обмінного калію та сезонність (рис. 2.4.1).

Regression Summary for Dependent Variable: Якість ґрунту Б (Soil in Якість						
R= ,86112770 R ² = ,74154091 Adjusted R ² = ,72944926						
F(8, 171)=61,327 p<0,0000 Std.Error of estimate: 1,8984						
N=180	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(171)	p-value
Intercept			55,90773	4,434139	12,6085	0,000000
Сезонність	-0,470113	0,108946	-3,62966	0,841149	-4,3151	0,000027
рН	-0,464467	0,046422	-4,89553	0,489298	-10,0052	0,000000
ОМ	0,265009	0,043680	2,22791	0,367216	6,0670	0,000000
NH ₄ ⁺	-0,292192	0,078177	-1,09301	0,292441	-3,7376	0,000253
NO ₃ ⁻	0,074561	0,069046	0,01264	0,011703	1,0799	0,281714
PO ₄ ³⁺	0,283585	0,053120	0,02305	0,004318	5,3386	0,000000
Ca ²⁺	0,083686	0,063144	0,19992	0,150844	1,3253	0,186832
K ⁺	0,365770	0,051933	0,11261	0,015988	7,0431	0,000000

Рис. 2.4.1. Результат отримання значущих факторів для прогнозування якості ґрунту (ЯГ) при проведенні багатofакторного регресійного аналізу в програмі

Для оцінки вірогідності виділених факторних ознак було виконано покроковий логістичний регресійний аналіз: визначено мультиколінеарні показники, побудовано кореляційну матрицю з рахунком коефіцієнтів кореляції. Наступним етапом було визначення відносної вагомості мультиколінеарних факторів в прогнозуванні якості ґрунту визначенням коефіцієнтів регресії Beta, які

відображають для кожного включеного в аналіз фактора відношення, щодо шансів впливу на якість ґрунту. Показники, у яких рівень вірогідності p (value) $> 0,05$, були виключені з регресійного аналізу у такому порядку: обмінний кальцій (Ca^{2+}), нітратний азот (NO_3^-). Оскільки рівень значущості у 6-х факторів якості ґрунту був $p < 0,05$, їх було включено в математичну модель (рис.2.4.2).

Regression Summary for Dependent Variable: Якість ґрунту Б (Soil in Якість						
R= ,85927235 R ² = ,73834897 Adjusted R ² = ,72927437						
F(6,173)=81,364 p<0,0000 Std.Error of estimate: 1,8990						
N=180	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(173)	p-value
Intercept			59,13997	3,594139	16,4546	0,000000
Сезонність	-0,578004	0,079753	-4,46266	0,615761	-7,2474	0,000000
pH	-0,474611	0,041512	-5,00245	0,437540	-11,4331	0,000000
OM	0,258878	0,043285	2,17637	0,363893	5,9808	0,000000
NH4+	-0,277981	0,076646	-1,03986	0,286714	-3,6268	0,000377
PO43+	0,266005	0,051711	0,02162	0,004203	5,1441	0,000001
K+	0,356769	0,050341	0,10983	0,015498	7,0870	0,000000

Рис. 2.4.2. Результат отримання значущих факторів для прогнозування якості ґрунту при проведенні багатфакторного регресійного аналізу в програмі Statistica 10.0 без факторів Ca^{2+} , NO_3^- .

За результатами наших досліджень з аналізу коефіцієнтів регресії логістичної математичної моделі випливає, що значущим фактором якості ґрунту є сезонність ($b = -0,578$). Також, вагомим фактором якості ґрунту є pH (обмінна кислотність) ($b = -0,474$). На основі отриманих результатів, які наведені на рис. 2.4.2, будемо математичну модель для визначення коефіцієнта якості ґрунту (*КЯГ*):

$$КЯГ = -4,46266 \cdot X_1 - 5,00245 \cdot X_2 - 2,17637 \cdot X_3 - 1,03986 \cdot X_4 - 0,02162 \cdot X_5 + 0,10983 \cdot X_6$$

Для оцінювання якості регресійної моделі необхідно було проаналізувати залишкові відхилення, зокрема отримати їх гістограму (рис.2.4.3). Як видно із отриманої гістограми залишкові відхилення розподілені симетрично, наближаючись до кривої нормального розподілу залишків, тому статистична гіпотеза про їх розподіл на відповідність нормальному закону розподілу не відхиляється.

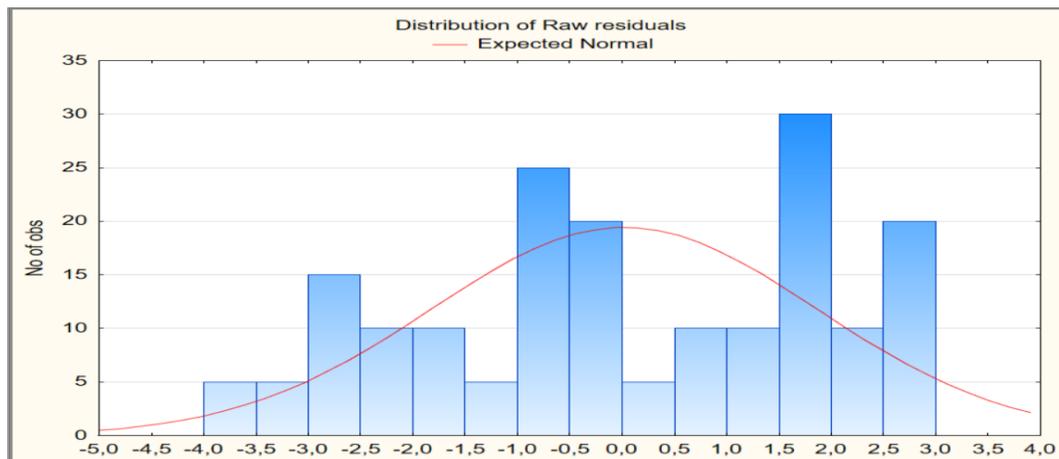


Рис.2.4.3. Гістограма залишкових відхилень багатofакторної регресійної моделі прогнозування якості ґрунту.

З метою додаткового підтвердження залишкових відхилень нормальному закону розподілу було побудовано нормально-ймовірнісний графік (рис. 2.4.4). Аналізуючи його дані зауважуємо відсутність систематичних відхилень від нормально-ймовірнісної прямої. Це дає можливість зробити висновок, що залишкові відхилення розподілені за нормальним законом розподілу.

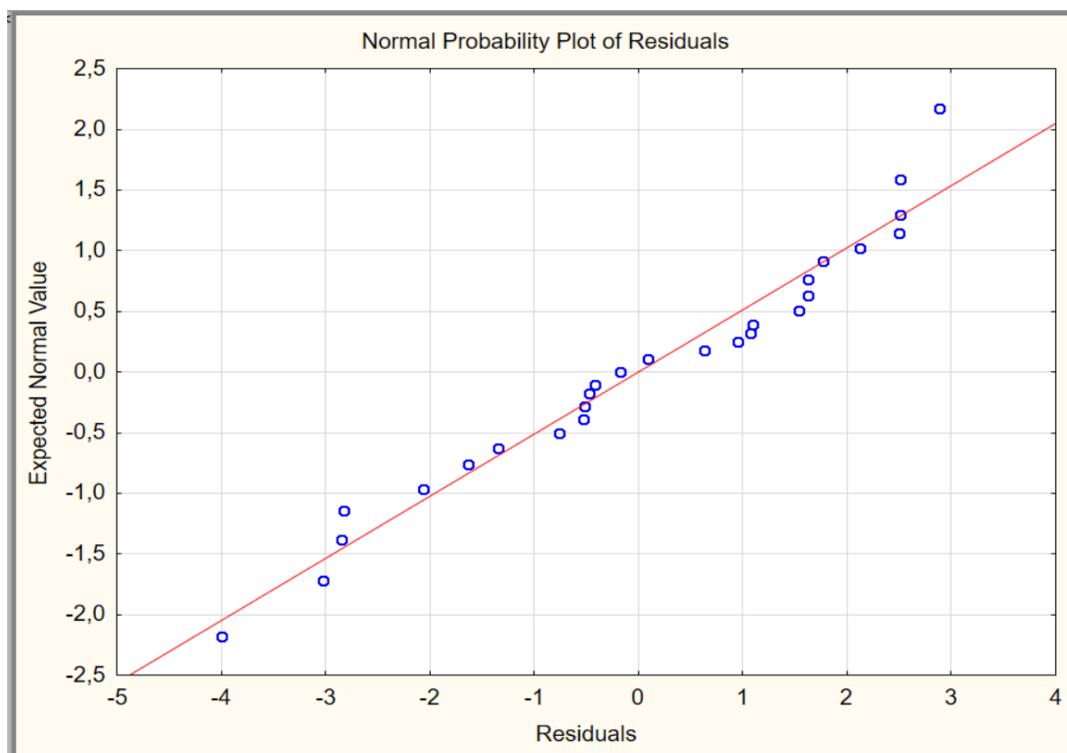


Рис. 2.4.4 Нормально-ймовірнісний графік залишкових відхилень багатofакторної регресійної моделі прогнозування якості ґрунту .

Наступним кроком була оцінка приємливості моделі в цілому, для чого проводимо аналіз ANOVA (рис. 2.4.5). Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок про високий рівень приємливості моделі прогнозування якості ґрунту в цілому за допомогою аналізу ANOVA, оскільки рівень значущості $p < 0,001$, а сама модель буде працювати краще, чим простий прогноз, використовуючи середні значення.

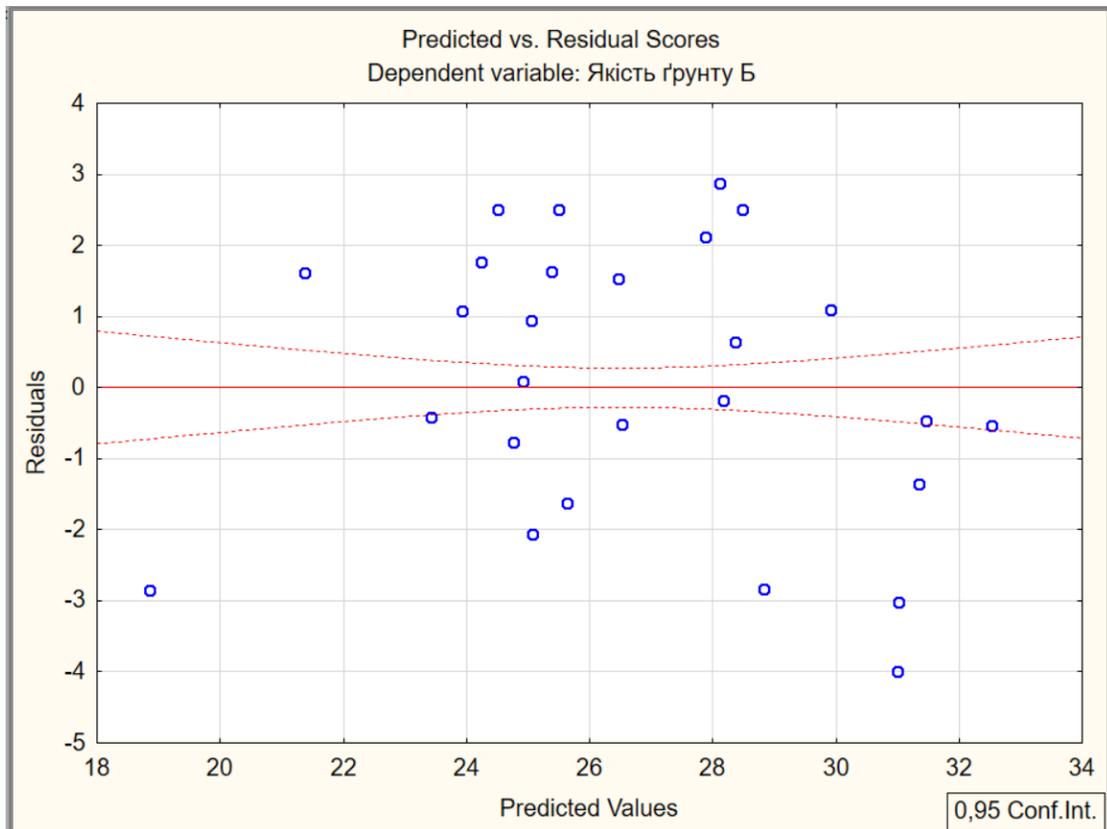


Рис. 2.4.5. Діаграма розсіювання залишкових відхилень багатofакторної регресійної моделі прогнозування якості ґрунту.

Для додаткового оцінювання якості математичної моделі якості ґрунту було проаналізовано коефіцієнт детермінації Нейджелкерка (R^2) (рис. 2.4.6), який показує, яка частина факторів врахована при прогнозуванні. Його розглядають як універсальну міру зв'язку однієї випадкової величини з іншими. Коефіцієнт детермінації змінюється від 0 до 1. Чим більше його значення наближається до «1», тим більш якісна багатofакторна регресійна модель.

Analysis of Variance; DV: Якість ґрунту Б (Soil in Якість					
Effect	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-value
Regress.	1760,552	6	293,4254	81,36433	0,00
Residual	623,892	173	3,6063		
Total	2384,444				

Рис. 2.4.6. Аналіз коефіцієнта детермінації багатofакторної регресійної моделі прогнозування якості ґрунту.

У запропонованій математичній моделі якості ґрунту коефіцієнт детермінації становить $R^2=0,738$ (в програмі Statistica 10.0 $R^2=,73834897$ (рис. 2.4.2)). Отже, в нашому випадку 73,8 % факторів враховано в моделі прогнозування якості ґрунту. Коефіцієнт детермінації вказує, наскільки отримані спостереження підтверджують математичну модель.

РОЗДІЛ 3. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЕДАГОГІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1. Організація гуртка з родючості та моделювання ґрунтів у загальноосвітній школі і «Ґрунтознавець»

Сучасна загальноосвітня школа орієнтована на формування в учнів не лише предметних знань, а й ключових компетентностей, зокрема дослідницької, екологічної та природничо-наукової. У цьому контексті важливу роль відіграють позаурочні форми навчання, які забезпечують умови для поглибленого вивчення природних об'єктів, розвитку пізнавального інтересу та практичного застосування

т

е

о

р

е

т

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

и

Вивчення теми «Сталий розвиток та раціональне природокористування» у 11 класі (Причини деградації ґрунтів (ерозія ґрунту, види забруднення та охорона ґрунтів)) є логічним завершальним етапом формування в учнів цілісного уявлення про взаємозв'язок природних процесів і діяльності людини.

У межах роботи гуртка «Ґрунтознавець» дана тема розглядається через призму ґрунту як ключового компонента біосфери, що забезпечує продуктивність агроecosystem, екологічну рівновагу та продовольчу безпеку. Зміст теми спрямований на розкриття принципів сталого розвитку, зокрема збалансованого використання природних ресурсів, збереження родючості ґрунтів і мінімізації негативного антропогенного впливу на довкілля.

з

н

а

н

н

н

н

н

н

н

н

н

н

н

н

н

Особлива увага приділяється питанням деградації ґрунтів, виснаження гумусового шару, порушення ґрунтово-екологічних функцій, а також шляхам їх запобігання на основі науково обґрунтованого землекористування.

Поєднання теми «Сталий розвиток та раціональне природокористування» з діяльністю гуртка «Ґрунтознавець» забезпечує реалізацію міжпредметних зв'язків із біологією, географією, хімією та екологією, а також сприяє формуванню в учнів

о

д

н

екологічної культури, відповідального ставлення до природних ресурсів і усвідомлення особистої ролі у збереженні навколишнього середовища. Таким чином, опрацювання цієї теми в межах гурткової роботи не лише поглиблює навчальний матеріал 11 класу, а й забезпечує практичну реалізацію концепції сталого розвитку через дослідницьку та проєктну діяльність учнів.

Організація гуртка передбачає активне залучення учнів до практичних занять, спостережень, лабораторних і польових досліджень, що сприяє формуванню наукового світогляду, навичок роботи з природними об'єктами та розвитку умінь аналізувати й узагальнювати отримані дані. Особливе значення надається міжпредметним зв'язкам, зокрема з біологією, географією, хімією та екологією, що забезпечує цілісне сприйняття ґрунту як об'єкта дослідження.

Таким чином, діяльність гуртка «Ґрунтознавець» створює умови для підвищення якості природничої освіти, формування екологічної свідомості та розвитку дослідницької компетентності учнів загальноосвітньої школи.

Мета гуртка

- **Навчальна:** ознайомити учнів із складом, властивостями та типами ґрунтів, чинниками, що впливають на їх родючість.
- **Розвивальна:** розвивати дослідницькі навички, критичне мислення, вміння проводити експерименти, аналізувати результати та робити висновки.
- **Виховна:** виховувати дбайливе ставлення до природи, ґрунту як найважливішого ресурсу, свідоме ставлення до методів його обробітку та охорони.

Програма занять

Тематика занять:

1. Вступ (4 год)

Мета та завдання гуртка. Правила безпеки. Ґрунт як унікальне природне тіло та основне джерело живлення рослин. Склад ґрунту (повітря, вода, мінеральні речовини, органічна речовина, мікроорганізми).

2. Властивості ґрунту (8 год)

Повітропроникність, водопроникність, гігроскопічність. Родючість — головна властивість ґрунту, її види (природна, штучна, ефективна).

Типи ґрунтів України та світу (6 год)

Ознайомлення з основними типами ґрунтів (чорноземи, підзолисті, сірі лісові тощо), їх особливостями та поширенням.

4. Фактори родючості ґрунту (8 год)

Роль гумусу, кислотність та лужність ґрунтів, мінеральні добрива, органічні добрива (ґній, компост, сидерати).

Методи збереження та підвищення родючості ґрунтів (10 год)

Сівозміни, правильна обробка ґрунту (оранка, розпушування, мульчування), боротьба з ерозією, внесення добрив, використання сидератів.

Практична дослідницька робота (решта часу)

Проведення дослідів на визначення складу ґрунту (наявність повітря, води, гумусу, мінеральних солей).

Визначення кислотності ґрунту за допомогою індикаторів.

орівняння росту рослин на різних типах ґрунтів або з різними добривами (дослідницький проєкт).

4. Екскурсії на навчально-дослідну земельну ділянку, в місцеву агрофірму або лабораторію (за можливості).

Організаційні моменти

Керівник гуртка

Вчитель біології, хімії або основ здоров'я, інший фахівець із відповідною освітою чи досвідом.

Матеріально-технічна база.

Необхідне приміщення (клас, кабінет біології), доступ до води, базове лабораторне обладнання (пробірки, фільтрувальний папір, мікроскопи, індикатори кислотності), зразки ґрунтів, насіння, добрива.

Документація

Навчальна програма, план роботи на рік, журнал обліку занять. Такий гурток не тільки надасть учням корисні знання, але й залучить їх до практичної діяльності та досліджень, що є важливим елементом сучасної освіти.

Для створення календаря гуртка з родючості ґрунтів необхідно мати затверджену програму та визначити кількість годин, яка відводиться на рік (зазвичай 35 годин на рік при 1 занятті на тиждень).

Нижче наведено приклад річного тематичного плану-календаря гуртка (на базі орієнтовної програми вище, розрахований приблизно на 35 годин).

Приклад календарного плану гуртка " Ґрунтознавець "

- **Кількість годин на рік:** 35 год
- **Кількість занять на тиждень:** 1 заняття (1 година)
- **Керівник гуртка:** вчитель біології
- **Місце проведення:** Кабінет біології

Основні змістові модулі

Модуль 1. Ґрунт як природне тіло

- склад, структура, властивості
- фактори ґрунтоутворення
- гумус та органічний вуглець

Модуль 2. Родючість ґрунтів

- види родючості
- показники та їх оцінка
- кислотність, структура, вологість, гумус

Модуль 3. Моделювання

- що таке моделювання
- фізичні та цифрові моделі
- прості моделі процесів ґрунтоутворення

Модуль 4. Практикум та дослідження

- вимірювання показників
- аналіз даних
- побудова графіків, діаграм
- інтерпретація результатів
- висновки

Приклад календарно-тематичного плану гуртка " Ґрунтознавець "

(36 год, 1 рік)

I семестр (18 год)

Модуль 1. Ґрунт як природне тіло (вступ та базові поняття) (таблиця 3.1.1)

Таблиця 3.1.1

Навчально-тематичний план модуля 1 «Ґрунт як природне тіло (вступ та базові поняття)»

№	Тема заняття	Зміст	Тип заняття
1	Організаційне заняття. Інструктаж	знайомство, мета, очікування	вступ
2	Ґрунт як природне тіло	поняття, склад, властивості	теорія
3	Будова ґрунтового профілю	горизонти, відмінності	теорія
4	Фактори ґрунтоутворення	клімат, організми, материнська порода	теорія
5	Мінеральний та органічний склад	гумус, гумусові речовини	практикум
6	Ґрунтоутворні процеси	біологічні та хімічні процеси	теорія
7	Органічний вуглець у ґрунті	значення, екологічна роль	теорія
8	Практична робота: аналіз зразків ґрунту	визначення властивостей	лабораторна
9	Тестування початкових знань (констатувальне)	аналітичний, діяльнісний, комунікативний критерій	контроль

Модуль 2. Родючість ґрунтів (таблиця 3.1.2)

Навчально-тематичний план модуля 2 «Родючість ґрунтів» (таблиця 3.1.2)

№	Тема	Зміст	Тип
10	Поняття родючості	видова характеристика	теорія
11	Показники родючості	pH, гумус, структура	теорія
12	Оцінка кислотності ґрунту	лакмус, pH-метр	практикум
13	Вологість, структура, механічний склад	вимірювання	практикум
14	Структурний аналіз	грудочки, гранулометрія	лабораторна
15	Гумус як ключовий показник	методи фіксації	теорія
16	Використання даних публічних ресурсів (WRB)	класифікація	аналітика

№	Тема	Зміст	Тип
17	Мікродослідження та підсумок модуля	висновки	практика
18	Консультація, публічна дискусія	комунікація	семінар

II семестр (18 год)

Модуль 3. Моделювання ґрунтових процесів(таблиця 3.1.3)

Таблиця 3.1.3.

Навчально-тематичний план модуля 3 «Моделювання ґрунтових процесів»

№	Тема	Зміст	Тип
19	Що таке модель?	поняття, приклади	теорія
20	Фізичні моделі	штучні профілі, мікромоделювання	практика
21	Моделювання водопроникності	волога, фільтрація	практика
22	Моделювання гумусового процесу	органіка, розклад	практика
23	Моделювання ерозії	водна та вітрова	практика
24	Моделі відновлення ґрунтів	зелені технології	аналітика
25	STEM-підходи в моделюванні	інтеграція природничих наук	заняття
26	Міні-проекти моделювання	робота в групах	практика

Зразок міні-проекту поданий в додатку 2

Модуль 4. Підсумкові дослідження та експертна оцінка (таблиця 3.1.4)

Таблиця 3.1.4.

Навчально-тематичний план модуля 4 «Підсумкові дослідження та експертна оцінка»

№	Тема	Зміст	Тип
27	Збір даних	спостереження	практика
28	Побудова діаграм і графіків	обробка результатів	аналітика
29	Підготовка міні-дослідження	структура, висновки	проект
30	Презентація результатів	захист	комунікація
31	Експертна оцінка	оцінювання компетентностей	експертна процедура
32	Формування індивідуальних рекомендацій	консультації	індивідуальна
33	Підсумкове обговорення	рефлексія	семінар

№	Тема	Зміст	Тип
34	Аналіз рівнів за критеріями	мотиваційний, аналітичний, комунікативний	оцінювання
35	Підсумкова діаграма (високий/середній/низький)	аналітичний блок	оцінка
36	Підсумкова зустріч і нагородження	підведення результатів	

3.2. Організація та проведення педагогічного експерименту

Для перевірки ефективності розробленої методики навчально-дослідницької діяльності учнів у гуртку «Ґрунтознавець» було проведено педагогічний експеримент, спрямований на визначення впливу запропонованої моделі роботи гуртка на рівень сформованості дослідницьких умінь учнів [51].

Експеримент проводився на базі Тернопільської загальноосвітньої школи-економічний ліцей № 9 імені Іванни Блажкевич. У дослідженні брали участь два паралельні 11-і класи (А та Б), рівні за віковими, навчальними та мотиваційними характеристиками. В тестуванні взяли участь 45 учнів.

Експеримент складався з трьох етапів:

3.3.1. Організаційно-підготовчий етап

На цьому етапі відбувається підготовка умов та інструментів для експертної оцінки, збір і систематизація професійних суджень замість формування навичок у реальних учнів. Він забезпечує надійну основу для подальших досліджень або впровадження методики.

Мета етапу: забезпечити підготовку гуртка до проведення констатувального дослідження знань, навичок і компетентностей учнів у сфері моделювання та оцінки родючості ґрунтів, а також організувати процедуру експертної оцінки ефективності методики.

Завдання етапу:

1. Підбір учасників гуртка для визначення їх початкового рівня знань і практичних навичок.
2. Підготовка матеріально-технічної бази для проведення констатувальних дослідів та моделювань.
3. Розробка методичних матеріалів, включаючи завдання для констатувального етапу та інструкції для експертів.
4. Визначення критеріїв і показників для експертної оцінки (дослідницькі компетентності, знання, навички роботи з моделями ґрунтів).
5. Організація процедури збору даних та їх первинної обробки для подальшого аналізу.

Констатувальний етап експерименту

Констатувальний етап педагогічного експерименту був спрямований на визначення вихідного рівня сформованості дослідницьких умінь *учнів* у контексті вивчення ґрунтів, їх родючості та цифрового моделювання природних процесів. На цьому етапі здійснювалося фіксування фактичного стану знань, умінь і ставлень учнів до дослідницької діяльності до впровадження експериментальної методики, що дозволило забезпечити об'єктивність подальшого порівняння результатів.

Мета констатувального етапу полягала у встановленні вихідних показників, що характеризують: рівень знань із ґрунтознавства (когнітивний критерій); базові практичні навички аналізу ґрунту (операційний критерій); здатність до обробки та представлення результатів експерименту (інструментальний критерій); мотивацію до дослідницької діяльності (мотиваційний критерій).

Також було визначено індикатори, які лягли в основу педагогічного вимірювання (5 критеріїв):

ізнавальний – знання про родючість і процеси в ґрунті.

іальнісний – уміння проводити аналіз та моделювання.

налітичний – уміння аналізувати властивості ґрунтів, порівнювати показники, робити логічні та науково обґрунтовані висновки, встановлювати причинно-наслідкові залежності у ґрунтових процесах.

омунікативний критерій уміння відображати рівень сформованості в учнів умінь ефективно передавати, обґрунтовувати та презентувати результати власної дослідницької діяльності.

отиваційний критерій – визначає рівень зацікавленості учня у дослідницькій діяльності, його внутрішню мотивацію до вивчення ґрунтів і моделювання ґрунтових процесів.

Для проведення констатувального етапу експерименту учням були запропоновані наступне тестування

Констатувальний етап– тестування та завдання

Учень (ім'я): _____ Клас: 11 __

I. Пізнавальний критерій (знання про ґрунти та моделювання)

Виберіть одну правильну відповідь і позначте її буквою.

о таке ґрунт?

A) Верхній родючий шар земної поверхні

B) Підземні води

C) Каміння та пісок

D) Органічні рештки без мінералів

оловний показник родючості ґрунту:

A) Колір

B) Вміст гумусу

C) Кількість каміння

D) Товщина шару

о таке моделювання ґрунтових процесів?

A) Виключно комп'ютерні розрахунки

B) Спрощене відтворення процесу для дослідження

C) Дослідження без інструментів

D) Лише лабораторний експеримент

ка структура ґрунту вважається оптимальною для росту рослин?

- A) Грудкувата
- B) Моноліт
- C) Порошкоподібна
- D) Кам'яниста

кі компоненти потрібні для побудови фізичної моделі ґрунтового профілю?

- A) Пісок, глина, чорнозем, органічний шар, прозора ємність
- B) Лише комп'ютер
- C) Листя та вода
- D) Тільки пісок

II. Діяльнісний критерій (уміння планувати та організувати дослід)

кий перший крок у підготовці до досліду?

- A) Визначити мету та матеріали
- B) Вилити воду на ґрунт
- C

Почати спостереження без підготовки

~~D) Безпечно працювати з ґрунтами та обладнанням~~ учні повинні:

- A) Ознайомитися з правилами техніки безпеки
- B) Працювати без нагляду
- C) Використовувати будь-які хімічні речовини без інструкцій
- D) Обирати інструменти на власний розсуд

кі матеріали та обладнання потрібно підготувати для організаційного етапу?

- A) Зошити дослідника, таблиці спостережень, лупи, ваги, ємності для ґрунту
- B) Тільки ручки та зошити
- C) Комп'ютер і програму для моделювання
- D) Лише цифрові таблиці

о слід зробити перед початком роботи гуртка?

- A) Визначити групи учнів та їх ролі
- B) Почати експеримент без плану
- C) Не проводити інструктаж
- D) Вилучити матеріали з кабінету

ета організаційно-підготовчого етапу:

- A) Ознайомити учнів з тематикою, підготувати матеріали та провести інструктаж з безпеки
- B) Виконати всі експерименти
- C) Підрахувати гумус у ґрунтах
- D) Проводити контрольні роботи

III. Аналітичний критерій (уміння аналізувати і робити висновки)

11. Дано два зразки ґрунту:

- Зразок А: пісок, водопроникність висока, гумусу мало
- Зразок Б: чорнозем, водопроникність середня, гумусу багато

Питання:

кий ґрунт родючіший і чому?

12. Які властивості потрібно врахувати при моделюванні цих ґрунтів? Гіпотеза: «ґрунти з більшою кількістю гумусу краще утримують воду». Які дані потрібно зібрати для перевірки гіпотези?

IV. Комунікативний критерій (уміння презентувати і пояснювати)

сне завдання: поясніть однокласнику, навіщо потрібні моделі ґрунту в дослідженнях родючості.

исьмове завдання: складіть короткий план роботи гуртка – які матеріали потрібні, які досліди плануються, як розподілятимете групи.

V. Мотиваційний критерій (рівень зацікавленості учня дослідницькою діяльністю)

15. Чому ви бажаєте брати участь у дослідженнях ґрунтів?

- А) Це цікаво та корисно для майбутньої професії
- В) Вимагає вчитель
- С) Не бачу сенсу
- Д) Роблю це лише через оцінку

16. Який вид діяльності в гуртку вам найбільше подобається?

- А) Практичні досліди
- В) Робота в групах
- С) Лекційні матеріали
- Д) Не подобається нічого

17. Чи проявляєте ви ініціативу (запитання, пропозиції, ідеї)?

- А) Так, часто
- В) Іноді
- С) Рідко
- Д) Ніколи

18.Що спонукає вас виконувати завдання з ґрунтознавства?

Виберіть два варіанти.

А) Мені цікаво досліджувати реальні природні процеси

В) Хочу розвивати дослідницькі навички

С) Роблю через оцінку

Д) Роблю, бо це легко

19.Напишіть коротко (3–5 речень):

“Що мене мотивує вивчати ґрунти та брати участь у моделюванні ґрунтових процесів?”

Тести оцінювались за 50-ти бальною шкалою

Структура тесту була наступною:

- 10 тестів \times 1 бал = 10
- 5 тестів \times 2 бали = 10
- 3 тестові по 3 бали = 9
- 1 тест із множинним вибором = 2
- 2 відкритих завдання \times (4–6 балів) = 10 (середнє: 5+5)
- 1 відкрите завдання (3–5 балів) = 4 (середній бал)
- мотиваційний тест = 5 балів

Було проаналізовано рівні сформованості учнів відповідно до тестування.

Рівні сформованості відображають міру сформованості компетентності, ступінь опанування її структурних компонентів, здатність учнів застосовувати набуті знання й уміння у практичній та дослідницькій діяльності, а також ефективність упровадженої педагогічної методики (табл.3.3.1).

Таблиця 3.3.1.
Рівні сформованості (за 50-бальною системою)

Рівень	Бал (50 max)	Характеристика
I низький	0–15	первинні уявлення, типові помилки
II середній	16–28	часткове розуміння, окремі правильні відповіді
III достатній	29–40	впевнені знання, застосування понять
IV високий	41–50	системні знання, узагальнення, пояснення причинно-наслідкових зв'язків

Характеристика рівнів

I рівень — низький (0–15 балів)

- фрагментарні знання
- грубі поняттєві помилки
- немає встановлення зв'язків між властивостями й родючістю

II рівень — середній (16–28 балів)

- часткове розуміння основ ґрунтознавства
- правильні відповіді на прості запитання
- труднощі у відкритих завданнях
- нестача аналізу

III рівень — достатній (29–40 балів)

- сформовані знання будови, властивостей та показників родючості
- застосування основних понять

- інтерпретація експериментальних спостережень
- частково коректні висновки

IV рівень — високий (41–50 балів)

- системне розуміння процесів
- осмислена інтерпретація результатів досліджень
- впевнене застосування знань у практичних умовах
- здатність аргументувати висновки
- глибокі відповіді у відкритих завданнях

Була сформована таблиця відповідності балів (макс. 50) до 12-бальної шкали (табл. 3.3.2)

Таблиця 3.3.2.
Таблиця відповідності балів (макс. 50) до 12-бальної шкали

Балів (50)	12-бальна оцінка	Коментар / рівень
45–50	12	Відмінно (найвищий рівень знань і мотивації)
41–44	11	Дуже добре
37–40	10	Дуже добре / високий достатній
33–36	9	Добре
29–32	8	Добре / достатній
25–28	7	Достатній
21–24	6	Задовільний / нижня межа достатнього
17–20	5	Задовільний / середній рівень
13–16	4	Незадовільний / середній-низький
9–12	3	Низький
5–8	2	Дуже низький
0–4	1	Абсолютно низький / відсутність знань і мотивації

Також була сформована таблиця із середніми балами учнів за 12-ти бальною шкалою (табл.3.3.3).

Таблиця 3.3.3.
Середні бали учнів за 12-ти бальною шкалою

Критерій	Середній бал (початковий)	Макс. бал	Перерахунок у 12-бальну систему (адапт.)	Середній бал (12-бальна шкала)
Пізнавальний	4.37	5	$4.37 / 5 \times 10$	8.74
Діяльнісний	12.72	15	$12.72 / 15 \times 10$	8.48
Аналітичний	6.18	7	$6.18 / 7 \times 10$	8.83
Комунікативний	6.39	8	$6.39 / 8 \times 10$	7.99 \approx 8.0
Мотиваційний	13.11	15	$13.11 / 15 \times 10$	8.74

- Усі показники лежать у межах 8.0–8.9, тобто відповідають доброму (sufficient–good) рівню сформованості дослідницької компетентності.

- Найвищі значення сформованості — за аналітичним, пізнавальним і мотиваційним критеріями. Найнижчі — комунікативний (8.0), але він також належить до доброї зони.

Перерахунок середніх балів за критеріями дослідницької компетентності у 12-бальну шкалу показав, що всі показники знаходяться в межах 8.0–8.9 балів, що відповідає доброму рівню сформованості. Найвищі результати встановлено за пізнавальним, аналітичним і мотиваційним критеріями, що свідчить про достатньо розвинені уміння щодо розуміння змісту дослідження, аналізу інформації та внутрішньої зацікавленості у виконанні завдань. Найнижчий — комунікативний (8.0), але він також належить до доброї зони.

3.3.3. Багатофакторна регресійна модель прогнозування рівня знань учнів

За математичну модель був узятий метод регресійного аналізу, який дозволяє за даними коефіцієнтів регресії та значень факторів, що мають вірогідний вплив на успішність учнів, виявити залежність між факторами та спрогнозувати успішність. Для побудови математичної моделі прогнозування відібрано набір певних факторів, зокрема запитань для констатувального етапу експерименту, що

впливають на якість ґрунту. За допомогою лінійного регресійного аналізу виділено 19 факторів, що найбільше впливають на рівень знань учнів та прокласифіковані відповідно до пізнавального, діяльнісного, мотиваційного, аналітичного та комунікаційного критеріїв (рис. 3.3.1).

Regression Summary for Dependent Variable: КППЗУ (1 in 1)						
R= ,85661521 R²= ,73378962 Adjusted R²= ,72202683						
F(19,430)=62,382 p<0,0000 Std.Error of estimate: ,25590						
N=45	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(430)	p-value
Intercept			-11,0569	0,516012	-21,4276	0,000000
П1	-0,051943	0,043089	-0,1702	0,141147	-1,2055	0,228676
П2	0,017226	0,034773	0,0574	0,115881	0,4954	0,620569
П3	-0,096818	0,030537	-0,2987	0,094222	-3,1705	0,001631
П4	0,258163	0,032685	0,8515	0,107799	7,8985	0,000000
П5	0,065018	0,031554	0,2238	0,108633	2,0605	0,039949
П6	0,157176	0,028724	0,2691	0,049183	5,4719	0,000000
П7	0,225794	0,030518	0,3732	0,050447	7,3987	0,000000
П8	0,367060	0,034792	0,6330	0,060002	10,5503	0,000000
П9	0,405500	0,031263	0,6748	0,052029	12,9706	0,000000
П10	0,150843	0,036216	0,2683	0,064408	4,1651	0,000038
П11	0,292450	0,029253	0,3276	0,032772	9,9972	0,000000
П12	0,224615	0,028703	0,2462	0,031463	7,8256	0,000000
П13	0,147974	0,033216	0,1586	0,035606	4,4549	0,000011
П14	0,258099	0,034644	0,3129	0,042002	7,4500	0,000000
П15	0,135245	0,032681	0,2191	0,052940	4,1383	0,000042
П16	0,136177	0,034404	0,2798	0,070687	3,9581	0,000088
П17	0,034545	0,036786	0,0592	0,063075	0,9391	0,348214
П18	0,020325	0,035903	0,0376	0,066344	0,5661	0,571621
П19	0,211498	0,036728	0,3373	0,058572	5,7585	0,000000

Рис. 3.3.1. Результат отримання значущих факторів для прогнозування рівня знань учнів (ПРЗУ) при проведенні багатофакторного регресійного аналізу в програмі

Наступним етапом було визначення відносної вагомості мультиколінеарних факторів в прогнозуванні рівня знань учнів визначенням коефіцієнтів регресії Beta, які відображають для кожного включеного в аналіз фактора відношення, щодо шансів впливу на рівень знань. Питання 1, 2, 17, 18, у яких рівень вірогідності p (value) $> 0,05$, були виключені з регресійного аналізу: Оскільки рівень значущості у 15-ти факторів (питань) рівня знань учнів був $p < 0,05$, їх було включено в математичну модель (рис. 3.3.2).

Regression Summary for Dependent Variable: КІРЗУ (1 in 1)						
R= ,85406058 R ² = ,72941948 Adjusted R ² = ,72006762						
F(15,434)=77,997 p<0,0000 Std.Error of estimate: ,25680						
N=45	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(434)	p-value
Intercept			-10,5504	0,477597	-22,0906	0,000000
П3	-0,092333	0,028369	-0,2849	0,087532	-3,2547	0,001224
П4	0,266311	0,029237	0,8783	0,096428	9,1086	0,000000
П5	0,084814	0,029727	0,2920	0,102343	2,8531	0,004537
П6	0,159859	0,027555	0,2737	0,047181	5,8015	0,000000
П7	0,218533	0,029210	0,3612	0,048286	7,4813	0,000000
П8	0,356950	0,031638	0,6156	0,054563	11,2823	0,000000
П9	0,420027	0,030584	0,6990	0,050900	13,7334	0,000000
П10	0,133716	0,032061	0,2378	0,057017	4,1707	0,000037
П11	0,278206	0,028290	0,3117	0,031694	9,8339	0,000000
П12	0,232756	0,028021	0,2551	0,030716	8,3064	0,000000
П13	0,160620	0,031638	0,1722	0,033914	5,0768	0,000001
П14	0,245299	0,029160	0,2974	0,035353	8,4121	0,000000
П15	0,123802	0,031554	0,2005	0,051113	3,9236	0,000101
П16	0,136998	0,031004	0,2815	0,063700	4,4188	0,000013
П19	0,181191	0,030078	0,2890	0,047967	6,0241	0,000000

Рис. 3.3.2. Результат отримання значущих факторів для прогнозування рівня знань учнів (КІРЗУ) при проведенні багатофакторного регресійного аналізу в програмі Statistica 10.0 без факторів П1, П2, П17, П18.

На основі отриманих результатів, які наведені на рис.3.3.2, будемо математичну модель для визначення коефіцієнта *прогнозування рівня знань учнів (КІРЗУ)*:

$$\text{КІРЗУ} = 10,5504 - 0,2849 \cdot \text{П3} + 0,8783 \cdot \text{П4} + 0,2920 \cdot \text{П5} + 0,2737 \cdot \text{П6} + 0,3612 \cdot \text{П7} + 0,6156 \cdot \text{П8} + 0,6990 \cdot \text{П9} + 0,2378 \cdot \text{П10} + 0,3117 \cdot \text{П11} + 0,2551 \cdot \text{П12} + 0,1722 \cdot \text{П13} + 0,2974 \cdot \text{П14} + 0,2005 \cdot \text{П15} + 0,2815 \cdot \text{П16} + 0,2890 \cdot \text{П19}$$

Для оцінювання якості регресійної моделі необхідно було проаналізувати залишкові відхилення, зокрема отримати їх гістограму (рис. 3.3.3). Як видно із отриманої гістограми залишкові відхилення розподілені симетрично, наближаючись до кривої нормального розподілу залишків, тому статистична гіпотеза про їх розподіл на відповідність нормальному закону розподілу не відхиляється.

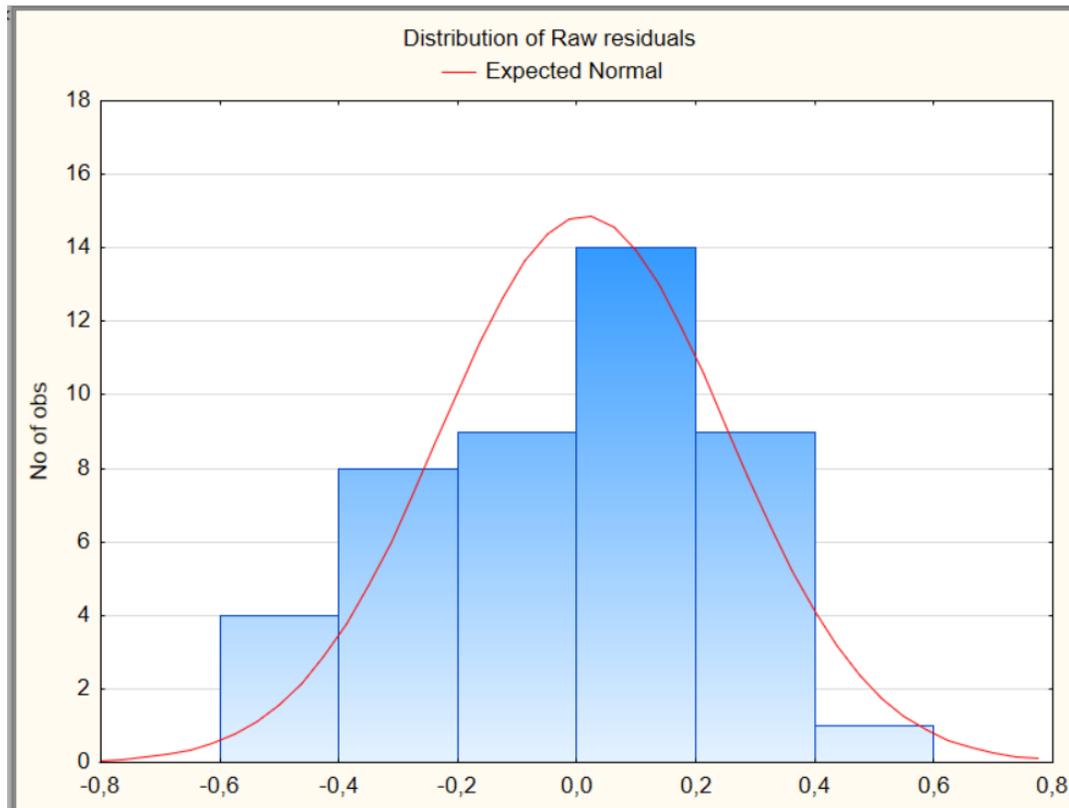


Рис. 3.3.3. Гістограма залишкових відхилень багатofакторної регресійної моделі прогнозування рівня знань учнів .

З метою додаткового підтвердження залишкових відхилень нормальному закону розподілу було побудовано нормально-ймовірнісний графік (рис. 3.3.4). Аналізуючи його дані зауважуємо відсутність систематичних відхилень від нормально-ймовірнісної прямої. Це дає можливість зробити висновок, що залишкові відхилення розподілені за нормальним законом розподілу.

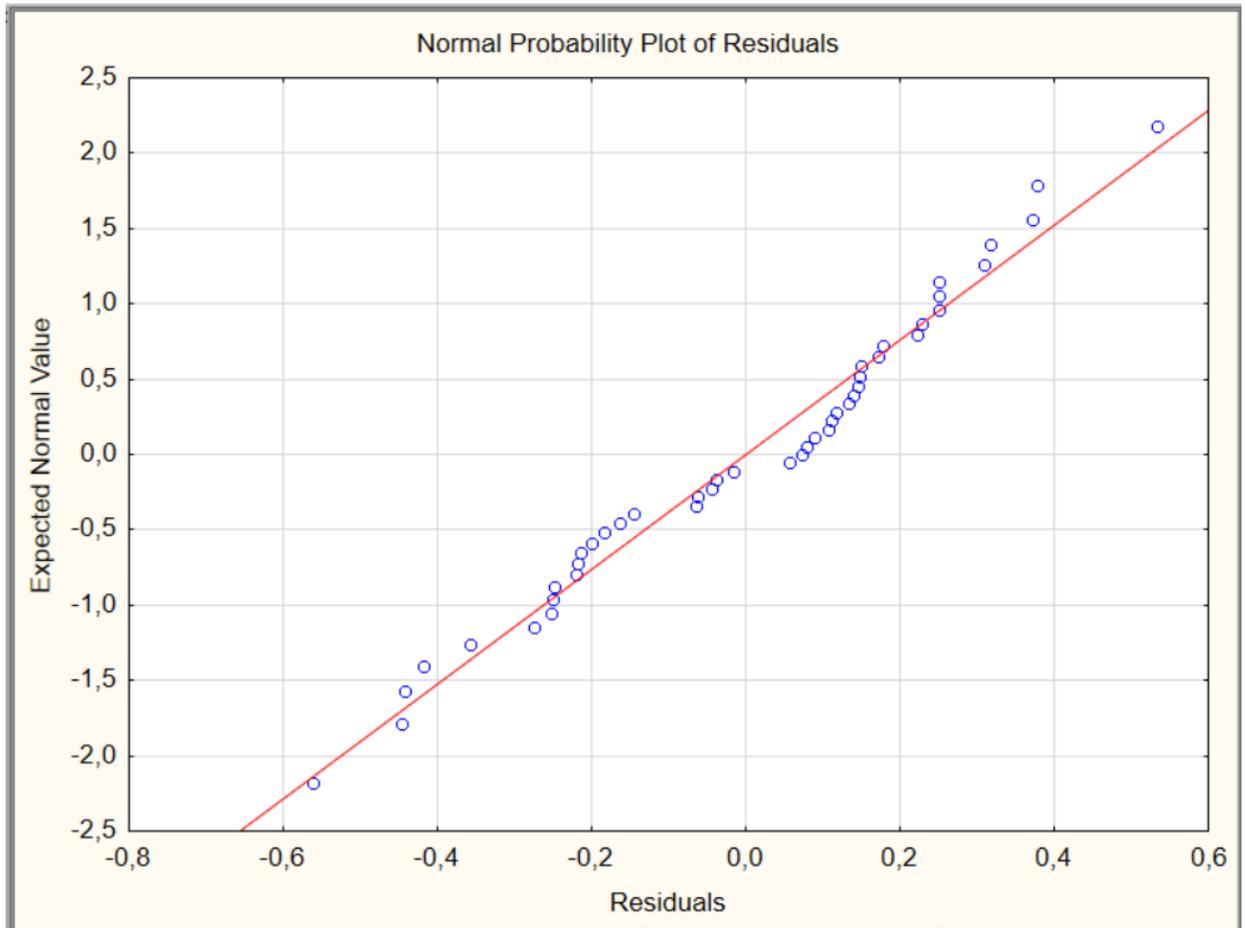


Рис.3.3.4. Нормально-ймовірнісний графік залишкових відхилень багатofакторної регресійної моделі прогнозування рівня знань учнів .

Наступним кроком була оцінка прийнятності моделі в цілому, для чого проводимо аналіз ANOVA (рис. 3.3.5). Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок про високий рівень прийнятності моделі прогнозування рівня знань учнів цілому за допомогою аналізу ANOVA, оскільки рівень значущості $p < 0,001$, а сама модель буде працювати краще, чим простий прогноз, використовуючи середні значення.

Analysis of Variance; DV: КПРЗС (1 in 11)					
Effect	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-value
Regress.	7,74954	17	0,455855	4,351854	0,000345
Residual	2,82824	27	0,104750		
Total	10,57778				

Рис. 3.3.5. Результати аналізу ANOVA.

Для додаткового оцінювання якості математичної моделі КПРЗУ було проаналізовано коефіцієнт детермінації Нейджелкерка (R^2), який показує, яка частина факторів врахована при прогнозуванні. Його розглядають як універсальну міру зв'язку однієї випадкової величини з іншими. Коефіцієнт детермінації змінюється від 0 до 1. Чим більше його значення наближається до «1», тим більш якісна багатофакторна регресійна модель. У запропонованій математичній моделі ПРЗУ коефіцієнт детермінації становить $R^2=0,729$ (в програмі Statistica 10.0 $R^2=$ (рис.3.3.5)). Отже, в нашому випадку 72,9 % факторів враховано в моделі прогнозування рівня знань учнів. Коефіцієнт детермінації вказує, наскільки отримані спостереження підтверджують математичну модель.

3.3.4. Експертна оцінка методики гуртка

Сучасні підходи до біологічної освіти наголошують на необхідності формування в учнів дослідницької компетентності як ключової складової їхньої наукової грамотності та готовності до практичної діяльності в умовах складних природних і технологічних процесів. У цьому контексті значну роль відіграють факультативні форми навчання, зокрема гуртки природничого спрямування, які створюють умови для систематичної практичної та експериментальної діяльності школярів. Методика роботи гуртка «Грунтознавець» орієнтована на розвиток умінь досліджувати ґрунтові процеси, моделювати явища, аналізувати дані та робити науково обґрунтовані висновки, що безпосередньо пов'язано з формуванням дослідницької компетентності учнів.

У зв'язку з цим актуальною є експертна оцінка ефективності методики гуртка як педагогічної технології, що поєднує практичні експерименти, моделювання, роботу з реальними ґрунтовими зразками та елементи наукового проектування. Така оцінка дозволяє визначити сильні та слабкі сторони підходу, рівень залученості учнів, відповідність методики заявленим дидактичним цілям та ступінь реалізації дослідницького потенціалу діяльності.

Експертна оцінка методики гуртка «Ґрунтознавець» була спрямована на комплексний аналіз її здатності забезпечувати формування основних складових дослідницької компетентності учнів середньої та старшої школи. До експертного аналізу були залучені 2 вчителі біології і 1 один вчитель основ здоров'я, що забезпечило різнопрофільний погляд на діяльність гуртка та педагогічні результати його реалізації.

Оцінювання здійснювалося за шістьма критеріями, які структурно відображають ключові компоненти дослідницької компетентності: пізнавальна активність, вміння планувати експеримент, використання моделювання, аналітичні й критичні навички, комунікаційні вміння та здатність до рефлексії й самооцінки. Для кожного критерію експерти визначали рівень його реалізації за п'ятибальною шкалою, а також надавали якісні коментарі щодо ефективності відповідних елементів методики.

Мета експертної оцінки:

Визначити ефективність методики гуртка у формуванні дослідницької компетентності учнів середньої та старшої школи через практичні експерименти та моделювання процесів, що впливають на родючість ґрунту.

Були сформульовані критерії експертної оцінки.

Критерії оцінки (зв'язані з дослідницькою компетентністю):

ізнавальна активність учнів – заохочення до формулювання запитань, самостійного пошуку інформації та гіпотез.

міння планувати експеримент – побудова плану роботи, вибір методів дослідження, використання контрольних та експериментальних умов.

икористання моделювання – застосування моделей (фізичних, графічних, цифрових) для демонстрації процесів родючості ґрунту.

налітичні та критичні навички – вміння обробляти дані, робити висновки, порівнювати результати експериментів.

омунікаційні навички – презентація результатів, аргументація висновків, співпраця у групі.

ефлексія та самооцінка – здатність учнів оцінювати власні результати, планувати подальші дослідження.

Зразок анкети для експертної оцінки

Анкета для експертної оцінки методики гуртка

Назва гуртка: «Грунтознавець»

Мета анкети: Оцінити ефективність методики гуртка щодо формування дослідницької компетентності учнів.

Інструкція: Для кожного критерію позначте рівень відповідності методики шкалі від 1 до 5 та, за бажанням, надайте коментар.

Шкала оцінювання:

- 1 – дуже низький рівень
- 2 – низький рівень
- 3 – середній рівень
- 4 – високий рівень
- 5 – дуже високий рівень

Експерт (прізвище, ініціали вчителя): _____

Посада:

Заклад освіти: _____

1. Пізнавальна активність учнів

- Чи заохочує методика учнів до самостійного формулювання запитань та гіпотез?
- Чи стимулює вона пошук інформації та самостійне навчання?

Оцінка: 1 2 3 4 5

Коментар: _____

2. Уміння планувати експеримент

- Чи дозволяє методика учням складати план дослідження?
- Чи забезпечує вибір методів і контрольних умов для експериментів?

Оцінка: 1 2 3 4 5

Коментар: _____

3. Використання моделювання

- Чи включає методика роботу з фізичними, графічними або цифровими моделями?
- Чи допомагає моделювання зрозуміти процеси родючості ґрунту?

Оцінка: 1 2 3 4 5

Коментар: _____

4. Аналітичні та критичні навички

- Чи дає методика учням можливість обробляти дані та робити висновки?
- Чи стимулює порівняння результатів і критичне мислення?

Оцінка: 1 2 3 4 5

Коментар: _____

5. Комунікаційні навички

- Чи передбачає методика презентацію результатів експериментів?
- Чи розвиває аргументацію та роботу у групі?

Оцінка: 1 2 3 4 5

Коментар: _____

6. Рефлексія та самооцінка

- Чи дає методика учням можливість оцінювати власні результати та планувати подальші дослідження?

Оцінка: 1 2 3 4 5

Коментар: _____

Оцінювання:

- 1 – дуже низький рівень
- 2 – низький рівень
- 3 – середній рівень
- 4 – високий рівень
- 5 – дуже високий рівень

У таблиці 3 3 4 подано зразок заповненої експертної оцінки

Таблиця 3.3.4.
Зразок заповненої експертної оцінки

№	Критерій	Оцінка (1–5)	Коментар експерта
1	Пізнавальна активність учнів	5	Учні активно ставлять запитання, пропонують власні гіпотези та шукають інформацію самостійно.
2	Уміння планувати експеримент	4	Учні добре планують досліди, проте іноді потребують допомоги у виборі контрольних умов.
3	Використання моделювання	5	Методика включає цифрові та фізичні моделі, що наочно демонструють процеси родючості ґрунту.
4	Аналітичні та критичні навички	4	Учні вміють обробляти дані та робити висновки, але потрібно більше часу для обговорення помилок та альтернативних підходів.
5	Комунікаційні навички	5	Учні ефективно презентують результати експериментів і вміють аргументувати свої висновки.
6	Рефлексія та самооцінка	4	Учні здатні оцінювати свої результати, проте варто додатково розвивати планування подальших досліджень.

Сумарна таблиця оцінок експертів виглядає так (таблиця 3.3.5):

Таблиця 3.3.5.
Сумарна таблиця оцінок експертів методики гуртка «Ґрунтознавець»

№	Критерій	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Середній бал	Коментар (узагальнено)
1	Пізнавальна активність учнів	5	4	5	4,7	Висока зацікавленість учнів, активне формулювання гіпотез.
2	Уміння планувати експеримент	4	4	3	3,7	Добре планування експериментів, деяким учням потрібна допомога.
3	Використання моделювання	5	5	4	4,7	Моделі ефективно пояснюють процеси родючості ґрунту.

№	Критерій	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Середній бал	Коментар (узагальнено)
4	Аналітичні та критичні навички	4	4	3	3,7	Учні аналізують дані, але потрібен додатковий час на обговорення помилок.
5	Комунікаційні навички	5	5	4	4,7	Учні вміють презентувати результати та аргументувати висновки.
6	Рефлексія та самооцінка	4	4	3	3,7	Учні оцінюють власні результати, але планування подальших досліджень слабше.

Сума балів усіх експертів за всі критерії становить 96. Середній бал за всіма критеріями та експертами становить 4,0

Отже, методика гуртка ефективна для розвитку дослідницької компетентності учнів. Сильні сторони: пізнавальна активність, моделювання та комунікаційні навички. Потребують уваги: аналітичні навички та планування подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що дослідницька компетентність здобувачів освіти у процесі вивчення родючості та моделювання ґрунтів формується через інтеграцію теоретичних знань і практичної діяльності, застосуванням дослідницьких методів, проєктних технологій, STEM-підходів та сучасних цифрових засобів. Організація навчально-дослідницької діяльності забезпечує розвиток умінь постановки наукової проблеми, планування та проведення експерименту, обробки результатів і їх наукової інтерпретації, формує критичне мислення, екологічну відповідальність та компетентнісне розуміння природних процесів.

2. В результаті експериментального дослідження встановлено, що у ґрунтах Ізяславської громади Хмельницької області середній вміст органічного карбону та низький рівень амонійного азоту, обмінного кальцію і калію. Ґрунти досліджуваних територій близькі до нейтральних (середньозважений показник рН – 6,8), з середнім вмістом органічного карбону (3 %). Ґрунти ТОВ «Дельтар» (с. Топори) характеризувалися вищим вмістом основних елементів живлення рослин (рухомий фосфор, обмінний кальцій і калій, амонійний і нітратний азот) порівняно з присадибною ділянкою та фермерським господарством «Свидерок». Розроблений алгоритм та математична модель прогнозування якості ґрунтів дозволяють визначати критичні фактори родючості та своєчасно планувати профілактичні заходи, враховуючи сезонність, кислотність та зміни кліматичних умов.

3. Результати констатувального етапу педагогічного експерименту засвідчили, що на початковому етапі дослідження рівень сформованості дослідницької компетентності учнів 11 класу перебуває переважно на доброму рівні, що підтверджується середніми показниками за всіма критеріями в межах 8,0–8,9 бала за 12-бальною шкалою. Найбільш сформованими виявилися пізнавальний, аналітичний і мотиваційний компоненти, що свідчить про наявність базових знань із біології, екології та ґрунтознавства, умінь аналізувати навчальну інформацію й зацікавленість у дослідницькій діяльності. Водночас відносно нижчі показники за

комунікативним і діяльнісним критеріями вказують на недостатню сформованість умінь планування досліджень, презентації та аргументації результатів.

4. Згідно запропонованої багатофакторної регресійної математичної моделі стосовно результатів констатувального етапу експерименту коефіцієнта прогнозування рівня знань учнів (КПРЗУ) встановлено, що коефіцієнт детермінації становив $R^2=0,729$ (в програмі Statistica 10.0 $R^2= ,72941948$). Отже, в нашому випадку 72,9 % факторів (запитань для учнів у тестуванні) враховано в моделі прогнозування рівня знань учнів. З 19 питань тестування лише питання 1, 2 (пізнавальний критерій), 17, 18 (мотиваційний критерій), були виключені з регресійного аналізу: Розроблений алгоритм та математична модель прогнозування якості ґрунту є високоінформативними та дозволяють заздалегідь визначити запитання для тестування, що визначають рівень знань учнів.

5. Результати експертної оцінки методики гуртка «Ґрунтознавець» підтверджують її ефективність у формуванні дослідницької компетентності учнів старшої школи. Середній інтегральний бал за всіма критеріями становив 4,0 із 5,0, що відповідає високому рівню реалізації методики (80 % від максимально можливого результату). Найвищі оцінки отримали критерії пізнавальної активності, використання моделювання та комунікаційних навичок (середні значення 4,7, або 94 %), що свідчить про значну залученість учнів до дослідницької діяльності. Водночас критерії аналітичних умінь, планування експериментів і рефлексії мали дещо нижчі показники (3,7, або 74 %), що визначає напрями подальшого вдосконалення методики. Загалом отримані результати дають підстави рекомендувати методику гуртка «Ґрунтознавець» для впровадження в практику загальноосвітньої школи.

6. Доведено, що позакласна (гурткова) діяльність сприяє розвитку дослідницької компетентності учнів, зокрема пізнавальної активності, навичок моделювання та комунікації. Найбільш ефективними елементами є планування

експериментів і використання моделей для візуалізації процесів, а критичними моментами розвитку дослідницької компетентності учнів є посилення аналітичних навичок та умінь планування подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бовсунівська В. Ландшафтна структура Хмельницької області. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2014. № 48. С. 68–74.
2. Васильєва Т. А. Цифрові технології в освіті: сучасний досвід, проблеми та перспективи / ред.: Т. А. Васильєва, Ю. М. Петрушенко. Суми : Сум. держ. ун-т, 2022. 150 с.
3. Войтків П. С., Кравців С., Кобелька М. В. Екологічна оцінка стану земельних ресурсів на прикладі Радехівського району Львівської області. *Конструктивна географія і картографія: стан, проблеми, перспективи : матер. міжнарод. наук.-практ. онлайн-конф.* Львів, 2020. С. 123–126.
4. Вплив на рослини аміачно-нітратного складу ґрунту. URL: <https://ekspertiza.com.ua/uk/tse-korisno-znati/746-vpliv-na-roslini-amiachno-nitratnogo-skladu-gruntu> (дата звернення: 10.12.2025).
5. Гойко О. В. Практичне використання пакета STATISTICA для аналізу медико-біологічних даних: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : КМАПО ім. П. Л. Шупика, 2004. 76 с.
6. Господаренко Г. М. Агрохімія : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2013. 406 с.
7. Грицай Н. Б. Активізація пізнавальної діяльності учнів основної школи у позакласній роботі з біології : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02. Київ, 2008. 20 с.
8. Грицай Н. Методика позакласної роботи з біології: курс лекцій. Рівне : Міжнар. екон.-гуманітар. ун-т ім. акад. Степ. Дем'янчука, 2005. 108 с.
9. Гудзь В. П., Лісовал А. П. Земле-робство з основами ґрунтознавства і агрохімії: підручник. К. : Центр учб. літ., 2007. 408 с.
10. Державний стандарт базової середньої освіти – основний нормативний документ, що регламентує стандарти освіти згідно з НУШ.

11. Динаміка агрохімічного стану ґрунтів північно-західного Лісостепу та особливості його коригування (На Прикладі Володимир-Волинського Району Волинської Області) / Н. О. Ясенчук та ін. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2017. Т. 16.
12. Довгаюк-Семенюк М. В., Величко О. І., Терек О. І. Вміст амонійного та нітратного нітрогену у рослинах конюшини лучної за дії нафтового забруднення ґрунту та підживлення фосфорнокалійними добривами. *Наукові записки тернопільського національного педагогічного університету імені володимира гнатюка. серія: біологія*. 2015. № 1 (62). С. 206.
13. Дослідна і проектна діяльність під час вивчення біології: навч. посіб. / ред. К. М. Задорожний. Харків : Основа, 2008. 143 с.
14. ДСТУ 4115:2002. Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002.
15. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004.
16. ДСТУ 4725:2007. Якість ґрунту. Визначання активності іонів калію, амонію, нітрату і хлору потенціометричним методом. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007.
17. ДСТУ 7861:2015. Якість ґрунту. Визначення обмінних кальцію, магнію, натрію і калію в ґрунті за Шолленбергером у модифікації ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
18. ДСТУ ISO 10390:2001. Якість ґрунту. Визначання рН (ISO 10390:1994, IDT). Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2003.
19. ДСТУ ISO 10390:2001. Якість ґрунту. Попереднє обробляння зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT). Чинний від 2009-10-01. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2012.

20. Значення калію для рослин та його вміст у ґрунті. URL: <https://agrotest.com/article/znachennya-kaliyu-dlya-roslyn-i-jogo-vmist-u-grunti/> (дата звернення: 10.12.2025).
21. Інформаційна компанія «Інфоіндустрія». Діагностика живлення рослин : інфографіка. URL: <https://infoindustria.com.ua/wp-content/uploads/2017/08/ris.3.png>. (дата звернення: 10.12.2025).
22. Кирильчук А. А., Бонішко О. С. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум. ЛНУ ім. Ів. Франка, 2011. 354 с.
23. Киян Т. Г. Проектна й дослідна діяльність у позакласній роботі з біології. *Біологія*. 2011. № 2. С. 17–20.
24. Колесник Н. В. Дослідницька діяльність учнів у процесі вивчення природничих дисциплін. *Педагогічні науки*. 2018. Т. 83. С. 45–52.
25. Концепція реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа».
26. Крива М. Організація позаурочної дослідницької діяльності учнів під час вивчення предметів природничого циклу. *Педагогічний дискурс*. 2015. № 18. С. 110–113. URL: <http://peddiskurs.kgpa.km.ua/Files/18/23> (дата звернення: 10.12.2025).
27. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / ред.: С. Рижук, М. Лісового, Д. Бенцаровського. Київ, 2003. 64 с.
28. Мірошниченко М., Христенко А., Гладких Є. 50-річна динаміка вмісту рухомих сполук азоту, фосфору і калію в чорноземі опідзоленому за даними стаціонарного польового дослідження. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 8 (821).
29. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / С. А. Балюк та ін. Київ : Мінагрополітики, Центрдержродючість, НА., ННЦ ІГА ім. О.Н.Сокол., НУБіП, 2010. 113 с.
30. Національна парадигма сталого розвитку України / ред. Б. Є. Патон. Київ : ДУ «Ін-т економіки природокористування та сталого розвитку НАН України», 2012. 72 с.

31. Національний атлас України. Київ : ДНВП «Картографія», 2009.
32. Носко Б. С. До питання про формування фосфатного фонду ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2017. Т. 86. С. 87–92.
33. Оліфір Ю. М., Партика Т. В., Гавришко О. С. Вплив тривалих антропогенних навантажень на динаміку мінеральних форм нітрогену ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під ячменем ярим. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2020. Т. 67. С. 115–127.
34. Оліфір Ю. М., Партика Т. В., Гавришко О. С. Вплив тривалих антропогенних навантажень на динаміку мінеральних форм нітрогену ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під ячменем ярим. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2020. Т. 67, № I. С. 115–127.
35. Пантелей Г. Г. Роль уроків біології в розвитку в учнів навичок науково-дослідницької діяльності. *Таврійський вісник освіти*. 2013. № 1 (41). С. 246–253.
36. Папіш І. Чорноземи опідзолені (Faeozems) Львівської області в системі ґрунтового-географічного районування: географія і регіональні особливості. *Наукові записки*. 2016. № 1. С. 59–67.
37. Про концепцію розвитку землеробства Української РСР на період до 2005 року : Постанова Ради Міністрів УРСР від 8 трав. 1990 р. № 107. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/107-90-п> (дата звернення: 10.12.2025).
38. Пустовіт Г. П. Організаційно-педагогічна структура гурткової роботи з екології в позашкільних закладах. *Рідна школа*. 2019. № 8--9. С. 9.
39. Решетюк О. В. Методичні основи організації навчально-дослідницької діяльності школярів загальноосвітніх навчальних закладів з біології. *Актуальні проблеми підготовки вчителів дисциплін природничо-математичного циклу в умовах реформування загальної середньої та вищої освіти: матеріали наук.-практ. конф. «Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук в контексті вимог Нової української школи»*. Чернівці, 2023. С. 23

40. Сабелко О. В., Товт Т. Е. Вплив кислотності ґрунтового розчину на родючість ґрунтів Іршавського району. *Охорона ґрунтів: зб. наук. пр. ДУ «держґрунтохорона»*. 2019. С. 190.
41. Санін Ю. В., Санін А. В. Особливості позакореневого підживлення сільськогосподарських культур мікроелементами. *Газета «Агробізнес сьогодні»*. 2012. № 6 (229). URL: <http://www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/964-osoblyvosti-pozakorenevogo-pidzhyvlennia-silskogospodarskykh-kultur.html> (дата звернення: 10.10.2025).
42. Совгіра С. В. Екологічний напрям діяльності гуртка «Квітникарі-аранжувальники». *Міжнародний екологічний форум «Довкілля для України»*. Київ, 2022. С. 172–175.
43. Стан родючості ґрунтів Чернігівської області (за даними Чернігівської філії ДУ «Держґрунтохорона» X тур агрохімічного обстеження). URL: <https://eco.cg.gov.ua/index.php?id20831&tpl&pg> (дата звернення: 10.10.2025).
44. Сухий П. О., Заблотовська Н. В. Особливості використання земель сільськогосподарського призначення Хмельницької області. *Наукові записки тернопільського національного педагогічного університету імені володимира гнатюка. серія: географія*. 2012. № 2. С. 147–154. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2012_2_30 (дата звернення: 10.10.2025).
45. Сушик Н. С. Організація гурткової роботи в загальноосвітній школі: метод. реком. [первид.]. Луцьк, 2010. 52 с.
46. Тонха О. Л., Бикова О. Є. Гумусний стан цілинних і освоєних чорноземів Лісостепу і Степу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2016. № 2 (31). С. 88–96. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Agronomija/article/viewfile/7796/7486> (дата звернення: 10.10.2025).
47. Фосфор і калій у землеробстві. Проблеми мікробіологічної мобілізації. *Матеріали міжнар. наук.-практ. конф.* 2004. С. 246. URL:

<https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/IPI%20Proc%202004%20Ukr.pdf> (дата звернення: 10.10.2025).

48. Христенко А., Гладкіх Є., Юнакова Т. Оцінка азотного стану ґрунтів і рівня забезпеченості рослин азотом хімічними методами. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 12. С. 17–20.

49. Чорний С. Оцінка якості ґрунтів: навчальний посібник. МНАУ, 2018. 233 с.

50. Шацький С. Т. Педагогічні твори : в 4-х т. Т. 2. М., 1982.

51. Ягенська Г. В., Степанюк А. В. Формування дослідницьких умінь школярів у галузі природничих наук (друга половина ХХ – початок ХХІ століття). Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2021. 282 с.

52. Який має бути рівень амонійного азоту для родючості ґрунту?. URL: <https://ekspertiza.com.ua/uk/tse-korisno-znati/740-yakyi-maie-buty-riven-amoniiinoho-azotu-dlia-rodiiuchosti-gruntu> (дата звернення: 10.12.2025).

53. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Вид. офіц. Держспоживстандарт України, 2006. 18 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_4362_2004.pdf (дата звернення: 10.12.2025).

54. Яковишин В., Юхновський В. Хімічні властивості ґрунтів в умовах потенційної ерозійної небезпеки. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Т. 23.1.

55. Ярошко М., Бреммер К. Кислотність ґрунтів та її вплив на живлення рослин. *Агроном*. 2013. № 1. С. 30–33. URL: <https://www.agronom.com.ua/kyslotnist-gruntiv-ta-yiyi-vplyv-na-zhyv/> (дата звернення: 10.12.2025).

56. Яцина А. Ґрунтовий аналіз: форми та оптимальні способи внесення азоту. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/1190-gruntoviy-analiz-formi-ta-optimalni-sposobi-vnesennya-azotu> (дата звернення: 10.12.2025).

57. Abbaspour K. C., Vaghefi S. A., Srinivasan R. Guideline for successful Calibration and Uncertainty Analysis for Soil and Water Assessment: A Review of Papers

from the 2016 International SWAT Conference. *Water*. 2016. Vol. 10, no. 1. P. 6. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/1/6> (дата звернення: 10.12.2025).

58. Catt J. The agricultural importance of loess. *Earth-Science reviews*. 2001. Т. 54, № 1--3. С. 213–229.

59. FAO. World reference base for soil resources 2014: international soil classification systems for naming soils and creating legends for soil maps (update 2015). Rome, Italy : World Soil Resources, 2014.

60. Geisseler D., Others. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms – A review. *Soil biology & biochemistry*. 2010. Т. 42, № 12. С. 2058–2067. URL: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.08.021>. (дата звернення: 10.10.2025)

61. Herasymiuk M., Sverstiuk A., Kit I. Multifactor regression model for prediction of chronic rhinosinusitis recurrence. *Wiadomości lekarskie medical advances*. 2023. Т. LXXVI, № 5. С. 928–935. URL: <https://doi.org/10.36740/WLek202305106>.

62. Kabala C. Chernozem (czarnoziem) – soil of the year in poland. origin, classification and use of chernozems in poland. *Soil science annual*. 2019. Т. 70, № 3. С. 184–192.

63. Nations F. o. t. U. Standard operating procedure for soil organic carbon. Walkley-Black method. Titration and colorimetric method. Rome, Italy : FAO of the United Nations, 2019. 25 p. URL: <https://www.fao.org/3/ca7471en/ca7471en.pdf> (дата звернення: 10.10.2025)

64. NH3.com.ua. Застосування амонійного азоту на озимій пшениці в осінній період. URL: <https://nh3.com.ua/uk/zastosuvanna-amonijnogo-azotu-na-ozimij-pshenici-v-osinnij-period/> (дата звернення: 10.12.2025).

65. PNI.com.ua. Мінеральне живлення. URL: <https://pni.com.ua/optimizatsiya-zhivlennya/mineralne-zhivlennya/> (дата звернення: 10.12.2025).

66. Prediction factors for the risk of diffuse non-toxic goiter development in type 2 diabetic patients / V. Musiienko та ін. *Polski merkuriusz lekarski: organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*. 2022. Т. 50, № 296. С. 94–98.

67. Prediction factors for the risk of hypothyroidism development in type 2 diabetic patients / V. Musiienko та ін. *PharmacologyOnLine*. 2021. Т. 3. С. 585–594.
68. Prediction of climacteric syndrome development in perimenopausal women with hypothyroidism / O. Chukur та ін. *Przegląd menopauzalny*. 2022. Т. 21, № 4. С. 236–241. URL: <https://doi.org/10.5114/pm.2022.123522>. (дата звернення: 10.10.2025)
69. Shkuratov O., Nykytiuk O., Tsyркun T. Threats and risks of environmental safety of land use in agricultural of Ukraine. *Scientific papers series «management, economic engineering in agriculture and rural development»*. 2019. Т. 19, № 3. С. 523–528.
70. Soil organic carbon and particle sizes mapping using vis-NIR, EC and temperature mobile sensor platform / M. Knadel та ін. *Computers and electronics in agriculture*. 2015. Т. 114. С. 134–144.
71. Wrb I. W. G. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome : FAO, 2015.
72. Xu G. H., Fan X. R., Miller A. J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual review of plant biology*. 2012. Т. 63. С. 153–182.

АНОТАЦІЯ

Шукшин О.С. Формування дослідницької компетенції учнів на основі моделювання процесів родючості ґрунтів у позакласній роботі з біології і екології: / Шукшин Олександр Сергійович. ТНПУ ім. Володимира Гнатюка, хіміко-біологічний. ф-т, кафедра загальної біології та методики навчання природничих дисциплін; наук. кер. Гуменюк Г.Б. – Тернопіль, 2025 – 87 с.

Класифікаційна робота присвячена дослідженню формування дослідницької компетентності учнів старшої школи у процесі позакласної навчально-дослідницької діяльності з біології та екології на прикладі вивчення родючості ґрунтів і моделювання ґрунтових процесів. Актуальність роботи зумовлена необхідністю інтеграції теоретичних знань і практичної діяльності учнів, упровадження дослідницьких, проектних і STEM-підходів та сучасних цифрових засобів у природничу освіту. Установлено, що формування дослідницької компетентності забезпечується через організацію навчально-дослідницької діяльності, яка включає постановку наукової проблеми, планування й проведення експерименту, обробку та наукову інтерпретацію результатів, сприяє розвитку критичного мислення й екологічної відповідальності учнів.

У ході експериментального дослідження проаналізовано агрохімічні показники ґрунтів Хмельницької області, виявлено їх варіабельність та відмінності за вмістом основних елементів живлення. Розроблено алгоритм і багатофакторну регресійну математичну модель прогнозування якості ґрунтів, яку можна використати в учнівських дослідженнях. Результати констатувального етапу педагогічного експерименту засвідчили переважно добрий рівень сформованості дослідницької компетентності учнів з домінуванням пізнавального й мотиваційного компонентів та відносно нижчими показниками за комунікативним і діяльнісним критеріями. Експертна оцінка методики гуртка «Ґрунтознавець» підтвердила її ефективність у формуванні дослідницької компетентності учнів старшої школи. Матеріали роботи можуть бути використані в практиці закладів загальної середньої освіти, позакласній і проектній діяльності з біології та екології.

Ключові слова: дослідницька компетентність, дослідницька діяльність учнів, родючість ґрунтів, агрохімічні показники, математичне моделювання, коефіцієнт якості ґрунту, гурткова робота, Нова українська школа.

Abstract

Shukshyn O.S. Formation of students' research competence based on the modeling of soil fertility processes in extracurricular biology and ecology activities / Shukshyn Chemistry and Biology, Department of General Biology and Methods of Teaching Natural Sciences; scientific supervisor: Humeniuk H.B. Ternopil, 2025. 87 p.

The qualification work is devoted to the study of the formation of research competence of senior secondary school students in the process of extracurricular educational and research activities in biology and ecology, using the study of soil fertility and modeling of soil processes as an example. The relevance of the research is determined by the need to integrate theoretical knowledge with students' practical activities, as well as to implement research-based, project-oriented, and STEM approaches and modern digital tools in natural science education. It has been established that the formation of research competence is ensured through the organization of educational and research activities, which include the formulation of a scientific problem, planning and conducting experiments, processing results, and their scientific interpretation, and which contribute to the development of students' critical thinking and environmental responsibility.

During the experimental study, agrochemical indicators of soils of Khmelnytskyi region were analyzed, and their variability and differences in the content of major plant nutrients were identified. An algorithm and a multifactor regression mathematical model for forecasting soil quality were developed, which can be used in students' research activities. The results of the ascertaining stage of the pedagogical experiment showed a predominantly good level of students' research competence formation, with the dominance of cognitive and motivational components and relatively lower indicators for communicative and activity-based criteria. Expert evaluation of the methodology of the "Soil Scientist" extracurricular club confirmed its effectiveness in forming the research competence of senior secondary school students. The materials of the study can be used in the practice of general secondary education institutions, as well as in extracurricular and project-based activities in biology and ecology.

Keywords: research competence, student inquiry, soil fertility, agrochemical indicators, mathematical modelling, soil quality coefficient, extracurricular science club, New Ukrainian School.

Міні-проект

«Модель родючості ґрунту моєї місцевості»

1. Вступ

Метою міні-проекту є створення цілісної моделі родючості ґрунту певної локальної території з урахуванням природних, антропогенних та агрохімічних факторів. Робота спрямована на формування дослідницьких умінь здобувачів, розвиток навичок аналізу ґрунтових показників, використання цифрових інструментів моделювання та візуалізації даних.

2. Об'єкт і предмет дослідження

- **Об'єкт:** ґрунтовий покрив обраної місцевості (населеного пункту, присадибної ділянки, поля, лісосмуги тощо).
- **Предмет:** показники родючості ґрунту та їх взаємозв'язки (гумус, рН, гранулометричний склад, вміст органічного вуглецю, азоту, рухомих форм фосфору й калію, щільність, структура).

3. Мета та завдання проекту

Мета:

Створити модель родючості ґрунту обраної території на основі аналізу фізичних, хімічних і біологічних показників та визначити чинники, що впливають на якість ґрунту.

Завдання:

- провести збір первинних даних про ґрунти місцевості.
- виконати аналіз ключових показників родючості.
- обудувати графіки та діаграми для візуалізації результатів.

изначити кореляційні залежності між показниками.
 формувати узагальнену модель стану ґрунту.
 озробити рекомендації щодо підвищення родючості.

4. Методи дослідження

- описовий аналіз;
- лабораторні та польові вимірювання (рН, гумус, вологість тощо);
- моделювання та статистична обробка даних;
- кореляційний аналіз;
- побудова графічних моделей у цифрових інструментах (Excel, Google Sheets, Python).

5. Збір даних і характеристика ґрунту місцевості

У міні-проекті студент описує:

- географічне положення;
- тип ґрунту (чорнозем, сірий лісовий, дерново-підзолистий тощо);
- гранулометричний склад (піщаний, суглинковий, глинистий);
- ознаки антропогенного навантаження;
- історію землекористування.

Також подається таблиця з основними агрохімічними показниками:

Показник	Значення	Інтерпретація
Гумус (%)	...	рівень забезпеченості органічною речовиною
рН	...	кислотність/лужність
N (азот)	...	забезпеченість азотом
P ₂ O ₅ (фосфор)	...	рухомі форми фосфору
K ₂ O (калій)	...	рухомі форми калію
Органічний вуглець (%)	...	стан органічної речовини
Щільність (г/см ³)	...	ступінь ущільнення

6. Візуалізація та моделювання

У проєкті студент виконує:

6.1. Побудову графіків

- залежність гумусу від глибини;
- зміна рН;
- порівняння вмісту NPK;
- діаграми структури ґрунту.

6.2. Визначення кореляції

Приклади кореляційних висновків:

- між гумусом і органічним вуглецем (висока додатна кореляція);
- між рН і рухомими формами фосфору;
- між щільністю ґрунту та його родючістю (негативна кореляція).

6.3. Побудова моделі родючості

Модель може мати вигляд:

- графічної системної схеми;
- інтегрального індексу якості ґрунту;
- карти родючості;
- прогнозної моделі (за трендом).

7. Результати та їх аналіз

У міні-проєкті обов'язково подаються:

- визначені сильні сторони ґрунту (високий гумус, оптимальний рН, структура);

- виявлені обмежувальні фактори (ущільнення, підвищена кислотність, нестача елементів живлення);
- опис актуальних тенденцій ґрунтового стану;
- оцінка ризиків зниження родючості (ерозія, дегуміфікація, засолення, ущільнення).

8. Висновки

У висновках узагальнюється інформація про:

- тип та загальний стан ґрунту;
- головні параметри, що визначають його родючість;
- динаміку взаємозв'язків між показниками;
- інтегральний рівень родючості (високий, середній, низький);
- перспективи покращення стану ґрунту в майбутньому.

9. Рекомендації щодо підвищення родючості ґрунту

Приклади рекомендацій:

- внесення органічних добрив для підвищення гумусу;
- корекція рН за допомогою вапнування або гіпсування;
- використання сидератів;
- мінімальний або нульовий обробіток ґрунту;
- боротьба з ерозією (лісосмуги, мульчування);
- раціональне удобрення NPK;
- запобігання ущільненню ґрунту.